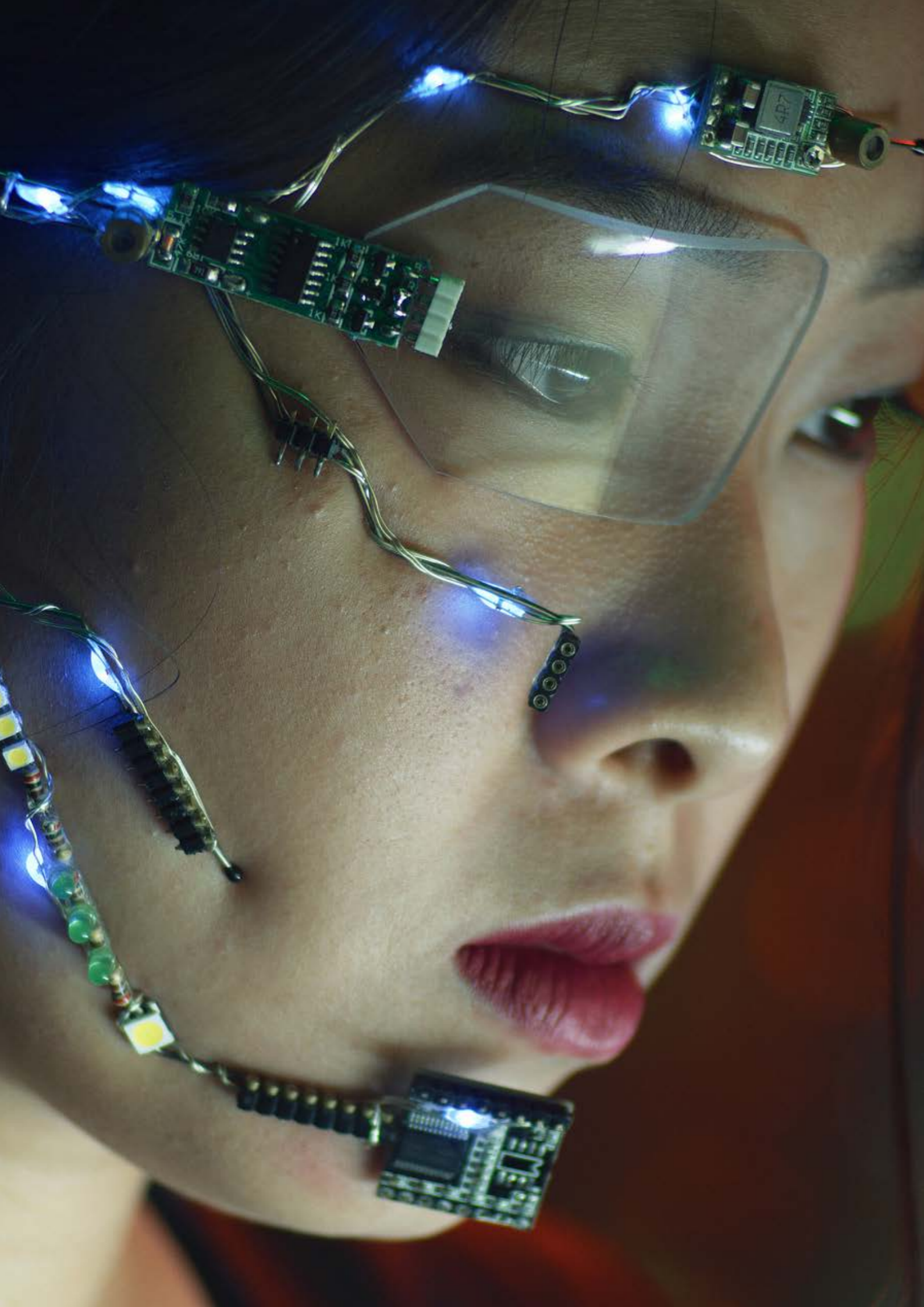


ARTIFICIAL INTELLIGENCE, ROBOTISERING EN INDUSTRIALISATIE: de technieksector in 2030





Voorwoord

Artificial intelligence, robots en industrialisatie: jij bepaalt de koers

Iedere ondernemer in de technieksector krijgt vroeg of laat te maken met artificial intelligence (AI), robotisering en industrialisatie. Of je nu zelfstandig ondernemer bent, een mkb-bedrijf leidt of werkt bij een grote technische dienstverlener, deze technologische ontwikkelingen gaan een steeds grotere rol spelen in jouw dagelijks werk.

AI is een veelbesproken onderwerp. Zeker voor de technieksector zijn de mogelijkheden vrijwel oneindig. De nieuwe technologie biedt kansen, maar roept ook vragen op. Wat zijn de consequenties voor onze privacy? Welke ethische afwegingen moeten we maken? En wat is het verlies aan werkgelegenheid dat de automatisering met zich meebrengt? In onze sector kampen we met een structureel tekort aan technische vakmensen. Door de vergrijzing zal het tekort de komende jaren eerder groeien dan afnemen. Juist hier kunnen AI en robotisering uitkomst bieden. Door slimmer te werken, kunnen we méér doen met minder mensen. De nieuwe technologieën stellen ons in staat om ondanks de tekorten op de arbeidsmarkt een grote productiviteitssprong te maken.

Dit onderzoek biedt inzicht in de laatste ontwikkelingen op het gebied van onder meer [Generative AI](#), [Hybride AI](#), [Multipurpose Robots](#) en [Augmented Working](#). Het geeft je óók concrete suggesties voor de inzet van deze technologieën binnen jouw bedrijf. De komst van AI en robots zal minstens zo'n grote impact hebben als de introductie van het internet. Daarom is het voor jou als ondernemer van essentieel belang dat je de regie houdt en zelf de koers bepaalt van jouw bedrijf. Dit rapport gaat je daarbij zeker helpen.

Doekle Terpstra
Voorzitter Techniek Nederland



Inhoudsopgave

Voorwoord	1		
Vooraf	4		
Scope & Afbakening	4		
1. Inleiding	5		
1.1 Algemene ontwikkelingen	5		
1.2 Leeswijzer	6		
2. Managementsamenvatting: vooruit met AI, Robotisering en Industrialisatie	8		
Deel A - De wereld in 2030	12		
3. Beelden uit het eerdere CONNECT onderzoek en SCENARIO2040	13		
3.1 CONNECT2025	13		
3.2 CONNECT2030	13		
3.3 SCENARIO2040	15		
4. Waar staan AI, robotisering en industrialisatie in 2030?	17		
4.1 Definitie van de thema's	17		
4.2 Verkenning thema's: ontwikkelingen en verwachtingen voor 2030	18		
4.3 Samenhang tussen de thema's	30		
5. 2030 aan de hand van zeven kernbegrippen	33		
5.1 Generative AI	34		
5.2 Hybride AI	35		
5.3 Computer vision	36		
5.4 Multi-purpose robots	37		
5.5 Mass customization & flexible manufacturing	38		
5.6 Industrial metaverse	39		
5.7 Augmented working ³³	39		
Deel B - Naar een duiding en adviezen voor de technieksector	42		
Inleiding bij Deel B	43		
6. De context van de technieksector in 2030	45		
6.1 Waar staat de maatschappij?	45		
7. De technieksector en haar partners in 2030	53		
7.1 Nieuwe technologie en productiewijzen	54		
7.2 Wat doen we met AI, robotisering & industrialisatie	57		
7.3 Wat doen onze stakeholders?	64		
8. Werken in de technieksector in 2030	67		
8.1 Introductie van nieuwe technologie en productiewijzen	67		
8.2 Gen alfa - een nieuwe generatie werknemers?	68		
8.3 Kennis en kunde	69		
8.4 Human centric	70		
9. Verantwoording	73		
9.1 Literatuurstudie	74		
9.2 Interviewrondes	74		
9.3 Van termen naar kernbegrippen:	75		
9.4 Workshops met begeleidingscommissie	78		
9.5 Ontwikkeling van de rapportage	78		
9.6 Omschrijving van de 73 termen	79		
9.7 Afkortingen en begrippenlijst	87		
10. Bronnen	89		
10.1 Geraadpleegde bronnen tekst en beeld	89		
10.2 Interviews experts	95		
10.3 Leden begeleidingscommissie	95		
10.4 Auteurs	95		

© Techniek Nederland, november 2024

Niets uit deze uitgave mag worden verveelvoudigd en/of openbaar gemaakt door middel van druk, fotokopie, film, elektronisch, op geluidsband of op welke andere wijze ook en evenmin in een retrieval systeem worden opgeslagen zonder voorafgaande schriftelijke toestemming van Techniek Nederland.

De inhoud van deze publicatie is met de grootst mogelijke zorgvuldigheid samengesteld. Toch kan het risico van onduidelijkheden of onjuistheden niet geheel worden vermeden. Techniek Nederland sluit iedere aansprakelijkheid uit voor zowel de schade die mocht voortvloeien uit het gebruik van deze gegevens, als schade die zou kunnen ontstaan als gevolg van onvolledigheden, onjuistheden of onvolkomenheden in deze publicatie.



Vooraf

Regelmatig brengt Techniek Nederland, in samenwerking met Wij Techniek, ISSO en TVVL, middellange en lange termijn toekomstverkenningen uit, zoals bijvoorbeeld de CONNECT-studies en SCENARIO2040. In het meest recent gepubliceerde CONNECT2030-rapport (september 2022) zijn thema's geïdentificeerd die van belang zijn voor de samenleving en die impact hebben op de technieksector, zoals de thema's Volwassen Digitalisering en Human Capital. Sinds het uitkomen van de laatste CONNECT-studie zijn signalen ontvangen die aanleiding geven tot nader onderzoek; diverse samenhangende ontwikkelingen op het gebied van Artificial Intelligence (hierna AI genoemd), Robotisering, en Industrialisatie zijn trends die naar verwachting vergaande gevolgen hebben voor de maatschappij en impact hebben op de technieksector. Vanuit haar rol als sectorvertegenwoordiger wil Techniek Nederland haar leden en stakeholders vroegtijdig informeren, inspireren en activeren tot passende vervolgstappen.

Scope & Afbakening

Binnen de scope van het onderzoek bevinden zich de thema's AI, Robotisering en Industrialisatie. Deze thema's zijn nauw met elkaar verbonden en hebben gezamenlijk een grote invloed op de manier waarop industrieën en samenlevingen opereren. Gelet op de urgentie en impact van deze thema's, willen we er versneld en diepgaand inzicht in krijgen. Bij het verdiepend onderzoek naar deze thema's, kijken we naar de manier waarop ze elkaar beïnvloeden, welke uitdagingen en kansen ze met zich meebrengen en hoe ze de arbeidsmarkt, economie, ethische kaders en de maatschappij kunnen veranderen.

De drie thema's staan in de context van een wereld waarin digitalisering en automatisering grote vormen aannemen. We industrialiseren, digitaliseren en automatiseren processen, zodat mensen zich kunnen richten op klantwaarde en op uitzonderingen in het voortbrengingsproces. Dit biedt mogelijkheden en kansen, gelet op de krimpende arbeidsmarkt, maar ook voor de grote maatschappelijke uitdagingen waarin de technieksector een uitvoerende rol speelt.

Deze ontwikkelingen hebben een sterke invloed op het uitvoerings- en handelingsvermogen van de mens in het algemeen, zowel op de productiviteit van de mens als de ervaren zinvolheid van de resterende taken. Een mensgerichte denkwijze is van belang om de veranderingen die deze thema's met zich meebrengen, goed te implementeren.

We kijken vooruit naar het jaar 2030 (door de bril van SCENARIO2040 en CONNECT2030) en vertalen die vooruitblik terug naar de stand van de sector anno 2024. De wetenschap van wat ons te wachten staat, geeft handvatten voor de lezer om concreet aan de slag te gaan en zich voor te bereiden op de middellange termijn (3-5 jaar).

Het toekomstbeeld dat voor ons ligt, is ontstaan uit onderzoek, op basis van bronnen, workshops en interviews. In dit rapport duiden we dit toekomstbeeld en vertalen die naar de impact voor de maatschappij en de technieksector.



1. Inleiding

Versnelling en verandering domineerden de afgelopen jaren het wereldbeeld, vaak uit onverwachte hoek. Autonome trends zetten door, zoals vergrijzing van de bevolking en het beschikbaar komen van meer technische mogelijkheden, met name op het gebied van digitalisering. Met name de thema's AI, Robotisering en Industrialisatie lijken een vlucht te nemen en van grote invloed te zijn op de technieksector.

In CONNECT2030 beschreven we dat de technieksector behendig en lenig met uitdagingen zal moeten leren omgaan. Ofwel: kijk vooruit en bedenk op welke manier je, samen met je ketenpartners, de keuzes gaat maken om de kansen en mogelijkheden te benutten van de nieuwe vragen die opdoemen. In dit rapport focussen we op de thema's AI, Robotisering en Industrialisatie. We duiden deze voor de sector zodat bedrijven zich kunnen voorbereiden op de ontwikkelingen en zich daar tijdig, behendig en lenig op kunnen aanpassen.

1.1 Algemene ontwikkelingen

Wereldwijd zijn er ontwikkelingen gaande op het gebied van AI, Robotisering en Industrialisatie. Die gaan niet overal even snel, afhankelijk van de regels die gelden op het gebied van ethiek en privacy in de verschillende landen. Grote bedrijven of overheden met een bepaalde marktmacht of dominantie gaan sneller vooruit. NGO's die met een arsenaal aan gedreven burgers controles uitvoeren over de resultaten van AI gegenereerde conclusies en uitspraken, remmen bepaalde ontwikkelingen juist weer af. AI, Robotisering en Industrialisatie worden ingezet voor goede doelen, maar ook voor minder nobele doelstellingen, zoals in conflictsituaties. De ontwikkelingen vinden plaats in een context die niet altijd overeenkomt met de dagelijkse praktijk in Nederland.

De succesvolle, maar ook minder succesvolle ontwikkeling van (nieuwe) businessmodellen rondom technologie, biedt zowel kansen als bedreigingen. Acteurs staken omdat hun stem door AI is gekloond en zij inkomen dreigen mis te lopen. Taxichauffeurs vrezen voor hun baan door de opkomst van zelfrijdende auto's. Overigens moeten deze zelfrijdende auto's nog de nodige uitdagingen overwinnen om in de werkelijke, complexe wereld echt goed te kunnen functioneren. Het vertalen van een succesvolle proef op één plek is geen garantie voor het opschalen in een andere context.

Wetgevende en regulerende partijen hebben niet alleen moeite om zowel de technologische mogelijkheden als hedendaagse uitdagingen bij te houden, maar ook om vooruit te denken en voldoende perspectief te geven voor burgers en bedrijven. Het is van belang om perspectief te creëren waaruit nieuwe waardeketens en businessmodellen kunnen ontstaan ter ondersteuning van de realisatie van maatschappelijke en democratische doelstellingen, maar ook om de ecologische grenzen te bepalen.

Productieketens veranderen en worden minder afhankelijk van kritische onderdelen. Daarnaast zijn zij flexibeler om de toegenomen maatwerkvraag (series van 1) aan te kunnen, geoptimaliseerd om de productiviteit te verhogen en ingericht om de mens als co-workeer te ondersteunen.



Sinds het uitkomen van CONNECT2030, zijn de veranderingen in een stroomversnelling geraakt. We zien geopolitieke verschuivingen, maar ook ongekend hoge investeringen in de ontwikkeling van AI-technologie. We maken er al volop gebruik van in toepassingen als Copilot en ChatGPT¹. Voor het genereren van inhoud voor essays in het onderwijs, het schrijven van rapporten, het genereren van nieuwsberichten. Met een verhoogde noodzaak tot regulering als gevolg. Tegelijkertijd zien we dat de eisen waarmee de technieksector te maken heeft, toenemen. De inwerkingtreding van onder meer de Wet KwaliteitsBorging (WKB) maakt dat de verantwoordelijkheid en aansprakelijkheid voor het leveren van diensten als aannemer/ontwikkelaar van bouwwerken toenemen. De drie technologieën die centraal staan in dit rapport, kunnen ondersteunen bij het opleveren en controleren van kwaliteit, het genereren van informatie en het bieden van inzicht in de werking van gebouwen en systemen.

NB voor dit rapport is **geen** gebruik gemaakt van eerder genoemde tekstgeneratiehulpmiddelen.

1.2 Leeswijzer

Dit rapport is bewust gesplitst in twee delen. In het eerste onderdeel, deel A, leggen we de thema's uit en lichten we toe waar die ons in 2030 gaan brengen. Dit doen we door in [hoofdstuk 3](#) de draad op te pakken bij eerder gehouden onderzoeken zoals CONNECT2030 en SCENARIO2040. In [hoofdstuk 4](#) scherpen we het algemene beeld op de ontwikkelingen rondom AI, Robotisering en Industrialisatie verder aan. In [hoofdstuk 5](#) geven we een gedetailleerdere beschrijving van 2030 aan de hand van zeven kernbegrippen.

In deel B verduidelijken we de impact van deze thema's voor de technieksector. Dit doen we door het wereldbeeld in 2030 te schetsen en daarin de rol van, AI, Robotisering en Industrialisatie te beschrijven, evenals de impact daarvan op de maatschappij ([hoofdstuk 6](#)), de technieksector en haar partners ([hoofdstuk 7](#)) en het werken in de technieksector ([hoofdstuk 8](#)).

[Hoofdstuk 9](#) beschrijft op welke manier het onderzoek is uitgevoerd, [hoofdstuk 10](#) biedt een overzicht van de geraadpleegde bronnen, experts en de leden van de begeleidingscommissie.

¹ Introductie ChatGPT in november 2022, brede adoptie in 2023



2. Managementsamenvatting: vooruit met AI, Robotisering en Industrialisatie

Intelligente technologie als motor voor jouw bedrijf en onze samenleving!

Ons land en onze sector maar ook jouw bedrijf staan voor grootse uitdagingen! De Energie-transitie, Digitalisering, Vergrijzing, Gezond, schoon en veilig leven, wonen en werken en een Circulaire economie zijn er een paar van. Politiek-financieel moeten er keuzes gemaakt worden en tegelijkertijd blijft de krapte op de arbeidsmarkt groeien. Projecten worden uitgesteld door personeelstekorten, en de vraag naar duurzame oplossingen neemt toe terwijl budgetten onder druk staan. Dit raakt onze sector als geheel en ieder individueel bedrijf. Dus ook jouw bedrijf!

Ongekende versnelling creëert enorme kansen

Waar dit gisteren nog onmogelijk leek, maakt de ontwikkeling van technologie vandaag de dag enorme sprongen. De razendsnelle opkomst van kunstmatige intelligentie (AI) werkt als een katalysator voor robotisering en industrialisatie.

In de komende jaren spelen deze intelligente technologieën een essentiële rol in het aanpakken van urgente maatschappelijke uitdagingen. De technologische vooruitgang op het gebied van [Generative AI](#), [Hybride AI](#), [Multipurpose Robots](#), [Computer Vision](#), [Mass Customization](#), het [Industriële Metaverse](#) en [Augmented Working](#), zoals beschreven in dit rapport, biedt concrete oplossingen om deze uitdagingen aan te pakken.....en echt niet alleen bij grote bedrijven.

Vergrijzing en personeelstekorten: Innovatie als sleutel

Door de vergrijzing slinkt de beroepsbevolking, terwijl de vraag naar onze diensten en productiviteit stijgt en blijft stijgen. Multipurpose Robots nemen repetitieve, vieze, onveilige en fysiek zware taken over, waardoor je als bedrijf je productiviteit behoudt, zelfs met minder mensen. Hybride AI, Generative AI en Computer Vision zorgen ervoor dat waardevolle kennis van jouw ervaren medewerkers wordt vastgelegd en gedeeld, zodat het behouden blijft, ook als diezelfde ervaren vakmensen vertrekken.

Slimmer werken: Technologie rondom de mens

Technologieën zoals Augmented Working en Computer Vision ondersteunen jouw vakmensen in hun dagelijkse werkzaamheden met digitale hulpmiddelen, waardoor ze sneller en nauwkeuriger zullen werken. Hybride AI biedt daarnaast geavanceerde besluitvormingstools die routinetaken uit handen nemen, zodat mensen zich veel meer kunnen richten op strategisch en creatief werk. Verminder dus zo de werkdruk binnen je bedrijf, verhoog je productiviteit en gebruik technologie als partner van je medewerkers.

Efficiëntere productie en lagere kosten: maatwerk op schaal

Met Mass Customization en Flexible Manufacturing speel je snel in op individuele klantwensen zonder dat de productiekosten stijgen. Dit leidt tot lagere prijzen voor je klanten, kostenbesparingen in je bedrijf, het maakt jou als bedrijf en ondernemer wendbaarder en efficiënter.

Transitie naar nieuwe bedrijfsmodellen, gericht op service en partnerschap

Het traditionele bouwmodel transformeert naar een productorganisatie, waarin bedrijven zich richten op continue productontwikkeling. Dat betekent dat je naast producten ook geïntegreerde diensten zoals onderhoud en procesoptimalisatie aanbiedt. De technieksector verschuift zo van puur technologieaanbieder naar strategische partner voor klanten. Dit opent nieuwe mogelijkheden voor jouw groei en waardecreatie. Dankzij Hybride AI, Mass Customization en Flexible Manufacturing.

Kennisdeling en ketenoptimalisatie: de digitale en fysieke wereld komen samen

Met Hybride AI, het Industriële Metaverse en Computer Vision sla je waardevolle kennis niet alleen op, maar deel je het ook met machines en partners, zoals leveranciers, bouwers, ontwerpers. Jouw partners kunnen dan beter inspelen op jouw behoeften, wat leidt tot een efficiëntere supply chain en logistiek.

De toekomst wacht niet!

De technologische ontwikkelingen in dit rapport bieden een unieke kans om niet alleen de uitdagingen van vandaag aan te pakken, maar ook de basis te leggen voor een duurzamere en efficiëntere toekomst, van je eigen bedrijf, van je omgeving en van onze maatschappij.

Tegelijkertijd vraagt deze ongekende versnelling van kansen om doordachte actie, rekening houdend met de nieuwe uitdagingen en randvoorwaarden die ontstaan bij de technologische ontwikkelingen en toepassingen.

De toekomst wacht niet. Als bedrijf, als ondernemer, als branche moeten we nu handelen! En dat begint met besef, het hebben van kennis, het overwegen van keuzes en het maken van plannen. Dit rapport biedt daarbij een goede leidraad.

De technieksector bevindt zich in de ideale positie om deze transformatie te leiden en onze economie en samenleving sterker, veerkrachtiger en toekomstbehendiger te maken.

Welke rol neem jij hierin?



De toekomst wacht niet!

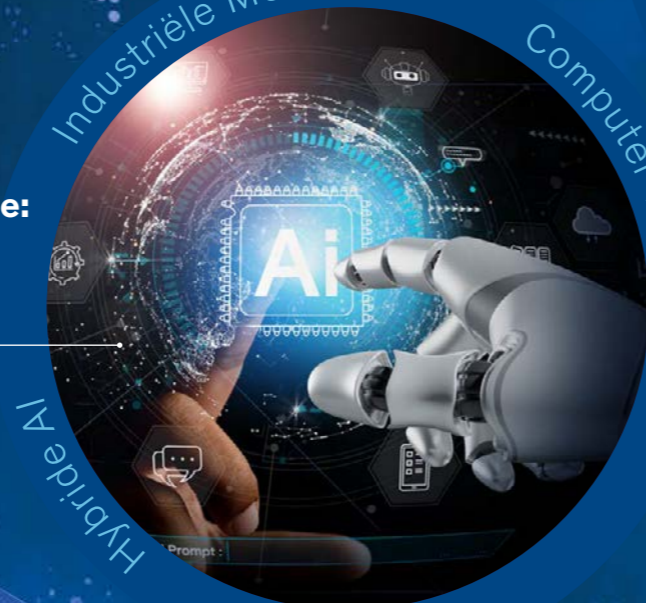
Artificial Intelligence, Robotisering en Industrialisatie: de technieksector in 2030

Intelligente technologie als motor voor jouw bedrijf en onze samenleving

Ons land en onze sector maar ook jouw bedrijf staan voor grootse uitdagingen! De Energietransitie, Digitalisering, Vergrijzing, Gezond, schoon en veilig leven, wonen en werken en een Circulaire economie zijn er een paar van. Politiek-financieel moeten er keuzes gemaakt worden en tegelijkertijd blijft de krapte op de arbeidsmarkt groeien. Projecten worden uitgesteld door personeelstekorten, en de vraag naar duurzame oplossingen neemt toe terwijl budgetten onder druk staan. Dit raakt onze sector als geheel en ieder individueel bedrijf. Dus ook jouw bedrijf!

Kennisdeling en ketenoptimalisatie: de digitale en fysieke wereld komen samen

Industriële Metaverse



Hybride AI

Vergrijzing en personeelstekorten: innovatie als sleutel



Multipurpose Robots

Hybride AI

Generative AI

Computer Vision

Slimmer werken: technologie rondom de mens

Augmented Working



Hybride AI

Computer Vision

Transitie naar nieuwe bedrijfsmodellen, gericht op service en partnerschap



Hybride AI

Mass Customization & Flexible Manufacturing

Mass Customization & Flexible Manufacturing

Efficiëntere productie en lagere kosten: maatwerk op schaal



Deel A

De wereld in 2030

3. Beelden uit het eerdere CONNECT onderzoek en SCENARIO2040

We pakken de draad op bij eerder uitgevoerd onderzoek waarbij voor zowel 2025, 2030 als 2040 toekomstbeelden en scenario's zijn omschreven. De uitkomsten van deze onderzoeken zijn nog steeds relevant en bruikbaar voor de verdere verkenning rondom AI, Robotisering en Industrialisatie. Daarom schetsen we deze hier kort.

3.1 CONNECT2025

In **CONNECT2025** (uitgekomen in 2018) schreven we over 'Data als Grondstof'. We beschrijven dat data van belang zijn om te verbinden, verzamelen en begrijpen. Data werd gezien als het nieuwe goud, met toepassingen in predictive analytics en kunstmatige intelligentie. Data, zo werd voorspeld, worden een grondstof en een product omdat de gegevens waarde bieden. We voorspelden dat bedrijven die algoritmen ontwikkelen en beheersen belangrijke partners worden voor de technieksector, evenals partijen die data kunnen ontsluiten. Tevens meldde we dat technologie, zoals sensoren, meet- en regeltechniek, daarbij een belangrijke rol gaat spelen.

Robotisering zou een rol gaan spelen om de menskracht te vervangen en om door middel van 'augmented reality' het opleiden en trainen van nieuwe medewerkers te ondersteunen. Exoskeletonen en robots worden gezien als gewaardeerde hulpmiddelen maar ook als collega. In dit rapport verkennen we wat we hiervan kunnen en mogen verwachten op basis van de nieuwe inzichten.

3.2 CONNECT2030

CONNECT2030 (uitgekomen in 2022) schetst een wereld die grenzen stelt aan het gebruik van energie en materialen. De wereld is meer dan ooit bezig zichzelf te transformeren om een gezonde en leefbare toekomst mogelijk te maken en dat gaat met onverwachte snelheden en impact. Geopolitieke spanningen – soms uit een onverwachte hoek – en klimaatverandering hebben nog meer impact gekregen op de mens en de maatschappij.

Volwassen digitalisering is nodig voor de vele transities

Dat de maatschappij zal veranderen en dat deze verandering nodig is, staat voorop. De huidige lineaire manier van productie en het gebruik van eindige materialen, stuiten op grenzen. De babyboomgeneratie vergrijsst snel en moderne uitdagingen zorgen voor andere motivaties bij de opgroeiende jeugd. Naast technologie is vooral het veranderen van cultuur en gedrag, lokale en regionale samenwerking en het maken van keuzes ondersteund door digitale hulpmiddelen aan de orde van de dag. Volwassen digitalisering is van essentieel belang voor de vele transities waar de technieksector voor staat.



De verantwoordelijkheid voor het geleverde werk en de componenten waaruit het werk bestaat, de prestaties die de opgeleverde producten/diensten leveren en de mogelijkheden voor verbetering maken dat andere diensten en businessmodellen gaan ontstaan. De positie van de technieksector kan veranderen als gevolg van wijzigingen in de keten (industrialisering), andere rollen (adviseur) en verantwoordelijkheden (ketenverantwoordelijkheid).

Bedrijven maken eigen keuzes en maken zelf de afweging of en wanneer zij overgaan tot het aanpassen van hun producten en diensten. Daarnaast vindt er heroverweging plaats van de rol die individuele partijen ambiëren in het contact met hun ketenpartners. In 2030 vindt er meer en uitgebreider contact plaats voorafgaand de realisatie. Daarnaast is de technieksector in hoge mate gedigitaliseerd en is er meer geïndustrialiseerde productie van componenten en bouwsystemen. Deze verschuiving is gedeeltelijk het gevolg van een toenemend tekort op de arbeidsmarkt.

Arbeidsmarkt vraagstuk als grote opgave

De krapte op de arbeidsmarkt levert Nederland en ook de technieksector een reeks aan uitdagingen op. Digitalisering kan onder andere helpen om de generatie die opgroeit in een digitale wereld, de vaardigheden, kennis en informatie te verschaffen die nodig zijn om toe te treden tot de sector en voor de nodige bijscholing op actuele thema's. Verdere digitalisering kan tevens bijdragen aan het imago van de technieksector als maatschappelijk relevant en aantrekkelijke werkgever.

3.3 SCENARIO2040

SCENARIO2040 (uitgekomen in 2020) schetst vanuit twee verschillende scenario's tien zekerheden voor de sector in 2040. We benoemen hier de thema's die van invloed zijn op deze rapportage en die in beide scenario's relevant zijn.

Singularity: computers zijn slimmer dan de mens

Singularity is bereikt: de rekenkracht van computers in combinatie met enorme databestanden maakt ICT slimmer dan mensen. Om ons heen worden steeds meer gegevens verzameld en gebruikt door algoritmes, kunstmatige intelligentie en robots.

Deflatie

Technologische ontwikkelingen maken veel producten en diensten goedkoper. Daarmee is het een bron van deflatie.

Generatie Z komt aan de macht

De generatie Z, 'digital natives', zijn in 2040 aan zet om de maatschappij te besturen. Zij hebben een innige relatie met technologie.

Helft van de 'oude' banen is verdwenen

De opkomst van computertechnologie en robots heeft grote invloed op banen. Banen veranderen, er komen nieuwe banen bij, andere banen verdwijnen.





4. Waar staan AI, robotisering en industrialisatie in 2030?

In dit rapport kijken we naar drie specifieke thema's: AI, Robotisering, en Industrialisatie. Wat is op deze gebieden te verwachten en belangrijker nog: hoe bereidt de sector zich hierop voor. We starten met een definitie van de verschillende thema's.

We beginnen met AI, omdat deze technologie een randvoorwaarde is voor de twee andere thema's. AI maakt virtuele en fysieke robotica mogelijk. Daarmee is het een versneller van deze technologie. AI omvat de methoden om tot kunstmatige intelligentie te komen, maar ook de instrumenten of virtuele robots die op basis van AI zijn in te zetten. AI vormt daarnaast een essentiële technologie voor de ontwikkeling van fysieke robots en daarmee voor het proces van robotiseren.

Industrialisatie is een proces met basisprincipes en strikt genomen geen technologie. Binnen dit proces worden toegepaste technologieën, zoals AI, robots, sensortechnologie en netwerktechnologie ingezet voor een specifiek doel.

Digitalisering is voor alle drie de thema's een randvoorwaarde. Zonder volwassen digitalisering, kunnen we de voordelen van de technologieën niet volledig benutten en kan het proces van industrialisatie niet slagen.

4.1 Definitie van de thema's

Hieronder geven we de definities van de drie thema's. In paragraaf 4.2 'verkenning thema's' geven we een verdere omschrijving, beschrijven we de verschillende sub-thema's, de onderscheidsfactoren/differentiatieschalen en een globaal eerste beeld rondom de thema's voor 2030.

AI

AI (Artificial Intelligence) of kunstmatige intelligentie verwijst naar de ontwikkeling van computersystemen die in staat zijn om taken uit te voeren die normaal gesproken menselijke intelligentie vereisen. Dit omvat taken als leren, redeneren, problemen oplossen en spraakherkenning.

Robotisering

Robotisering verwijst naar het proces van het introduceren en implementeren van robots in verschillende aspecten van het dagelijks leven en industrieën. Het omvat het ontwerpen, bouwen en implementeren van robots die taken uitvoeren zonder menselijke tussenkomst.

Industrialisatie

Industrialisatie is het optimaliseren van bedrijfsprocessen en ecosystemen, gebruik makend van geavanceerde kennis en technologieën met het oog op het realiseren van doelstellingen in bedrijf en samenleving.



4.2 Verkenning thema's: ontwikkelingen en verwachtingen voor 2030

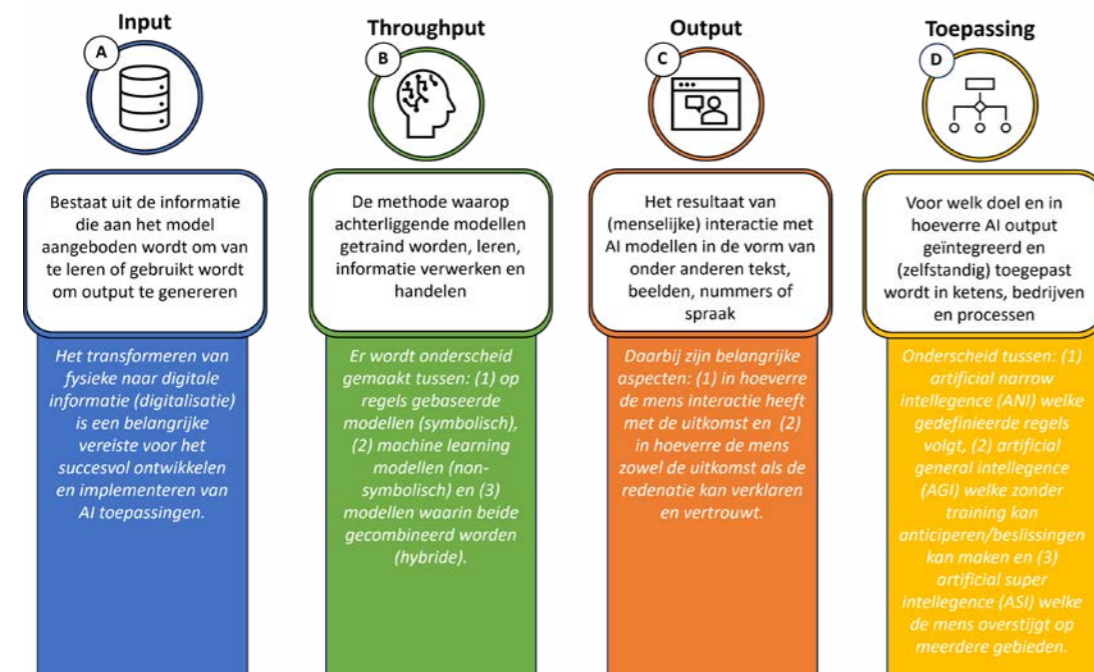
4.2.1 Artificial Intelligence (AI)

Er zijn meerdere AI-typologieën aan te wijzen, zoals **managerial AI** (ondersteunde of onafhankelijke besluitvoering), generatieve AI (focus op het genereren van nieuwe beeld- en tekstcontent) en **hybride AI** (een combinatie van symbolische² modellen, vooral gebaseerd op door mensen opgestelde regels, en non-symbolische, op **machine learning** gebaseerde modellen). Daarnaast kennen we **explainable AI** die mensen in staat stelt om resultaten te begrijpen, verklaren en eventueel te herleiden. Het uitlegbaar maken van de resultaten van AI leidt tot meer vertrouwen, gerichtere verbetering en uiteindelijk snellere adoptie onder gebruikers voor taakondersteuning of vervanging van menselijk handelen. In hoofdstuk 4 leggen we een aantal van deze typologieën verder uit en duiden we deze.

De diverse typologieën onderscheiden zich op basis van: (a) de input: welke informatie ze aanbieden om daarvan te leren of output te genereren, (b) de throughput: de manier waarop achterliggende modellen getraind worden, leren, informatie verwerken en handelen, (c) de output: het resultaat van (interactie met) AI en (d) de toepassing: het gebruik van de gegenereerde output. Een overzicht van de onderscheidslagen, inclusief een beknopte uitleg, is te vinden in Figuur 4-1.

AI in sneltreinvaart

Ondanks dat **symbolische AI**, die voornamelijk gebaseerd is op uit kennis herleide regels (rule-based), geen nieuw concept is, hebben de ontwikkelingen rondom deze technologie een enorme vlucht genomen. Binnen een jaar heeft AI zijn weg gevonden in ons dagelijks leven, is het in zoekmachines opgenomen, versterkt het onze productiviteit op de achtergrond in Office-tools en maken we gebruik van AI-tools zoals ChatGPT, Dall-E of Sci-Space.



Figuur 4.1 Onderscheidslagen ai.

2 Symbolisch duidt op symbolen die door de mens begrepen kunnen worden, zoals cijfers, letters, taal, tekens etc.

Ontwikkelingen richten zich op het betrouwbaarder maken van AI, bijvoorbeeld het voorkomen dat Chatbots 'toxische' antwoorden geven (MIT, 2024), het doelgericht trainen van AI-modellen (onder andere door de combinatie met expert-rules - zoals binnen hybride AI - en op het creëren en verbeteren van bedrijfs- en organisatie specifieke toepassingen via open source en kleinere taalmodellen.

De ontwikkelingen rondom AI gaan sinds de lancering van ChatGPT in november 2022 razend-snel. Zo snel zelfs dat de geïnterviewde experts aangaven regelmatig verrast te zijn door nieuwe ontwikkelingen. In zeer korte tijd heeft AI zijn weg gevonden naar zoekmachines en apps, en is er bijna niemand meer die niet op de een of andere manier van AI gebruik maakt, bijvoorbeeld via ChatGPT, Dall-E of Microsoft Copilot. Er zijn zelfs radiostations die volledig autonoom door AI gegenereerde muziek afspelen³.

De recente lancering van Open AI's ChatGPT4o, met de "o" van omni (alles), wordt gezien als revolutionair⁴; vergelijkbaar met de uitvinding van de personal computer. Het omni-aspect van het AI- instrument betekent dat het met alle 'taal'-input overweg kan en verschillende outputs kan genereren: tekst, spraak, beeld en geluid. De titel van een artikel over deze nieuwe versie van ChatGPT luidt dan ook: "de chatbot is nu bijna een mens".

Groeiende zorgen over data en uitlegbaarheid

Ondertussen groeien ook de zorgen. Diverse organisaties verbieden hun werknemers om ChatGPT voor werkdoeleinden te gebruiken, bijvoorbeeld om data nader te analyseren of om een rapport taalkundig op te schonen. Data die in ChatGPT en andere AI-instrumenten worden ingevoerd, zijn immers automatisch (mede)eigendom van de makers van het programma. Om deze reden gaan bedrijven er in rap tempo toe over om voor eigen toepassing taalmodellen te ontwikkelen.

Zorgen zijn er ook vanwege de "hallucinaties" die AI-modellen vertonen (aantoonbaar foute antwoorden) en de nog slechte traceerbaarheid van sommige beslissingen. Om deze reden is er wereldwijd veel aandacht voor explainable AI.

Bedrijven moeten zich goed realiseren dat het gebruiken van AI bij besluitvorming risico's met zich mee brengt die verzekeraars mogelijk niet willen dekken. MIT noemt het zelfs "roekeloos" als bedrijven AI-tools gebruiken zonder risk management ten aanzien van bijvoorbeeld een vooringenomenheid (bias) in de besluitvorming, copyright, privacy en veiligheid⁵.

Spel tussen de potentie van toepassing en zorgen rondom AI

Enerzijds zien we organisaties die de toegang tot AI-gebaseerde systemen afkomstig van grote softwarebedrijven inperken vanwege de beschreven angsten (verlies van eigenaarschap over data enerzijds en onverklaarbare uitkomsten anderzijds). Zij zetten in op de aanpassing van bestaande of het ontwikkelen van eigen varianten⁶. Anderzijds zet een deel van de organisaties juist in op het sluiten van partnerschappen met grote ontwikkelaars van bestaande, op AI-gebaseerde GTP-tools en de implementatie daarvan⁷.

Mogelijke ontwikkelrichtingen

Het is nog maar de vraag of individueel (decentraal) ontwikkelde toepassingen op zullen kunnen boksen tegen de (centrale) ontwikkelingen vanuit de grote softwarebedrijven. Of dat nu gaat

3 HDFM.nl

4 NRC van 15 mei 2024

5 MIT tech review - CIO perspectives AI

6 Nederland bouwt eigen open taalmodel GPT-NL - Digitale Overheid

7 PwC maakt AI-assistent Microsoft Copilot beschikbaar voor medewerkers - PwC

om de functionaliteiten of de kwaliteit van de uitkomsten, die grotendeels afhankelijk zijn van de beschikbaarheid van grote hoeveelheden data. Het beschermen van de ingevoerde data in AI-tools – met name beheerd door machtspartijen zoals Google en Microsoft - is dan ook een breed erkende uitdaging. Het zal leiden tot de ontwikkeling van AI-gerelateerde regelgeving op EU-niveau⁸, die in 2030 ongetwijfeld van kracht zal zijn.

Alternatieven voor de (gereguleerde) doorontwikkeling zijn (a) het voortzetten van de decentrale ontwikkeling van diverse tools in verschillende (samenwerkende) organisaties of juist (b) de centrale ontwikkeling van alternatieve tools die transparanter zijn, waarbij data-eigenaarschap gegarandeerd is en die aanpasbaar zijn voor organisatie-specifieke toepassingen (Van der Waal et al., 2020).

Explainability als voorwaarde voor toepassing

Het is noodzakelijk om medewerkers behendig te maken in het gebruik van AI-tools en hen bewust te maken van mogelijke non-uitkomsten. Dat vraagt iets van hun skill-set. Juist omdat AI straks niet meer weg te denken is uit ons dagelijks leven en werk, ontstaat er een streven naar **explainable AI**. Wanneer AI taken overneemt en/of samen met de mens in netwerken van organisaties optrekt, is er behoefte aan transparantie, regels en inzicht in uitkomsten. Dat zal de adoptie ten goede komen.

Het kan hier gaan om regels voor de ontwikkeling van tools, waar bestaande tools zich aan moeten conformeren, wat er met de data gebeurt, waar de verantwoordelijkheden liggen en uiteraard inzicht in hoe uitkomsten tot stand zijn gekomen. Dat AI explainability op termijn van belang gaat zijn en geïntegreerd moet worden, staat los van de richting die de maatschappij en organisaties inslaan. Of het nu gaat over de decentrale ontwikkeling van eigen tools, ontwikkeling van centrale alternatieven of de adoptie van aangepaste varianten vanuit de Big Tech.

Eerste blik op AI in 2030

AI zal in 2030 al veel service- en klantinteractieprocessen (gedeeltelijk) hebben overgenomen. De productiviteit per medewerker neemt toe door AI-ondersteuning bij zowel denken als handelen, in hybride toepassingen. Daarnaast zal AI leiden tot het ontstaan van nieuwe inzichten op basis van AI-data, eigen databronnen of bronnen van derden, waarin verbanden worden gelegd die eerder niet zichtbaar waren. Hiermee is sprake van een waardervermeerding voor AI-gebruikers.

De verwachting is dat iedere medewerker in 2030 gebruik zal maken van taakgerichte AI-tools en wellicht een persoonlijke AI-assistent. De instructies voor omgaan met AI zijn dan breed bekend⁹. De toepassingspotentie van generatieve en **hybride AI** is groot door ontwikkelingen aan de inputzijde. Deze ontwikkelingen zijn tweeledig. Aan de ene kant gaat het om het grootschaliger beschikbaar komen en delen van bestaande data. Aan de andere kant om het vrij komen van data door middel van nieuwe acquisitietechnologieën, zoals **computer vision** (het automatisch verzamelen, verwerken, analyseren, interpreteren en/of handelen op basis van beelddata uit de fysieke wereld).

Regelgeving die onder meer IP, privacy en aansprakelijkheid moet reguleren, en de daarmee verbonden verzekeringen, zullen de ontwikkeling op de korte termijn afremmen, maar uiteindelijk zullen standaarden en uitlegbare modellen (explainable AI) de ontwikkeling juist versnellen.

⁸ [Artificiële intelligentie - Consilium \(europa.eu\)](https://www.consilium.europa.eu)

⁹ Copilot voor Microsoft365; ben jij klaar voor de nieuwe manier van werken - Alexander Singer (2024)

4.2.2 Robotisering

Robots, vooral die met een fysieke gedaante, vormen feitelijk de volgende generatie machines op de werkvloer. Het verschil met reguliere machines is dat zij voor verschillende taken geprogrammeerd kunnen worden. Robotica profiteert sterk van ontwikkelingen op andere terreinen waarvan AI de belangrijkste is. Mede door AI heeft beeldherkenning een enorme vlucht genomen waardoor robots steeds beter op de omgeving kunnen reageren en dicht bij de mens zijn in te zetten, zonder specifieke veiligheidsmaatregelen. Door AI zijn robots in staat hun eigen handelen bij te sturen en structureel te verbeteren.

Soorten robots en hun toepassing

Er zijn veel manieren om robots in te delen. Allereerst moeten we onderscheid maken tussen robots met een fysieke gedaante en de softwarerobot. Omdat softwarerobots AI-gestuurd zijn, behandelen we deze verder niet op deze plaats. In dit onderzoek richten we ons bij het thema robotisering op de robots met een fysieke gedaante.

Andere manieren om robots in te delen zijn vast of mobiel en bij de mobiele robots waar zij operationeel zijn (land, lucht of water). Maar ook kunnen we hen indelen op de taak die zij overnemen: pak en plaats, bewerkingen (zoals lassen), transport, inspectie, service, etc.

Tot slot noemen we nog de cobot (collaborative robot). Dit is een aparte categorie. Het zijn voornamelijk plaatsgebonden robots die veilig genoeg zijn om in de buurt van mensen te werken. Een voorbeeld is de knikarm cobot. De huidige generatie van dit type robot heeft beperkte kracht in de arm (lage payload), tot slechts enkele kilo's. Daardoor bestaat er geen gevaar voor mensen die in de buurt van de cobot werken. De meeste transportrobots (autonomous mobile robots (AMRs)) en rijdende sociale robots zijn ook als cobot te zien.

Het gemotoriseerde exoskelet¹⁰ is een extreme vorm van mens-robot samenwerking omdat de robot hier dicht op de huid van de drager of bediener zit. Toepassingen zijn er in de medische wereld voor mensen met een dwarslaesie en in arbeidssituaties. In het laatste geval gaat het om exoskeletten, die de gebruiker ondersteuning bieden bij taken als tillen, of om het meer futuristische powerpak (zie Figuur 4.2)



Figuur 4.2 Twee voorbeelden van een 'powerpak' of 'wearable machine'. Links sarcos' guardian xo die nog in ontwikkeling is, rechts MechaMAX by Montgomery Design International.

¹⁰ In tegenstelling tot de ongemotoriseerde passieve exoskeletten, die geen robot genoemd kunnen worden maar al wel hun nut bij installatiewerkzaamheden bewezen hebben (<https://www.ew-installatietechniek.nl/artikelen/robotpak-als-oplossing-voor-zwaar-fysiek-werk>)

De meeste robots zijn in gebruik bij bedrijven. Uitzondering zijn de **autonome voertuigen** die zich in de publieke ruimte begeven, zoals drones, bezorgrobots en zelfrijdende voertuigen. Wetgeving staat het gebruik van deze voertuigen op de openbare weg nog niet toe.

Kenmerkend voor de huidige generatie robots is dat zij slechts een beperkte taak uitvoeren, bijvoorbeeld pakken en plaatsen, spuiten of puntlassen (automotive) of transport (logistiek). Grootschalige toepassing van fysieke robots vindt momenteel vooral plaats in de maakindustrie, met name in omgevingen met een sterk gestandaardiseerde productiewijze, zoals in de automotive sector (knikarmrobots/-cobots). Daarnaast gebruikt Defensie gebruikt ze (met name drones), de agrarische sector (plukrobots, drones), de logistieke sector (AMR's, order pick robots en drones voor voorraadbeheer) en de zorg (logistieke taken, zoals transport).

Ontwikkelingen

Fysieke robots kunnen steeds meer. Die ontwikkeling gaat razendsnel, geholpen door onderliggende technologieën zoals vision-technologie, edge computing¹¹ en AI (Boston Dynamics, 2023). Op de korte termijn betekent dit dat robots veel gemakkelijker voor een taak zijn in te leren, dezelfde taken ook mobiel uit kunnen voeren of dat een enkele robot meerdere taken kan uitvoeren (multi-purpose). Hoe minder afhankelijk de inzet van robots is van bijvoorbeeld proceswijzigingen, omgevingsfactoren (zoals een vlakke ondergrond) of complexe netwerkstructuren, hoe makkelijker het is om robots in een arbeidsproces in te zetten.

De nieuwe generatie **cobots** krijgen een hogere payload (kracht) dan de huidige, maar blijven toch veilig genoeg om zowel naast als met een medewerker te kunnen werken (EU project Rossini). Communicatie met robots - en daardoor ook het samenwerken - wordt eenvoudiger door ingebouwde chatfuncties die inmiddels bijna niet meer van menselijk zijn te onderscheiden. Ze zijn soms zelfs beter dan de mens, omdat ze alle talen aankunnen (ChatGPT4-o). Ontwikkelingen bij virtuele robots hangen sterk samen met AI en zijn daarom in de voorgaande paragraaf besproken.

Momenteel bewegen mobiele robots nog op wielen en rupsvoertuigen. Al minstens 10 jaar onderzoekt men ook robots op poten omdat deze voor oneffen terrein veel geschikter zijn, zoals een transportrobot¹² voor het Amerikaanse leger. Vanwege het lawaai van de verbrandingsmotor is verdere ontwikkeling stopgezet. Sinds de lancering in 2019 van Spot, de eerste commercieel verkrijgbare robothond van Boston Dynamics, ontdekt men snel toepassingen voor de robot, met name inspectie- en bewakingstaken en SAR¹³. Diverse legers trainen al met een robothond¹⁴.

Sinds de lancering van ChatGPT zijn er verschillende humanoïde robots met twee benen gepresenteerd¹⁵. Volgens diverse media¹⁶ zou Mercedes van plan zijn dergelijke robots voor fysiek zware taken in te zetten. Het is de vraag of dit niet vooral een experimentele en marketingfunctie heeft. In een industriële omgeving als bij Mercedes zou het veel logischer en vermoedelijk goedkoper zijn om rijdende robots in te zetten. Op de werkplaats op een project in de gebouwde omgeving daarentegen, waar afhankelijk van de fase nog geen schone vlakke vloer is en waar meestal trappen gelopen moeten worden, zouden viervoeters goed inzetbaar kunnen zijn.

11 Databron en dataverwerking liggen hier dicht bij elkaar en zijn niet van een netwerk afhankelijk waardoor robots sneller en zelfstandiger kunnen opereren (diverse bronnen op internet)

12 <https://jeugdjournaal.nl/artikel/674825-robothond-oefent-met-leger>

13 SAR = search and rescue, zoeken en redden

14 <https://www.shephardmedia.com/news/training-simulation/singapore-army-tests-robot-dog-teaming-at-exercise-forging-sabre/>
<https://www.forbes.com/sites/davidhambling/2023/11/01/us-marines-test-robot-dog-armed-with-a-rocket-launcher/>

15 O.a. Figuur 4.

16 o.a. https://www.t-online.de/digital/aktuelles/id_100367600/mercedes-will-humanoide-roboter-fuer-die-arbeit-am-fließband-einsetzen.html



Figuur 4.3 Links een robotzeel voor het transport van materieel voor manschappen, rechts robothond spot van boston dynamics.

Het Future Today Institute spreekt in het “2024 trendreport” (FTI, 2024) de verwachting uit dat robotisering over 5-9 jaar pas echt disruptief zal zijn in de ontwerp-, bouw- en technieksector. In veel deelgebieden waar de technieksector mee te maken heeft, zal dat al eerder zijn. Zoals in het vervoer, bij infra-ontwikkelingen en supply chain management. Hoe fabrieksmatiger een bouw- of installatieproces verloopt, hoe meer gestandaardiseerd en toegankelijker een proces wordt voor inzet van robots. Anno 2024 zien we een forse toename van het fabrieksmatig produceren van woningen/woningmodules en zien we experimenten met toepassingen van robots in fabrieken die bouwelementen maken.^{17 18}

Robots in 2030

In 2030 zullen veel bedrijven een robot op de werkvloer hebben, al is het maar een robotstofzuiger. Ze zullen het snelst in zee gaan met robots die geen of beperkte aanpassingen vragen van bedrijfsprocessen en infrastructuur of verbinding met netwerken. Bedrijven zullen daarom vermoedelijk als eerste experimenteren met een multipurpose robot: een robot die schoonmaaktaken kan uitvoeren, gasten kan ontvangen, de telefoon kan aannemen en doorverbinden. Omdat de eerste bedrijven hier in 2024 al mee experimenteren^{19 20}, zal het straks heel normaal zijn dat bedrijven in de technieksector na werktijd een robothond of drones inzetten om de werkplaats in de gaten te houden. Er zijn ook al experimenteren gaande met de inzet van robots en drones om 3D scans te maken die de vorderingen in kaart brengen voor een Digital Twin. Bedrijven zullen deze robots vaak inhuren op basis van SaaS (Security/Scanning as a Service). Wanneer de planning met AI is gemaakt en de digital twin voortdurend wordt geactualiseerd, zijn robots steeds beter in te zetten voor materiaaltransport op de werkplaats.

Omdat anno 2030 het planningsproces via AI verbeterd is, kan beter worden voldaan aan de randvoorwaarden voor inzet van deze robots. Doordat de robot ook steeds makkelijker in te leren is, zullen robots in 2030 beter inzetbaar zijn voor repeterende taken, zoals het boren in plafonds op locaties die in de Digital Twin zijn gedefinieerd.

Bedrijven die geen ervaring hebben opgebouwd met de inzet van robots en deze nog niet toepassen, lopen het risico hun concurrentiepositie te verliezen. Zij kunnen bij personeelskrapte moeilijker de productiviteit op peil houden of verhogen.

In 2030 zijn de beschikbare robots nog steeds niet zo flexibel inzetbaar als de mens, maar hebben we wel bereikt dat ze een beperkt aantal taken kunnen uitvoeren. We hoeven geen humanoïde robot te verwachten als maatje van een installateur, hooguit als hulpje om spullen te halen, op te tillen of op de plaats te houden.

17 Robotisering in de bouw: hoe ziet de toekomst eruit? | BNR Nieuwsradio (Februari 22)

18 Industriële bouw is een flinke puber - BouwTotaal (maart 2024)

19 NRC, 13 juni 2024 – de onderhoudsinspecteur bij de hoogspanningscentrale van Tennet is een robothond

20 Robothond Spot: Inspecteert veilig, snel en efficiënt | Antea Group

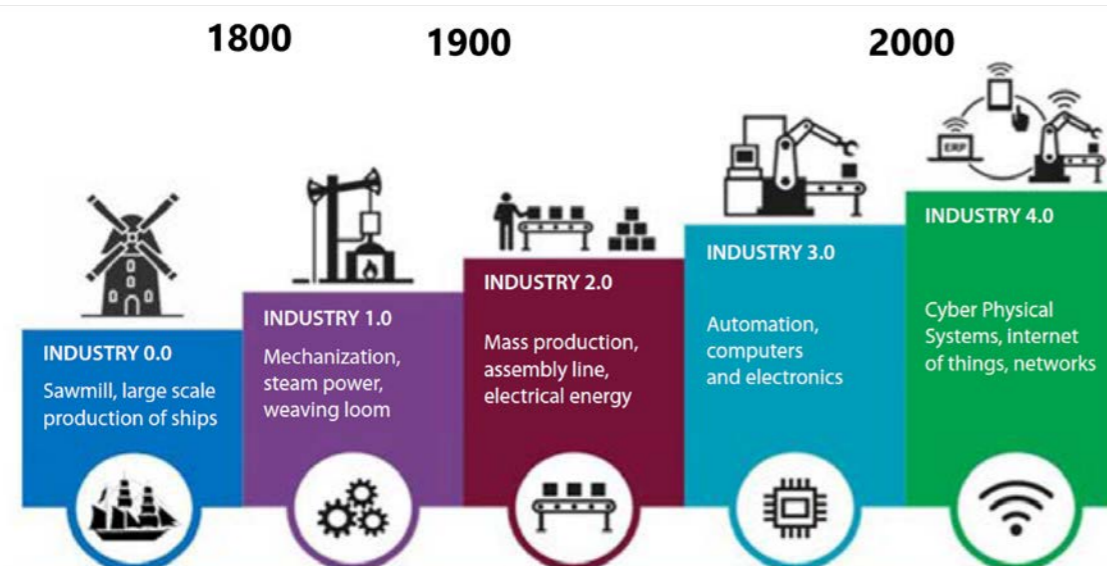
4.2.3 Industrialisatie

De term industrialisatie had in eerste instantie betrekking op de eerste en tweede industriële revolutie (mechanisering en massaproductie) in de maakindustrie (zie Figuur 4.4). Tegenwoordig gebruiken we de term industrialisatie vooral als het verder optimaliseren en automatiseren van bedrijfsprocessen. De mate van industrialisatie binnen (industriële) bedrijven loopt sterk uiteen, niet in de laatste plaats omdat massaproductie (zoals in de automotive-sector) in veel sectoren en voor dienstverlenende bedrijven niet haalbaar is. Echter, het optimaliseren van bedrijfsprocessen, onder meer door standaardisering en digitalisering, is in alle sectoren mogelijk. Waar machinebouwers eerst one-offs bouwden (ETO / Engineering To Order), streeft men nu zoveel mogelijk naar CTO (Configure To Order). Dit maakt mass customization (massa-maatwerk) mogelijk, maar vereist wel flexibele (productie) systemen (zie ook: paragraaf 5.5). Daarmee bereikt men een combinatie van de voordelen van flexibiliteit (high product mix, low volume) en de schaalvoordelen van massaproductie.

Digitalisering

Voor de derde industriële revolutie, Industrie 3.0, is digitalisering van essentieel belang. Iedereen werkt nu al met digitale middelen, maar de digitalisering van gegevens, bedrijfsprocessen en het managen van de datastream die dit teweegbrengt, is nog niet optimaal. In CONNECT2030 beschreven we dit al als het verschil tussen digitaal doen en digitaal zijn. Aan de andere kant gaan we ook al een stap verder en passen we in de meeste bedrijfsprocessen al elementen van **Industrie 4.0** toe, zoals cloud computing.

Een voorbeeld van een 4.0-toepassing in de technieksector is de Digital Twin. Met een Digital Twin kun je simulaties uitvoeren voordat de fysieke wereld de aanpassing doorvoert. Gebouwbeheersystemen hebben veel kenmerken van Industrie 4.0, namelijk van een cyber-physical system. Een groot aantal sensoren verzamelt en analyseert data en kan op basis van de informatie bijvoorbeeld klimaatsystemen automatisch aanpassen. De digitale structuur van deze systemen en de toegepaste algoritmes, vormen in zekere zin een Digital Twin van de werkelijkheid.



Figuur 4.4 Industriële revoluties tot heden.

Kernelementen van Industrie 4.0 – belang van data

SAP definieert Industrie 4.0 als “de integratie van intelligente digitale technologieën in productie- en industriële processen”²¹. Technologieën die bij Industrie 4.0 horen zijn industriële IoT-netwerken, AI, **big data**, robotica en automatisering. Digital Twins spelen binnen deze ontwikkeling een belangrijke rol. Zij zijn een digitale representatie van de werkelijkheid, inclusief hoe de systemen zich gedragen, om bijvoorbeeld onderhoud te voorspellen, maar ook om simulaties uit te voeren voordat systemen worden omgebouwd. De **industrial metaverse** is een term die nauw verwant is aan de Digital Twin. Het omvat naast de Digital Twin alle middelen om interactie met de Digital Twin mogelijk te maken; van het bekijken tot het aanpassen ervan. We hebben het dan over augmented reality (AR), virtual reality (VR) en extended reality (XR), waarbij sprake is van virtuele (via gebaar- en spraakherkenning) en fysieke controllers, zoals een force feedback handschoen (zie ook paragraaf 5.6).

The industrial metaverse, which mirrors and simulates real machines, factories, cities, transport networks and other highly complex systems in the digital world, as described by MIT and Siemens, will offer to its participants fully immersive, realtime, interactive, persistent, and synchronous representations and simulations of the real world (WEF&Accenture, 2024).

Data vormen de kern van Industrie 4.0 en de daarvoor noodzakelijke digitalisering. Om een concurrerende positie te behouden, heeft het op orde hebben van data de hoogste prioriteit, volgens TNO Smart Industry expert Mark Schouten. Het aantal maakbedrijven dat al in de Industrie 4.0-ontwikkeling meegaat, is echter beperkt. Vooral omdat een naadloze verbinding tussen de digitale aansturing en de fysieke uitvoering van maakprocessen om meerdere redenen nog ontbreekt. Redenen zijn onder meer: het ontbreken van breed gedeelde, eenduidige databronnen in de keten, het ontbreken van incentives voor beheer en behoud van data (die een levenscyclus meegaan), en expertise die nodig is om dit te kunnen organiseren en realiseren.

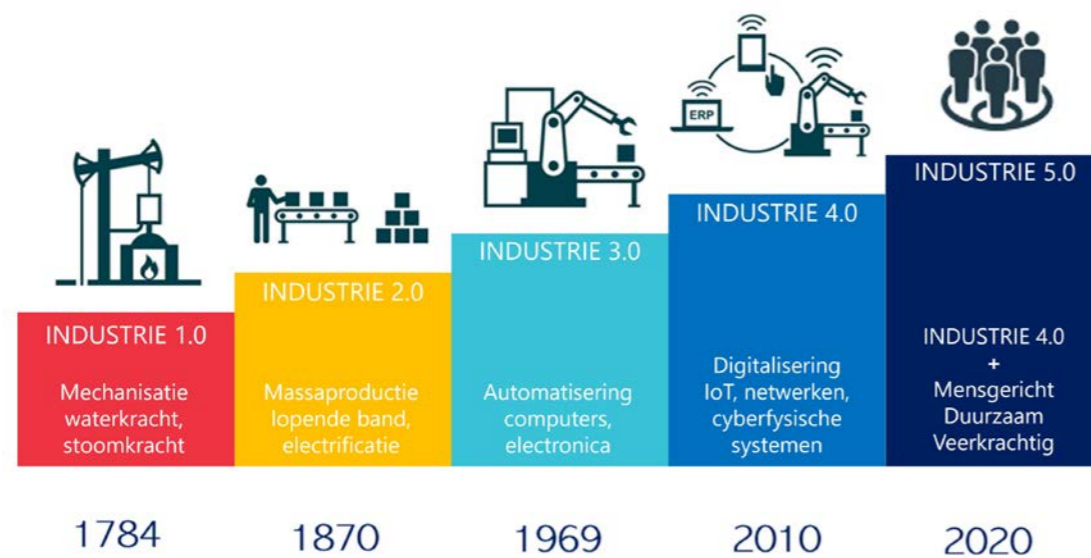
METAFOOR uit de Formule1

De Formule 1 is bij uitstek een voorbeeld van een sector die werkt met Digital Twins (van het circuit en de auto). AR/VR/XR wordt gebruikt om coureurs te trainen voordat ze aan een eerste training op een nieuw circuit beginnen. Simulaties van het circuit dienen om een geschikte bandenstrategie uit te werken. De coureur krijgt ondersteuning in de vorm van real time informatie (weersvoorspellingen, slijtage, verbruik) om gedurende een race bij te kunnen sturen naar een leidende positie. Bij onverwachte gebeurtenissen (zoals een crash) zorgt de Digital Twin voor onmiddellijke herijking van de strategie, rekening houdend met alle belangrijke factoren. Ook geeft het advies over uit te voeren team-calls op basis van de beschikbare data, resources en voorspellingen.

Ontwikkelingen

De technologieën die Industrie 4.0 mogelijk maken, ontwikkelen zich snel. En dan met name de technologieën rondom datageneratie (sensortechnologie) en dataverwerking (AI). Zo ontstaan er steeds meer grotendeels autonome systemen waarin digitale systemen de fysieke uitvoering aansturen; de zogenaamde **cyber physical systems**. Bij maakbedrijven hebben we het dan over ‘lights-outs factories’; faciliteiten waar productieprocessen plaatsvinden zonder menselijke interferentie. De lichten hoeven niet aan en menselijk toezicht is niet nodig. Industrialisatie maakt 24/7 productie mogelijk waardoor de kostprijzen van geproduceerde eenheden omlaag kunnen (deflatie).

²¹ <https://www.sap.com/netherlands/products/scm/industry-4-0/what-is-industry-4-0.html>



Figuur 4.5 Industrie 1.0 tot 5.0

In SCENARIO2040 gebruiken we de term Singularity 5.0 om de stap na Industry 4.0 te duiden. Het afgelopen jaar zijn met de ontwikkelingen op het gebied van AI grote stappen in die richting gezet. Toch is volgens experts de tijd nog niet rijp voor singularity^{22,23}, omdat dit zou betekenen dat een intelligent systeem de mens in alle opzichten voorbij zou streven.

Ondertussen dient zich wel de volgende industriële revolutie aan: **Industrie 5.0**. Waar de voorgaande industriële revoluties voortkwamen vanuit de industrie zelf, is voor Industrie 5.0 de EU de drijfveer. De EU stelt dat voor het voortbestaan van industrieën in Europa drie pijlers van belang zijn. De industrie moet resiliënt, sustainable en human centric worden, ofwel veerkrachtig, duurzaam en mensgericht. Industrie 5.0 is niet een stap die bedrijven pas kunnen zetten wanneer zij de voorgaande stappen hebben afgerond. Industrie 5.0 is meer een nieuwe manier van bedrijfsvoering, een fundament voor verdere digitalisering (zie European Commission 2022: Industry 5.0. Research And Innovation). Het moet nog blijken in hoeverre bedrijven deze stap willen en kunnen zetten. De EU is er veel aan gelegen dit te laten slagen en daarom is het ook gekoppeld aan een investeringsagenda.

Waarom Industrie 5.0?

De Europese industrie is een belangrijke motor in de economische en maatschappelijke transitie die we momenteel doormaken. Om de motor van de welvaart te blijven, moet de industrie het voortouw nemen in de digitale transitie en de groene transitie (Twin Transitie). In deze benadering kijkt de industrie verder dan alleen naar efficiëntie en productiviteit, maar versterkt ze ook haar rol en bijdrage aan de samenleving. Door het welzijn van werknemers centraal te stellen en nieuwe technologieën te gebruiken om welvaart te creëren. Welvaart die verder gaat dan banen en groei, met begrenzing aan de productie uit respect voor de toekomst van onze planeet. Het vormt een aanvulling op de Industrie 4.0-aanpak, door onderzoek en innovatie specifiek ten dienste te stellen van de transitie naar een veerkrachtige, duurzame en mensgerichte Europese industrie.

²² <https://research.aimultiple.com/artificial-general-intelligence-singularity-timing/>

²³ <https://www.smithsonianmag.com/air-space-magazine/reaching-singularity-may-be-humanitys-greatest-and-last-accomplishment-180974528/>

Veerkrachtig

De Covid-crisis en het gestrande schip in het Suez-kanaal maakten duidelijk hoe afhankelijk veel bedrijven zijn van mondiale aanvoerketens en welk risico verstoringen voor de nationale economie kunnen hebben. Dit heeft mede geleid tot aansporing vanuit de EU om de eigen logistieke ketens en de eigen productieprocessen onder de loep te nemen en te onderzoeken hoe we deze robuuster kunnen vormgeven (strategische autonomie). Robotisering en 3D-printing kunnen er bijvoorbeeld toe leiden dat fabricage vaker in eigen land of een buurland kan plaatsvinden. Dit leidt tot kortere ketens en komt duurzaamheid ten goede. Minder logistieke bewegingen betekent immers minder uitstoot. En waarom producten van ver laten aanvoeren als je ze ook op de bouwplaats 3D kan printen?

Duurzaam

De verantwoordelijkheid voor de keten (waar is een product gemaakt, op welke manier, met welke processen) wordt groter. Dit schuift de noodzaak van kortere en transparante ketens naar voren. Ketens waar partijen data uitwisselen (data als randvoorwaarde) om aan te tonen dat ze aan hun duurzaamheidsdoelstellingen en -verantwoordelijkheden voldoen. Tevens zullen bedrijven in de keten duurzame verantwoording gaan afleggen in jaarverslagen of in een digitaal productpaspoort. Recente wet- en regelgeving zoals de CSRD²⁴ en de WKB zetten ketenpartijen aan tot transparantie over de geleverde producten, kwaliteit en prestaties. Industrialisatie kan daaraan bijdragen, in de vorm van beheersbare processen met voorspelbare uitkomsten. Ook hierbij geldt dat data een randvoorwaarde vormen. De urgentie om met data aan de slag te gaan, dit goed te organiseren en daarmee aan de wettelijke eisen te voldoen, wordt dus alleen maar groter.

De technieksector draagt bij aan het realiseren van de duurzaamheidsdoelstellingen, maar ontkomt er natuurlijk niet aan om ook zelf te vergroenen. Anno 2030 kom je met een busje op diesel niet ver. Beleving van woongebieden kan dan alleen nog emissieloos. Ook als het gaat om de toegepaste materialen en het terugnemen van installaties aan het einde van de levensduur, zullen bedrijven duurzamer moeten opereren. Met het right-to-repair principe (repareren tegen een redelijk prijs, binnen een redelijke termijn, ook na de garantieperiode), dat vanaf 2026 geldt voor consumenten, krijgt circulariteit een impuls. Het heeft impact op zowel uitvoerders als producenten. Producenten zullen langer en meer voorraden gaan aanhouden van onderdelen en daar meer informatie over moeten vastleggen²⁵.

Bedrijven worstelen met de duurzame businesscase omdat een duurzamere bedrijfsvoering niet altijd goedkoper is en ze dus kosten aan de klant moeten doorberekenen. Voor bedrijven biedt het echter ook kansen: zo kunnen bedrijven voordeel behalen uit een bedrijfsvoering met minimale CO₂-impact. Het aantal bedrijven dat niet langer een product levert, maar de functie van het product als een dienst aanbiedt, zal op basis van de huidige trend waarschijnlijk toenemen. De producten die voor die dienstverlening worden gebruikt, blijven eigendom van het bedrijf. Die zal ze na verloop van tijd weer innemen, hergebruiken of verwerken tot nieuwe grondstoffen.

Mensgericht

De mensgerichte industrie die de EU voor ogen staat, is er één waarin bedrijven zich bewust zijn van hun positie in de maatschappij en de maatschappij er dus niet (alleen) is om de korte termijn doelstellingen van een bedrijf te realiseren. In de ogen van de EU zijn medewerkers dan ook geen resources of kostenposten, maar assets. Met de arbeidsomstandigheden in Nederland is het over het algemeen redelijk tot goed gesteld, maar toch hebben veel werknemers te maken met zware fysieke belasting, hoge stress en ongezonde werkomgevingen²⁶. Dit betekent dat bedrijfsprocessen nog onvoldoende mensgericht zijn ingericht.

²⁴ Verplichte duurzaamheidsrapportage: dit betekent het | KVK

²⁵ Right to repair: Making repair easier and more appealing to consumers | European Parliament (europa.eu) (maart 2024)

²⁶ <https://monitorarbeid.tno.nl/publicaties/nea-factsheet-2022/>

In **Industrie 4.0** ligt de focus voornamelijk op de technologie en is er geen expliciete focus op de rol die de mens in deze sterk gedigitaliseerde en geautomatiseerde omgevingen moet gaan spelen. Eén ding is duidelijk: de mens zal niet geheel verdwijnen uit het productieproces. Door de techniek in te zetten ten dienste van de mens, zullen de unieke capaciteiten van de mens optimaal benut kunnen worden.

Industrie 4.0 en 5.0 en industrialisatie in 2030

Gedwongen door krapte op de arbeidsmarkt, moeten bedrijven er veel aan doen om in 2030 personeel te vinden, binden en boeien. Sectoren concurreren elkaar om de beperkt beschikbare werknemers aan zich te binden. Robotisering maakt het mogelijk met minder (schaarse) mensen toch dezelfde output te kunnen maken (en daarmee de omzet te behouden). Zo kunnen we meer maakindustrie binnen Europa houden en worden ketens minder afhankelijk van kwetsbare schakels waar minder controle over is. Hierdoor neemt de weerbaarheid in ketens toe. De technologische ontwikkelingen die we beschreven in CONNECT2030 zetten zich door, versneld door de ontwikkelingen in AI en beeldherkenningstechnologie. Met de industriële productieprocessen en 3D printtechnologie die daaruit voort komen, kan de industrie beter voldoen aan de vraag naar **mass-customization** en de hiermee verbonden “one-piece flow”²⁷.

Het eerder genoemde right-to-repair²⁸, in combinatie met het DPP (digitaal productpaspoort), 3D printen, het beschikbaar stellen van ontwerp- en realisatietekeningen en de alom tegenwoordige instructievideo's, verandert het onderhoudswerk.

Bedrijven in de keten van fabrieksmatige productie worden als eerste gedwongen om digital twins met hun data aan te vullen. Als deze bedrijven hun datastructuur nog niet op orde hebben, verliezen ze opdrachten of zijn ze gedoemd een uitzendbureau van 'handjes' te worden.

Andere industriële ontwikkelingen

Van andere industriële ontwikkelingen die niet persé bij Industrie 4.0 horen, maar wel passen binnen het begrip industrialisatie en relevant zijn voor de technieksector, geven we hieronder een korte omschrijving. Een aantal begrippen komt ook terug in paragraaf 5.5.

Fabrieksmatig produceren

Fabrieksmatige productie komt vooral voor in de woningbouw. Zo kunnen we woningen opbouwen uit modules die in de fabriek zijn geproduceerd, inclusief het installatiewerk. Deze ontwikkeling kan ertoe leiden dat installateurs onderdeel worden van bouwbedrijven. Het zou ook kunnen dat medewerkers van installatiebedrijven bouw kennis gaan opdoen, waardoor hun takenpakket interessanter wordt en ze multi-inzetbaar zijn. Aan de andere kant kunnen bouwbedrijven ervoor kiezen om de installatie-werkzaamheden in de fabriek door onderaannemers uit te laten voeren of om zelf een techniekpoot op te zetten.

Naast de woningbouw zien we fabrieksmatige productie ook steeds meer ontstaan bij grote(re) installaties en - zoals eerder aangegeven - in de machinebouw. Installaties zijn dan wel klant-specifiek, ze bestaan wel grotendeels uit gestandaardiseerde componenten (ook wel Configure to Order genoemd (CTO)). Door ze kant-en-klaar (plug and play) op vervoerbare skids te bouwen, neemt de werklast op de bouwplaats aanzienlijk af. Het installatiewerk op locatie verandert daardoor. In plaats van losse componenten te assembleren, monteert men nu een volwaardig eindproduct.

²⁷ One-piece-flow is een gestandaardiseerd productieproces waarbij elk gemaakt eindproduct toch uniek kan zijn

²⁸ EU initiatief Right to repair - https://ec.europa.eu/commission/presscorner/detail/en/ip_23_1794



4.3 Samenhang tussen de thema's

Wanneer we naar de thema's AI, Robotisering en Industrialisatie kijken, komen veel technologieën, methodes en concepten in alle drie de thema's terug. Het beschrijven van de samenhang tussen technologie en toepassing is dan ook ingewikkeld. Het helpt om onderscheid te maken in doelen, randvoorwaarden en inzet van middelen.

Doelen: efficiencyverhoging (bijvoorbeeld meer of hetzelfde doen met minder mensen/ kostprijsverlaging per eenheid), toegevoegde waarde verhogen, behoefte aan nieuwe verdienmodellen.

Randvoorwaarden: digitalisering op orde, historische data en data-inwinningstechnieken, kennis, processen met enige vorm van voorspelbaarheid (hoe meer gestandaardiseerd, hoe succesvoller).

Middelen: inzet van AI en Robotica ([smart manufacturing](#), flexible manufacturing en [mass customization](#)) voor maak- en productieprocessen.

De overzichtsplaat hiernaast geeft een visuele weergave van de middelen die inzetbaar zijn en de samenhang daartussen. Wanneer we naar de termen in de visuele weergave kijken, verwijzen die vaak naar verschillende functies/toepassingen. Omdat AI, Industrialisatie en Robotisering sterk met elkaar samenhangen en afhankelijk zijn van elkaar ontkomen we er niet aan dat bepaalde termen elkaar overlappen.

Zo zijn gerobotiseerde systemen bijvoorbeeld zelflerend te maken omdat zij naast sensoren gekoppeld zijn aan [computer vision](#) (als ogen van het systeem) en [hybride AI](#) (als brein van het systeem). Deze slimme of [adaptieve robotsystemen](#) vinden vervolgens weer een toepassing in geïndustrialiseerde productiesystemen, waar zij naast legio andere systemen en technologieën (zoals bijvoorbeeld Internet of Things, [Big Data](#) en Digital Twins), slechts een spin in het web zijn.

Wanneer dergelijke systemen automatisch en zelfstandig kunnen reageren op elkaar en op mensen in de productieomgeving, worden strategieën als smart manufacturing, flexible manufacturing en mass customization mogelijk. Voor dergelijke strategieën geldt wel een aantal randvoorwaarden, zoals een vergaand gedigitaliseerd proces, voldoende beschikbare data en de toepassing van sensoren. Om die randvoorwaarden in te vullen en andere technologische concepten te kunnen implementeren, zal een bedrijf eerst de verschillende transitieën moeten doorlopen, zoals Industrie 3.0, [Industrie 4.0](#) en [Industrie 5.0](#).

Uitgaande van de technologische vooruitgang op het gebied van de thema's in 2030 en de noodzakelijke transitieën (zoals digitalisering en het omarmen van concepten die een strategie of beoogde eindstaat beschrijven), hebben we zeven belangrijke kernbegrippen vastgesteld.

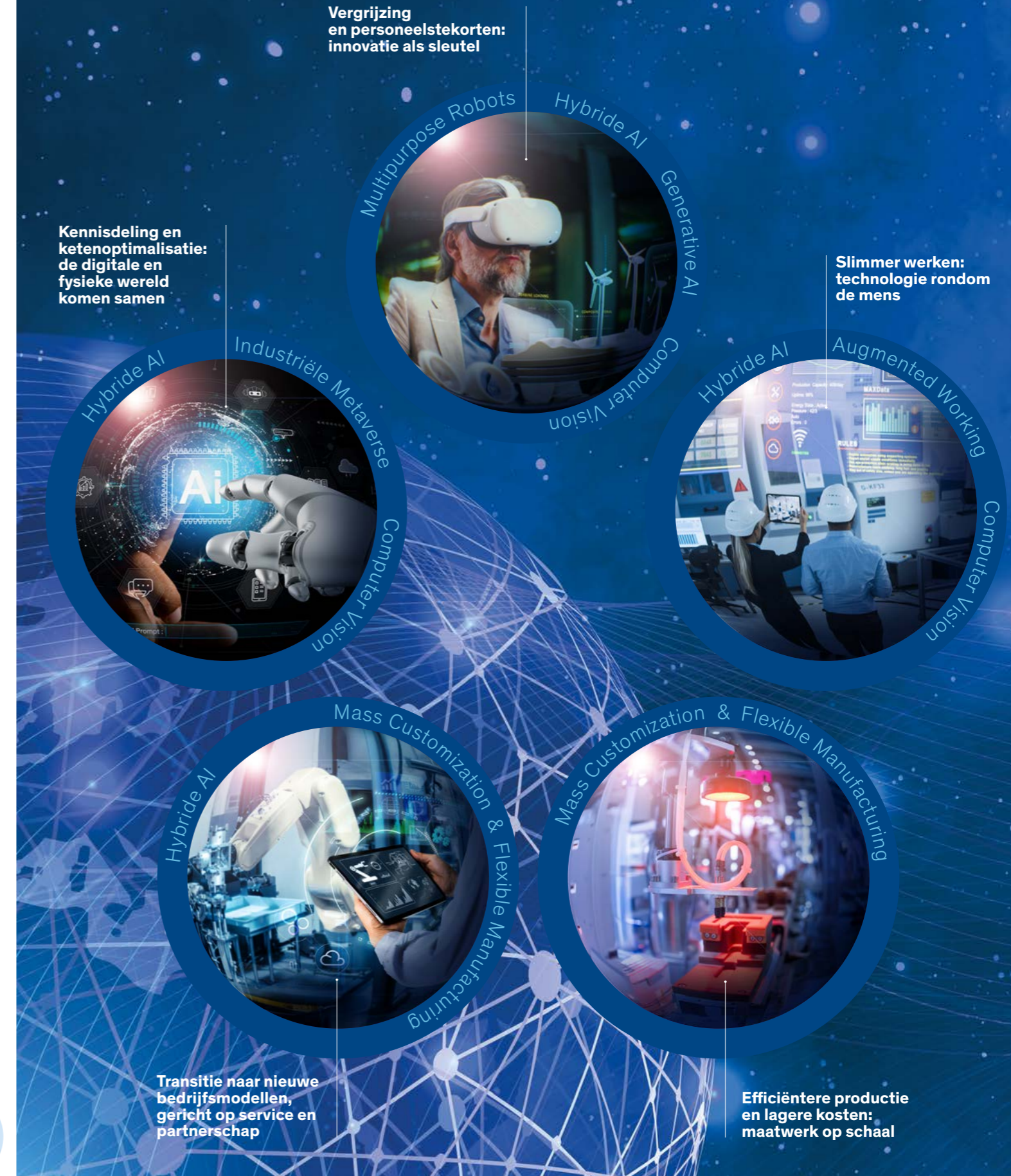
[Generative AI](#) (1), hybride AI (2), computer vision (3) en multi-purpose robotica (4) zijn kansrijke technologieën die in 2030 zeker terug te zien zijn in meerdere toepassingen.

Andere kernbegrippen, zoals [augmented working](#) (5), [industrial metaverse](#) (6) en mass customization (7) staan voor concepten waarin diverse technologieën samenkomen. Ze bevatten bijvoorbeeld naast hybride AI en multi-purpose robotica ook technologieën als [cobots](#), augmented reality, Internet of Things en [additive manufacturing](#).

In het volgende hoofdstuk gaan we uitgebreid in op deze kernbegrippen.

De toekomst wacht niet!

Artificial Intelligence, Robotisering en Industrialisatie: de technieksector in 2030



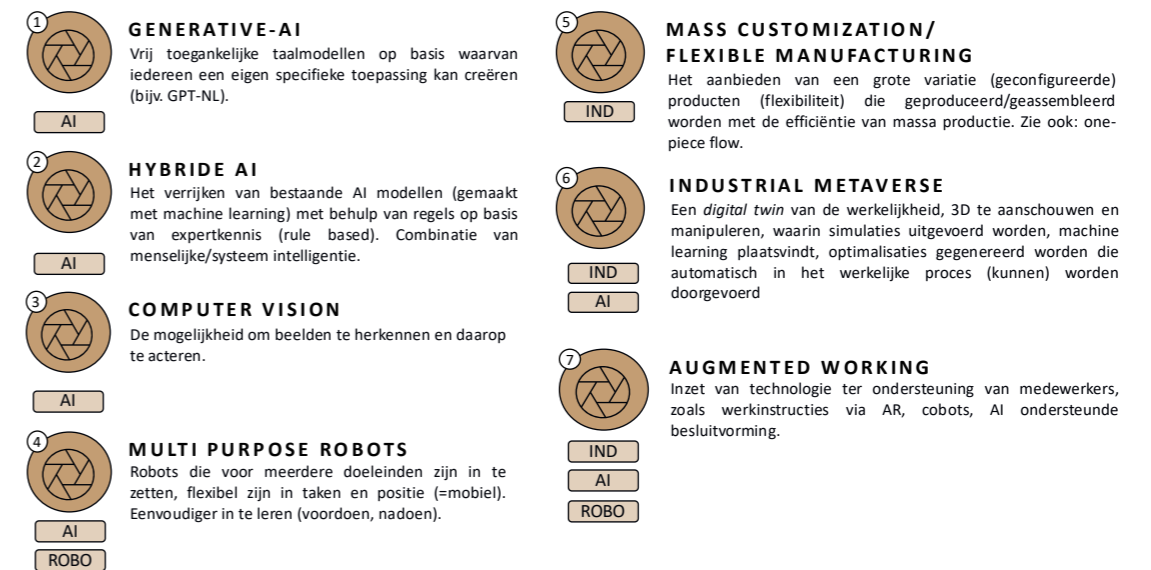


5. 2030 aan de hand van zeven kernbegrippen

Vanuit de brede verkenning rondom AI, Robotisering en Industrialisatie is een lange lijst ontstaan van onderliggende en samenhangende begrippen. Deze zijn opgenomen in [Hoofdstuk 9](#).

In 2030 verwachten we de meeste ontwikkelingen rondom de zeven kernbegrippen die we hiervoor noemden. Deze brede kernbegrippen kunnen zowel een enkele als een verzameling van impactvolle technologieën bevatten die enigszins overlappen zoals hieronder toegelicht.

De zeven kernbegrippen zijn: (a) allereerst geselecteerd omdat de onderliggende technologieën in 2030 waarschijnlijk voldoende rijp zullen zijn (technologische rijpheid), (b) naar verwachting grootschalige toepassing zullen vinden in zowel privé als professionele sferen (mate van adoptie) en (c) relevant en van belang zijn voor zowel de technieksector en haar uitdagingen in 2030 als de maatschappelijke context waarbinnen de sector opereert (impact)²⁹.



Figuur 5-1 Overzicht zeven kernbegrippen met impact.

²⁹ Meer over het proces om te komen tot zeven kernontwikkelingen is te vinden in hoofdstuk 9



5.1 Generative AI

Generative AI is, zoals de naam zegt, generatief. De software is in staat om zelfstandig menselijke output (tekst, beeld, geluid) te genereren. Open-source generatieve AI omvat vrij toegankelijke taalmodellen³⁰ op basis waarvan iedereen een eigen specifieke toepassing kan creëren (bijvoorbeeld GPT-NL).

Een taalmodel in kunstmatige intelligentie is een soort software die menselijke taal leert begrijpen en genereren. Het is als een virtuele schrijver die teksten kan maken op basis van wat het heeft geleerd uit enorme hoeveelheden data. Het kan worden gebruikt voor taken zoals vertalen, samenvatten en zelfs het schrijven van gedichten. (aldus Microsoft Co-pilot).

In 2030 verwachten we verschillende ontwikkelingen en toepassingen op en rondom het gebied van (open source) generatieve AI. 'De techniek gaat in 2030 voor het gevoel van de gebruiker, echt meedenken' (quote uit workshop). Zo zal Generative Pre-training Transformer (GPT) significant verbeterd zijn in zowel de functionaliteiten als de verkregen output. Dat zal hoogstwaarschijnlijk leiden tot grootschalige toepassing van onder meer GPT in serviceprocessen waarbij klantinteractie nodig is. Naast het genereren van taal-output, zal wellicht ook het genereren van computercodes ter ondersteuning van programmeurs tot de mogelijkheden behoren. Tot slot verwachten we dat de technologie in 2030 zal worden ingezet om betere werkinstructies en handleidingen te genereren op basis van onder andere ontwerptekeningen.

Naast deze realistisch geachte ontwikkelingen, voorzien we ook beperkingen en toepassingen die meer tijd nodig hebben. Voorbeelden van toepassingen die in 2030 nog niet haalbaar zullen zijn, zijn: (a) het creëren van kwalitatieve, generatieve ontwerpen op basis van productspecificaties en (b) het middels AI genereren en aansturen van zowel robots als productiesysteemconfiguraties binnen en buiten fabrieken. De reden dat we dit nog niet verwachten is dat in dit segment vooral nog gesnuffeld en verkend wordt. Specifieke functionaliteiten en toepassingen (emerging properties) komen vaak per ongeluk aan het licht.

Het gebrek aan betrouwbare, herkenbare data vanuit de technieksector zelf, op basis waarvan generatieve AI zelfstandig zou kunnen leren, interpreteren en output genereren, is een remmende factor voor deze kernontwikkeling. Vooral in het werkgebied van de gebouwde omgeving, zal de sector daar stappen in moeten zetten. Er is veel capaciteit nodig om deze data te verzamelen, op te slaan, te delen en te gebruiken. Deze capaciteit is vooralsnog niet beschikbaar, maar is cruciaal voor het ontwikkelen van generatieve AI-toepassingen en het gebruik door system engineers. Alleen als de capaciteit vergroot, zal het mogelijk zijn om orde te brengen in de digitale infrastructuur die nodig is voor de transitie naar een productmatige industrie en versnelde innovatie. We hebben deze ontwikkeling nodig als onderdeel van hierna te benoemen andere kernbegrippen.

³⁰ Een taalmodel is een door AI gegenereerd model voor de voorspelling ieder volgend woord of symbool in de output van een AI systeem. Dit leidt bijvoorbeeld tot een antwoord in ChatGPT, programmeercode of een muzikale compositie



5.2 Hybride AI

Hybride AI is het combineren van bestaande AI-modellen (gebouwd op basis van **machine learning**) met regels op basis van expertkennis (rule based). Door menselijke intelligentie te verrijken met systeemintelligentie, worden uitkomsten transparanter.

We voorzien dat hybride AI-toepassingen en interfaces in 2030 geleidelijk hun intrede zullen doen ter ondersteuning van (simpel/repetitief) menselijk handelen. Enerzijds uit noodzaak, door vergrijzing en tekort aan arbeidskrachten. Maar ook om het regel-gebaseerd "mensdenken" te versterken met doorontwikkelde machine learning capaciteit. Een voorbeeld is de grootschalige, geautomatiseerde verzameling van prestatiedata (input) uit installaties, waarbij hybride AI **predictive maintenance** mogelijk maakt. In dit geval wordt menselijke ervaring en denken ingezet om het systeem in te leren (throughput) en helpen applicaties de onderhoudsprocessen te plannen (output). Het is hier – maar ook bij andere toepassingen – van belang dat de gebruiker de uitkomsten van hybride AI-toepassingen begrijpt en vertrouwt. Daarom zal vastgesteld moeten worden: (a) wie de beslissingen neemt (mens of algoritme), (b) op basis van welke data het algoritme ingeleerd wordt (input), (c) wat de kaders zijn waarbinnen de toepassing betrouwbare ondersteuning biedt (output) en (d) waar de verantwoordelijkheid ligt voor de gevolgen van foutieve keuzes.

Kennis borgen voor de toekomst

Het is bekend dat de Nederlandse maatschappij en de technieksector vergrijzen. Dat stelt ons voor enorme uitdagingen. Er gaat een enorme hoeveelheid kennis verloren als deze niet geborgd wordt. Aan de andere kant zullen we meer moeten doen met minder mensen. Met de opkomst van social media ontstaan er nieuwe mogelijkheden voor het vasthouden van kennis en ervaring, zoals in de vorm van vlogs binnen organisaties of video-demonstraties die openbaar op YouTube te vinden zijn.

Waarbij videomateriaal voornamelijk om zenden draait en weinig interactief is, vinden we in generatieve AI een kansrijk interactief alternatief. Straks zijn we in staat om openbare, maar niet altijd eenvoudig te vinden instructies, maar ook de kennis en ervaring van onze aanstaande pensionado's te vangen in dergelijke systemen. Met generatieve AI-tools kunnen onze medewerkers van de toekomst dus blijven terugvallen op de jarenlange kennis en ervaring van hun voorgangers en andere bronnen, via een enkele of beperkt aantal interfaces.

De juiste vragen stellen is ook een vak

Miscommunicatie tussen mensen en organisaties is een oorzaak van veel problemen. Heldere communicatie tussen zendende en ontvangende mensen blijft belangrijk, maar de toenemende ondersteuning van generatieve AI tools kan bijdragen aan beter begrip. Het juist formuleren van initiële vragen, het stellen van de juiste vervolgvragen en het begrijpen van de ontvangen antwoorden uit generatieve AI tools, kan leiden tot onmiskenbare uitkomsten. Interactie met dergelijke tools is een vaardigheid die oefening, training en opleiding vereist. Mensen en organisaties die deze vaardigheden op de juiste manier ontwikkelen en aan weten te sluiten bij de rijkste generatieve en hybride tools, kunnen rekenen op een enorme productiviteitsslag.

Generatoren en specialisten

Een leergierige leek die jarenlang meeloopt met een loodgieter, advocaat of ingenieur, zal op een gegeven moment bedreven raken in het werkgebied van zijn leermeester. Op dezelfde manier zijn specialismen of expertises onder te brengen in hybride en generatieve tools, ter ondersteuning van professionals. Bepaalde banen die nu zonder extensieve opleiding niet toegankelijk zijn, worden door deze kennis-tools toegankelijker. Specialisten zullen uiteraard



niet overbodig worden, maar AI-tools kunnen creatieve processen ondersteunen en randzaken of repetitieve taken overnemen zodat mensen zich volledig kunnen richten op hun expertise. De specialist zal meer bezig zijn met ondersteuning, met het integreren en converteren van de output uit AI tools naar klantwaarde en het verbeteren van gebruikte tooling. Op termijn zullen er ongetwijfeld banen verdwijnen, vooral daar waar generatieve tools de creativiteit van mensen overstijgen. Aan de andere kant zal het aantal banen in het veld van hybride en generatieve AI juist toenemen.

Samen delen is samen beter genereren

Generatieve en **hybride AI**-tools zijn zo intelligent als de data en regels op basis waarvan ze leren en handelen. Dat maakt data een waardevolle grondstof. In 2030 zijn de maatschappij, organisaties en individuen zich daar terdege van bewust. Er wordt daarom ingezet op het grootschalig verzamelen en controleren van (eigen) data, met als doel om die gereguleerd en gecontroleerd te delen met ketenpartners en consortia die voorheen als concurrenten werden gezien. Door het uitwisselen van deze data komen ketenpartners samen tot ontwikkeling en verrijking van taak-en-beroeps-specifieke AI-tools. Daarmee lossen ze gemeenschappelijke problemen op en geven ze invulling aan gedeelde behoeftes.

5.3 Computer vision

Computer vision, ook wel Imaging Technology³¹, omvat het genereren, verzamelen, dupliceren, analyseren, wijzigen en visualiseren van beelden (optisch en niet-optisch). In de industriële context dient dit vooral ter ondersteuning van kwaliteitscontrole. Met kunstmatige intelligentie komen problemen sneller aan het licht, op basis van zelflerende systemen. In de technieksector geeft het de mogelijkheid om beelden te herkennen en daarop te acteren. De tool gebruikt zowel optische (voor ons zichtbare) lichtgolven als niet-optische signalen en waarnemingen, zoals radiogolven³². Computer vision is een randvoorwaarde voor robotisering en industrialisatie en sterk afhankelijk van AI.

Op het gebied van computer vision (beeldherkenning) verwachten we dat in de aanloop naar 2030 technologieën die voorheen op kleinere schaal werden toegepast, grootschaliger zullen worden ingezet. Hierbij gaat het om:

- Het verzamelen van data (pointclouds)
- Het integreren van deze data in digitale modellen (Digital Twinning)
- Het projecteren van verrijkte beelden terug naar de werkelijkheid om enhanced working (verbeterd werken) te realiseren, bijvoorbeeld met augmented reality

In 2030 zullen sensoren, actuatoren, pointclouds en LiDAR-technologieën data verzamelen om op grote schaal de gebouwde omgeving in kaart te brengen. Deze data worden gebruikt voor digitale modellen en Digital Twins. Vooral de ontwikkeling van federatieve modellen voor data-uitwisseling en het opzetten van nieuwe samenwerkingsmodellen tussen partijen zijn hierbij belangrijk.

Kortom, in de komende jaren zal beeldherkenning op grote schaal worden toegepast, met name voor het in kaart brengen van de gebouwde omgeving. Maar dit vereist wel dat partijen samenwerken en data uitwisselen via federatieve modellen en nieuwe samenwerkingsvormen.

³¹ <https://www.kia-st.nl/kia-sleuteltechnologieen/sleuteltechnologieen-kets/engineering-and-fabrication-technologies>.
³² waarneming met alle beschikbare sensoren o.a. licht, geluid, druk, stoffen etc.

Het verzamelen en delen van data hangt echter wel in grote mate af van de stand van zaken rondom digitale modellen en Digital Twins. Als het gaat om de toepassing van verreikte beelddata in de praktijk, lijken onder andere remote support en met hybride AI ondersteunde augmented reality en projectietechnologie kansrijk. De belangrijkste uitdaging op technologisch vlak – zowel voor computer vision als robotisering – is de toepassing in hoog-dynamische omgevingen (zoals locaties waar werkzaamheden in de buitenlucht plaatsvinden). De kalibratie van modellen is zowel in de digitale als de fysieke wereld nog lastig in 2030.

Kwaliteitsborging

In 2030 is toepassing van computer vision een belangrijk element van de kwaliteitsborging van bedrijven. Stappen in het fabricage- en installatieproces worden vastgelegd en vergeleken met de digital twin. De integratie van deze technologie in de mobiele telefoon maakt dit alles een stuk eenvoudiger. Klanten eisen een digitaal gebouwspaspoort en een Digital Twin, niet alleen om geleverde kwaliteit te kunnen toetsen maar ook om bij toekomstig onderhoud niet-zichtbare structuren te kunnen lokaliseren waar de Digitaal Productpaspoort niet toereikend is. Een Digital Twin wordt dus ook praktisch bruikbaar.

Zelfrijdende voertuigen

Auto's kunnen door computer vision allang zelfstandig rijden, maar stedelijke gebieden staan dit nog maar beperkt toe, vanwege de onvoorspelbaarheid van menselijk gedrag.

Robots

Computer vision vormt in 2030 geen belemmering meer voor toepassing van mobiele en industriële robots in de nabijheid van mensen, terwijl dit in 2024 alleen nog voor **cobots** en langzaam rijdende AMR's is toegestaan.

Privacy

Nu camera's alom vertegenwoordigd zijn in productieomgevingen en deze camera's data genereren, is er Arboretgeving op komst die bedrijven verplicht om binnen de organisatie openbaarheid te geven over de omgang met data over werknemersgedrag.

5.4 Multi-purpose robots

Multi-purpose robots zijn robots die voor meerdere doeleinden zijn in te zetten, flexibel zijn in hun positionering en het uitvoeren van taken, en eenvoudig in te leren zijn (voordoen is nadoen).

Wat betreft multifunctionele robots verwachten we dat in 2030 robots die meer dan twee taken kunnen uitvoeren, vooral zullen worden gebruikt in onveilige omgevingen. Ze zullen daar ondersteuning bieden of het werk van mensen aanvullen. In de toekomst zal het mogelijk zijn om (slechts) enkele robots in te zetten voor het uitvoeren van meerdere taken. Dit hangt af van de ontwikkeling van leermechanismen. Een voorbeeld hiervan is dat een robot een taak of een reeks taken één keer leert, waarna deze kennis kan worden doorgegeven aan andere robots. Dit principe kunnen we samenvatten als "voordoen is nadoen." Het betekent dat als de ene robot iets leert, andere robots dit ook kunnen volgen en leren.

Met de blik op 2030 achten we het rule-based of gedeeltelijk door mensen aansturen van robotica realistischer. Voor de ontwikkeling van deze aansturingregels zijn generatieve en hybride AI belangrijke aanverwante technologieën, bijvoorbeeld voor het genereren van computercode. Het uitvoeren van meer dan twee taken (multi-purpose), inclusief de benodigde tool changes, zal vooral voorkomen in onveilige omgevingen of bij het uitvoeren van taken met veiligheids-



risico's, zoals inspecties in kruipruimtes, werkzaamheden aan zeekeblen of het opruimen van explosieven. De belangrijkste uitdaging bij multi-purpose robotica is de inpassing in niet-geconditioneerde omgevingen.

Meer kunnen is niet alles kunnen

Hoewel de voorbeelden op internet doen lijken alsof robots al bijna mensen zijn, zijn we zover nog niet. In 2030 zullen we nog geen humanoïde robots zien in industriële omgevingen. Robots nemen wel specifieke taken van mensen over. Door integratie van meerdere functionaliteiten (rijden, pakken, 'kijken') neemt het aantal taken dat zij kunnen uitvoeren toe en worden ze multi-purpose. In 2030 zullen veel bedrijven één of meer robots inzetten op taken die een beperkt aantal aanpassingen vragen aan IT systemen, infra en processen. Dit kan een robot zijn die de vloer schoonhoudt, intern transport uitvoert, voorraden in kaart brengt of 's nachts het bedrijventerrein bewaakt.

Aanleren en programmeren

Toepassing van AI in combinatie met [computer vision](#) maakt het mogelijk dat robots zichzelf taken aanleren. Maar experts verwachten toch dat het rule-based of gedeeltelijk door de mens aansturen van robotica nog altijd de meest realistische optie zal zijn 2030. Generatieve en [hybride AI](#) leveren een belangrijke bijdrage aan het genereren van deze aansturingen.

3D jobs – dull, dirty, dangerous

In 2030 is de uitrol van robotica zover gevorderd dat de arbeidsinspectie de eerste boete uitschrijft aan een bedrijf dat voor een gevaarlijke inspectietaak nog altijd personeel inzet in plaats van een robot.

5.5 Mass customization & flexible manufacturing

Bij [mass-customization](#) en flexibele productiesystemen (flexible manufacturing) gaat het om het produceren van een grote variatie aan unieke producten (flexibiliteit) op een net zo efficiënte wijze als bij massaproductie. Daardoor wordt one-piece flows (seriegroottes van één stuk) mogelijk.

In 2030 verwachten we de volgende ontwikkelingen op dit gebied: het aanbod van installatietechnische producten op de markt zal worden geoptimaliseerd. Dit betekent dat er variatie in producten zal zijn, maar deze variatie wordt vastgelegd in specifieke parameters. Hierdoor kunnen bedrijven profiteren van de voordelen van massaproductie, terwijl ze tegelijkertijd de flexibiliteit van maatwerk behouden. Kortom, in 2030 zal de markt voor installatietechnische producten zich richten op een combinatie van massaproductie en maatwerk, waardoor bedrijven efficiënter kunnen werken en beter kunnen inspelen op de behoeften van klanten.

In 2030 zet de markt de eerste stappen naar bredere adoptie van "high mix, low volume" proposities. Die stappen bestaan voor een deel uit het parametriseren van concepten, producten, componenten en onderdelen. Aan de proceszijde zal daardoor een verdere verschuiving plaatsvinden naar het geconditioneerd en fabrieksmatig prefabriceren van systemen. Omdat de parametrisering van zowel het product, het proces als de waardeketen digitaal ondersteund moet worden, verwachten experts ook ontwikkelingen rondom Building Information Models (BIM). De integrale ontwikkelingen van dergelijke modellen, zijn echter sterk afhankelijk van de verschuiving van tijdelijke ketensamenwerkingen naar vaste ketenpartnerschappen. De tijdelijke en gefragmenteerde aard van de huidige ketensamenstellingen komt deels door de investering-gedreven aard van uitvragen door marktpartijen. In 2030 gaan aan de aanbodzijde en aan de vraagzijde, ingegeven door onder meer veranderende wetgeving, gedwongen ver-

schuivingen plaatsvinden naar (standaard) integrale uitvragen, producten, processen en samenwerkingen. Daardoor zal parametrisering zowel binnen als buiten BIM door kunnen ontwikkelen. De scope van de toepassing is niet beperkt tot de totstandkoming van het product, maar heeft ook betrekking op de levenscyclus van het product. Daardoor zal lifecycle-denken in termen van beheer, onderhoud, recycling, waardebehoud in de tijd en het nadenken over andere businessmodellen (as a service) meer aandacht krijgen.

5.6 Industrial metaverse

Het industriële metaverse is een concept waar verschillende technologieën samenkomen (onder andere [simulatietechniek](#), Digital Twins, extended reality, AI en [IoT](#)). Het doel van het concept is om een ervaren, verrijkte en manipuleerbare digitale of hybride fysieke omgeving te creëren waarbinnen de mens en AI-systemen directe interactie hebben met elkaar en eventueel ook met objecten in de werkelijkheid (waaronder bijvoorbeeld robots). Metaverses kunnen verschillende schaalniveaus hebben, zoals een stad, een gebouw, een fabriek of een (vergader)ruimte.

De [industrial metaverse](#) omvat (een netwerk van) Digital Twins van de werkelijkheid. Ze zijn in 3D te bekijken en manipuleren, je kan er simulaties in uitvoeren, [machine learning](#) toepassen en optimalisaties genereren die automatisch in het werkelijke proces zijn door te voeren. Digital Twins worden gevoed door onder meer sensordata uit de 'echte' wereld.

Zoals in paragraaf 4.2.3 al is aangegeven, zijn de middelen om deze metaverse te 'betreden', zoals AR en VR, en ermee te interacteren (samengevat als XR of extended reality), eveneens onderdeel van de industrial metaverse.

Met het oog op 2030 kenmerkt de industrial metaverse zich door: "diverse (levende) modellen, zoals stadmodellen, gebouwmodellen, ketenmodellen, procesmodellen en bijbehorende platforms/interfaces van verschillende, vast samenwerkende partijen, die in toenemende mate gekoppeld of gefedereerd zijn", zoals bijvoorbeeld het DSGO (Digitaal Stelsel Gebouwde Omgeving). Vooralsnog zijn modellen vooral tijdelijk van aard, gekoppeld aan projecten/specifieke gebouwen. Na afronding van het project/gebouw dragen de partijen ze over aan de klant. Stapsgewijs vindt er echter een verschuiving plaats naar een productmatigere aanpak, waarbij ook service en onderhoud aan het gebouw een prominentere plek krijgt. Daardoor wordt het voor vast samenwerkende ketenpartijen belangrijker het model "levend" te houden door het koppelen van bijvoorbeeld sensoren en serviceplatforms aan het model. Het wordt dan belangrijk dat de verzameling, het delen en het gebruik van data kan gestandaardiseerd kan plaatsvinden. Om dat de bereiken zullen standaarden verder ontwikkeld moeten worden. Regelgevers zullen dat naar verwachting gaan stimuleren. Alleen als data-uitwisseling tussen aanbieders en aan de vraagzijde gestandaardiseerd is, is parametrisering van de klantvraag mogelijk.

5.7 Augmented working³³

[Augmented working](#) is de inzet van technologie ter ondersteuning van medewerkers, zoals het genereren of het presenteren van werkinstructies via AR, [cobots](#) en AI-ondersteunde besluitvorming.

In feite is augmented working nauw verwant aan het mensgerichte aspect van [Industrie 5.0](#). Robots en AI veranderen banen en laten ze ook verdwijnen. Toch zal de mens altijd een rol in productieprocessen blijven spelen. Door technologie op een slimme manier in te zetten ten

³³ Augmented working betekent feitelijk versterkt werken: de medewerker kan veel meer door toepassing van technologie



dienste van de mens, creëren we in feite “medewerkers 5.0”. Dat kan alleen als medewerkers de technologie ook accepteren. Voor acceptatie is het van belang dat medewerkers de meerwaarde van de technologie inzien en – zoals dat vaak niet het geval is bij exoskeletten – ook direct ervaren. Daarnaast is het belangrijk om medewerkers te betrekken bij de keuze en implementatie van nieuwe technologie.

Augmented working kent een fysieke en een cognitieve kant. Exoskeletten en **cobots** ondersteunen de fysieke capaciteiten of juist beperkingen van de medewerker. Exoskeletten zullen een niche hulpmiddel blijven voor situaties waarin verlichting van de fysieke belasting niet mogelijk is op een andere manier. De Arboret schrijft namelijk een bronaanpak voor. In 2030 zal het mogelijk zijn om veel meer mensen met een fysieke arbeidsbeperking door middel van een (gedeeltelijk) exoskelet inzetbaar te houden in arbeidsprocessen. De kosten van deze hulpmiddelen zijn echter hoog en de Nederlandse overheid verwacht dat die grotendeels op het bordje van de werkgevers terecht komen.

Mens-robot samenwerking zou een vlucht moeten nemen, omdat het steeds makkelijker wordt om robots in te leren en ze flexibeler in te zetten zijn voor meerdere taken. Zeker als ook de chatfunctie van robots verbetert en straks niet meer te onderscheiden is van de mens. Mogelijke beperking is het onvermogen van leidinggevendenden om mensgerichte mens-robotsamenwerking in te richten.

Voorbeeld Willie Warmtepomp

Willie Warmtepomp is een initiatief van samenwerkende partijen in de technieksector die betrokken zijn bij stichting TDI 500. Ze ontwikkelden hun eigen AI- chatbot. Willie is de alwetende expert op het gebied van warmtepompen waar monteurs vragen aan kunnen stellen tijdens het installeren en uitvoeren van service. De chatbot ondersteunt de (service) monteur, maar kan ook de bewoner helpen aan informatie, instructies of instellingen, in elke gewenste taal, op ieder moment. De chatbot is gevuld met informatie afkomstig van leveranciers en producenten van warmtepompen.

Waarom Willie Warmtepomp?

Handleidingen voor installatie en onderhoud van (hybride) warmtepompen werken niet altijd even goed voor monteurs omdat dit vaak dikke boekwerken zijn met veel informatie over aansprakelijkheid en verantwoordelijkheden, terwijl zij juist beknopte praktische informatie nodig hebben. Veel voorkomende praktijkvragen komen niet terug in de handleidingen en ieder merk maakt andere keuzes in de informatiestructuur. In de praktijk lossen installateurs dit op door zelf informatie aan te maken en vragen aan elkaar te stellen via eigen whatsapp-groepen. Dit alles is tijdrovend en foutgevoelig. Bovendien vindt iedere installateur het wiel opnieuw uit.

Willie Warmtepomp doet zich niet slimmer als dat hij is. Als de AI het antwoord niet heeft op een vraag, geeft Willie eerlijk aan geen antwoord te hebben. Als Willie het antwoord wel weet, opent hij ook direct de handleiding op de juiste pagina. Antwoorden zijn enkel gebaseerd op informatie die fabrikanten beschikbaar stellen, dus niet op externe, niet-gevalideerde bronnen (zoals Facebook, Tweakers, etc). Fabrikanten kunnen, elk in een eigen omgeving, zien welke vragen er gesteld worden over het merk.

Kritische succesfactoren zijn:

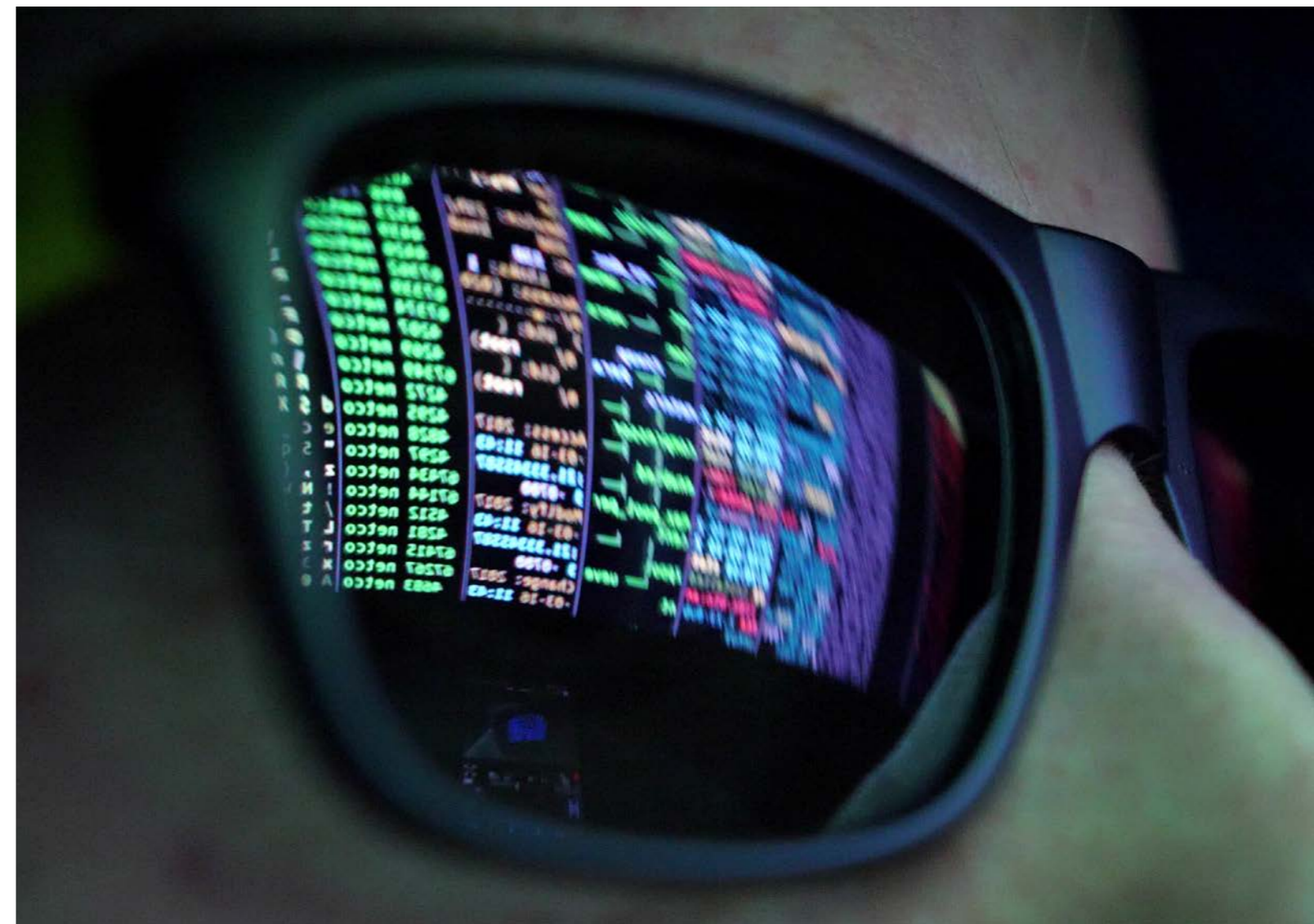
- Medewerking leveranciers (en teruggeven van informatiewaarde)
- Eenvoudige interface voor gebruikers die niet hallucineert (**explainable AI**) en de vraag herhaalt

Bron: Stichting TDI 500

Onder de cognitieve kant van augmented working verstaan we het ondersteunen van de medewerker bij denkprocessen. Voor deze vorm van augmented working luidt de visie voor 2030 als volgt: “bredere toepassing van virtual reality ter ondersteuning van ontwerp/klantprocessen, augmented reality die grootschaligere functiesplitsing of ondersteuning door middel van AI mogelijk maakt en verdere integratie/coördinatie van de samenwerking tussen mens en machine”.

Verwacht wordt dat augmented working vooral in geconditioneerde omgevingen, zoals fabrieken, in een vlucht zal nemen, ter ondersteuning van taakuitvoering. Daardoor kunnen bedrijven bijvoorbeeld ook mensen met afstand tot de arbeidsmarkt inzetten. Voorbeelden van deze technologie is het gebruik van projectietechniek, augmented reality, automatisch transport en de overname van zware taken door cobots.

Buiten de fabriek kunnen projectietechniek en augmented reality ook bijdragen aan verhoogde veiligheid, bijvoorbeeld door het visueel maken van leidingen die onder spanning staan, maar ook aan het uitvoeren of automatiseren van tijdrovende taken als meethandelingen. Door een digitale projectie van bepaalde sparingen mee te nemen naar het werk, kan je die accuraat weergeven in de werkelijkheid. Op een hoger niveau voorzien we dat de coördinatie tussen mensen en machines door middel van augmented working haar eerste intrede gaat doen, bijvoorbeeld voor het afroepen van automatisch getransporteerd materiaal, het aanmaken van hulpvragen met beeldmateriaal en videobellen voor remote assists.



Deel B - Naar een duiding en adviezen voor de technieksector

Inleiding bij Deel B

Als verkenning schetsten we in het eerste deel van dit rapport wat de technische ontwikkelingen zijn in 2030 voor de technieksector en haar stakeholders.

Wat CONNECT2030 ons leert is dat anders kijken, anders denken en anders doen noodzakelijk is. Tegelijk werpen we de vraag op wat het startpunt is; beginnen we met AI, Robotisering en Industrialisatie omdat deze thema's noodzaak en urgentie hebben, een lonkend businessperspectief bieden of doen we het vanuit idealisme en experimenteerdrijf? Zijn er nog onzekerheden en weten we welke punten mogelijk grote betekenis gaan hebben voor 2030? We hebben op basis van dit onderzoek diverse zogenaamde spanningspunten geïdentificeerd.

Dat de maatschappij in 2030, mede onder invloed van de techniek veranderd is, staat buiten kijf. Evident is ook dat de vergrijzing en beperkte aanwas van nieuwe medewerkers, met wellicht andere verwachtingen, capaciteiten en wensen ten aanzien van werk, een rol gaan spelen. Dit alles gaat indirect, via bijvoorbeeld regelgeving en ketenpartners, maar ook direct, via technologie, de manier van werken beïnvloeden. De invloeden zijn groot, aanpassing is noodzaak.

In de komende hoofdstukken beschrijven we op drie niveaus de impact van AI, Robotisering en Industrialisatie op de technieksector. Het eerst niveau is dat van de context waarin de technieksector opereert. Hier gaat het om wet- en regelgeving, maatschappelijke ontwikkelingen en de veranderingen bij ketenpartners onder invloed van technologische innovatie, die allemaal van invloed zijn op hoe de technieksector gaat opereren. We behandelen uitgebreid de wijze waarop leveranciers en bedrijven, de toepassing van de technologieën beïnvloeden en wat dit betekent voor de technieksector.

Het tweede niveau is dat van het operationele proces. Wat betekenen deze veranderingen voor het operationele proces van partijen in de technieksector zelf? Het derde niveau betreft de medewerkers. Werken in 2030 ziet er ongetwijfeld anders uit dan werken vandaag.

In de inhoud van deze hoofdstukken komt de kennis samen die verzameld is in het bronnenonderzoek, door middel van interviews met experts en workshops met experts en de begeleidingscommissie.





6. De context van de technieksector in 2030

6.1 Waar staat de maatschappij?

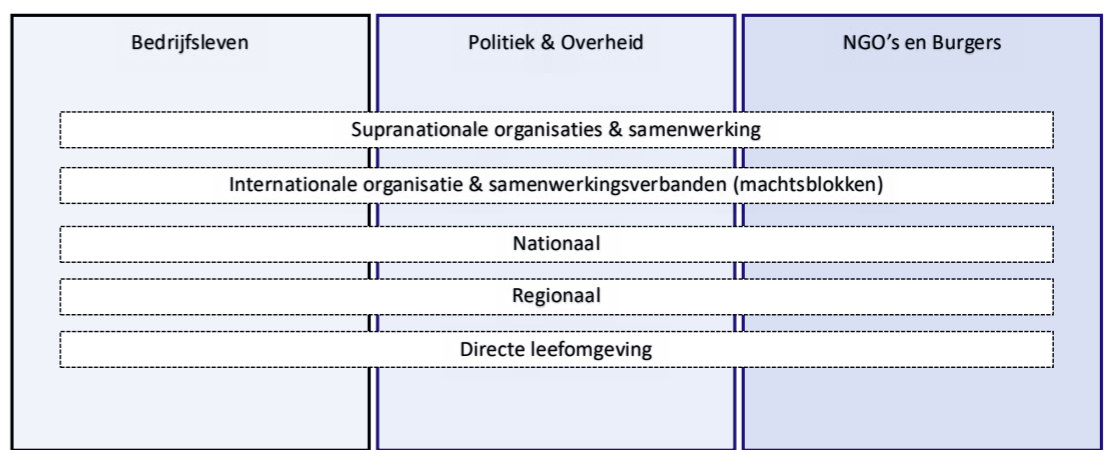
De maatschappij introduceert, beproeft, accepteert en reguleert technologische ontwikkelingen. Dat gebeurt op vrijwel alle denkbare gebieden. Om een accuraat beeld van 2030 te schetsen, is het van belang om onszelf af te vragen hoe de maatschappij er uitziet, welke ontwikkelingen er plaats hebben gevonden en voor welke uitdagingen we staan.

Lagen en perspectieven in de maatschappij

De maatschappij kun je vanuit meerdere lagen bekijken. Vanaf de onderste laag gekeken, bestaat de maatschappij uit jezelf en de directe leefomgeving. Dit deel van de maatschappij valt vervolgens weer onder je regio, land, werelddeel en tot slot de internationale gemeenschap. Iedere laag is onderhevig aan invloeden van zowel binnen als buiten, waarbij impact op een van de voorgenoemde lagen uiteindelijk ook impact zal hebben op de andere lagen. Invloeden, impact, triggers en reacties daarop, kunnen zowel technologisch van aard zijn (bijvoorbeeld de ontwikkelingen rondom AI) als niet-technologisch (zoals bijvoorbeeld oorlogen, pandemieën en regelgeving). Daarnaast kun je de maatschappij ook bekijken vanuit meerdere perspectieven. Je staat immers in de maatschappij als burger, bedrijf of bijvoorbeeld politieke organisatie. We illustreren de verschillende lagen en perspectieven in Figuur 6.1.

Meer onafhankelijkheid of juist niet?

We leven in een tijd waar de geopolitieke spanningen niet zomaar af zullen nemen. In 2030 zullen deze spanningen nog relevanter zijn. De spanningen in de hoogste laag van onze maatschappij (het internationale), zullen uiteindelijk ook zijn weerslag hebben op de lagen daaronder, waarvan we allemaal de gevolgen zullen ondervinden, in meer of mindere mate. Een voorbeeld hiervan is een exportrestrictie op technologie of toepassing daarvan, zoals ASML, die geen nieuwe generatie chipmachines mag leveren in China. Op het niveau van samenwerkingsverbanden, zoals binnen de EU, is een van de realistische scenario's dat we onszelf af moeten zetten tegen



Figuur 6.1 Stack model van de maatschappij met lagen en perspectieven.



andere samenwerkingsverbanden. Dat leidt ertoe dat we meer aangewezen zullen zijn op onze eigen middelen, grondstoffen en mensen, die allemaal steeds schaarser worden (bijvoorbeeld de productie van batterijtechnologie, kritieke uitgangsmaterialen en schaarse aardmetalen die in concessie zijn gegeven aan enkele grote spelers). Om met die schaarste om te gaan, is het noodzakelijk om de beschikbare middelen efficiënter in te zetten. Technologie als AI en Robotica, zal – uit nood gedreven – vaker ingezet worden, ter verrijking van de mens. De vraag naar dergelijke technologie zal dus enorm groeien. Het betekent dat we afhankelijker worden van de middelen die daarvoor nodig zijn. De vraag is wie de macht heeft over technologie en middelen als (a) grondstoffen voor chips, (b) middelen voor productie van chips, (c) grote hoeveelheden data of (d) gewilde toepassingen. Partijen met macht bepalen immers waar toepassingen beschikbaar komen of ingezet kunnen worden.

Mogen versus doen – over macht

In 2030 zien we een ander samenspel ontstaan tussen bedrijven, overheden, burgers en maatschappelijke organisaties. Verschillende partijen werken binnen verschillende kaders en op verschillende plekken in de wereld aan technologische voortuitgang (Stolwijk et al., 2024).

In 2030 denken we in machtsblokken, industrieblokken en economische wetmatigheden. De wedloop tussen concurrenten om een informatiepositie te bemachtigen en technologische standaarden te kunnen initiëren, vasthouden en exploiteren, woedt hevig. Oorlogen laten zien hoe machts- en industrieblokken samenwerken om een doel te bereiken en hoe afhankelijk we zijn van toegang tot kritische grondstoffen. Alleen als partijen gaan samenwerken op het gebied van technologie, kunnen we die afhankelijkheden reduceren.

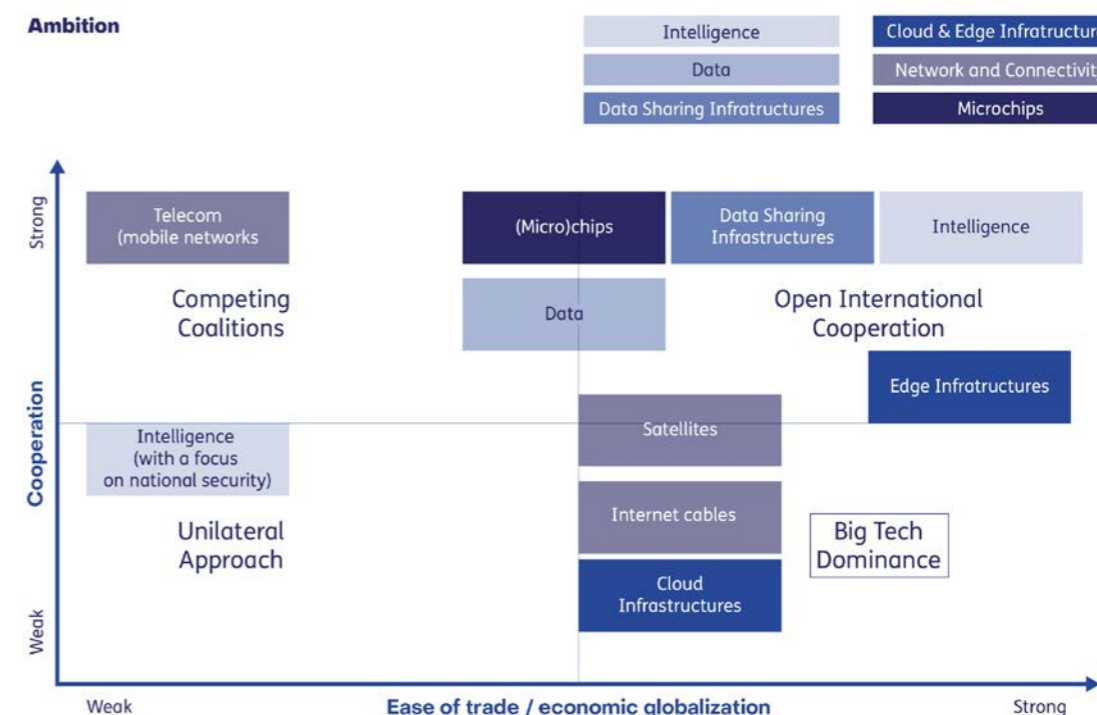
Wetgevende kaders, toelating tot markten, standaarden en afspraken zijn er om de eigen industrie, bedrijven en burgers te beschermen en dominante spelers te beteugelen. Dat spel gaat er heftig aan toe in 2030, zo verwachten we. De manier waarop partijen samenwerken aan technologie en afhankelijke technologieën op elkaar afstemmen, is bepalend voor de machtspositie die één of enkele spelers kunnen ontwikkelen ten opzichte van anderen. Die machtspositie en de wet- en regelgeving die daaruit voortvloeit, kunnen van grote invloed zijn op het verdienmodel van betrokken partijen.

De Digital Market Act (DMA) is een Europese wet die bedoeld is om de concurrentie van digitale platforms op de Europese markt te verbeteren door te zorgen voor een gelijk speelveld. Dit heeft ertoe geleid dat grote digitale platforms tot de orde zijn geroepen en zich aan nieuwe regels moeten houden. Booking.com hanteerde het pariteitsprincipe als verdienmodel: het was hotels niet toegestaan op hun eigen verkoopkanalen of op door derden geëxploiteerde verkoopkanalen kamers voor een lagere prijs aan te bieden dan op de website van Booking.com³⁴. De EU greep in. Het bedrijf moet zich per direct aan een deel van de regels houden en krijgt zes maanden de tijd om aan alle verplichtingen van de DMA te voldoen. De regels van de zogeheten Wet op de Digitale Markten gelden voor zoekmachines, sociale media, besturingssystemen en internetmarktplaatsen van de grootste internetbedrijven. Hun sleutelrol in de toegang tot veel diensten maakt ze bijna almachtig. Gebruikers zijn soms tot ze veroordeeld en concurrenten komen in de knel. De regels schrijven daarom bijvoorbeeld voor dat ‘poortwachters’ rivalen ook de ruimte moeten geven op hun platforms.

34 ECLI:NL:RBAMS:2023:1242, Rechtbank Amsterdam, C/13/697614 / HA ZA 21-186 (rechtspraak.nl)



In onderstaande illustratie zijn vier kwadranten zichtbaar die zich onderscheiden op de dimensies samenwerking (zwak-sterk) en economische globalisering (zwak-sterk) voor verschillende onderdelen die voor de technologische ontwikkelingen van belang zijn. Het is gebaseerd op de Europese ambitie qua samenwerking en globalisering op de middellange termijn. Het ambitieplaatje gaat uit van een aantal technologiedomeinen die volgens experts voor Europa van belang zijn. (Stolwijk et al., 2024)



Figuur 6.2 Ambitieoverzicht Europa o.b.v. expertmeningen.

Bovenstaande figuur geldt uitsluitend voor Europa, waar normaliter een multilaterale soft power-aanpak /rule of law-aanpak geldt, met regelgeving, kaders en controles die gebaseerd zijn op principes van redelijkheid, inclusiviteit, controleerbaarheid. Voor andere dominante machtsblokken, industrieën of opkomende markten als China en de VS, zal het plaatje er naar verwachting anders uitzien, met bewegingen richting een unilaterale aanpak/industrie en big tech-dominantie (waar marktwerking en/of protectionistische aanpakken dominant zijn).

De machtsbalans in Europa tussen bedrijven en NGO's/burgers zal wijzigen bij inzet van AI op basis van open source. Nu zijn de grote tech-bedrijven nog de stuwende kracht achter de AI-ontwikkeling, ze stellen toepassingen 'gratis' ter beschikking als lokkertje. Dit heeft massale adoptie tot gevolg en gebruikers kunnen al snel niet meer zonder het gemak van deze toepassingen. In 2030 is er, ingegeven door de burgergemeenschap (NGO's, idealisten, eigen programmeurs), meer tegenwicht, controle en tegenspraak. De achilleshiel is het huidige fundament van AI, ingezet door tech-reuzen. Deze is niet controleerbaar of repliceerbaar door gebruikers (in 2030) en daardoor in principe ongeschikt voor een kritische toepassing in het openbaar domein. Ook voor context-gebonden werkzaamheden zijn generiek getrainde toepassingen niet geschikt. Daardoor dreigen onder andere publieke opdrachtgevers deze toepassingen voor een groot deel uit te sluiten.



De relevantie van de uitleg die we eerder gaven van de zeven kernbegrippen binnen de thema's, is groot. We hebben immers laten zien dat deze onderling sterk samenhangen en afhankelijk zijn van elkaar voor een goede werking. Bedrijven die technologie toepasbaar maken komen vaak niet uit hetzelfde industrieblok of machtsblok of hanteren dezelfde strategie voor samenwerking met andere partijen.

De wet reageert op technologie

De wetgever probeert bepaalde ontwikkelingen of factoren te reguleren, vaak ter bescherming van de onderliggende lagen of belangen in de maatschappij. De wetgever reageert of reguleert wanneer de samenwerkingsstijl (zoals hiervoor beschreven) niet aansluit bij – bijvoorbeeld - de keuzevrijheid van consumenten en bedrijven in Europa.

Daarnaast zal wetgeving zich, onder druk van politieke ontwikkelingen, meer gaan richten op het afbouwen van afhankelijkheid van andere machtsblokken (zie bijvoorbeeld het exportverbod voor ASML³⁵). We onderkennen ook de bovengenoemde afhankelijkheid van grote spelers, zoals bijvoorbeeld big tech-bedrijven, in en rondom de waardeketen van de technologie. De resources die daarin omgaan, waarvan data een zeer belangrijke is, zullen meer en meer gereguleerd worden. Regulering zal de ontwikkeling in eerste instantie belemmeren, maar brengt ons uiteindelijk centrale standaarden en normen, die ons in staat stellen om snellere groei en technologie-adoptie mogelijk te maken, op een gelijk speelveld. Zowel de wet als de mens streeft ernaar om dat wat we niet begrijpen, begrijpelijk te maken. Als we in de fysieke wereld, bijvoorbeeld door middel van AI, steeds vaker actie gaan ondernemen op basis van onverklaarbare input, moeten we verantwoordelijkheden voor foute beslissingen of acties goed vastleggen. Tegelijkertijd zal er meer duidelijkheid moeten komen over de uitleg (explainable) van bepaalde beslissingen of acties, door meer openheid aan de achterkant.

In 2030 zullen we dus zien dat er nieuwe uitlegbare alternatieven rondom AI ontstaan en dat de huidige toepassingen beter uitlegbaar worden. De grootste hindernissen die toepassing in de maatschappij nog in de weg staan, hebben te maken met onduidelijke verantwoordelijkheid; wie is verantwoordelijk wanneer bij een fout besluit met schadelijke gevolgen?

Een voorbeeld hiervan ter illustratie: een boorrobot die op basis van AI zelfstandig berekent waar het moet boren, boort een verkeerd gat. Waar kan de fout liggen? Heeft de eigenaar van de robot die wel goed gekalibreerd en de instrumenten goed aangebracht? Heeft de operator die de robot op de bouwplaats in werking stelde misschien een foute werkplaats ingegeven of een verkeerde uitgangspositie ingesteld? Heeft de persoon die (op afstand) de instructies heeft ingeladen, rekening gehouden met de laatste wijzigingen aan leidingen? Heeft de AI die een boorinstructie aanmaakte dat goed gedaan? Heeft de partij die verantwoordelijk is voor het materiaal waarin geboord is, wel volgens de specificaties gewerkt? Het laat zien dat het in deze complexe context lastig is om een schuldige is aan te wijzen.

Wet- en regelgeving voor AI

Technologische ontwikkeling draagt over grenzen en loopt voor op de ontwikkeling van standaarden en wetgeving. Rondom voornamelijk AI waar de ontwikkelingen razendsnel gaan, zien we diverse organisaties die met wetgeving en standaarden regulatie van zowel reeds ontwikkelde toepassingen als toekomstige ontwikkelingen komen.

³⁵ Export van ASML-machines naar China per 1 september verder beperkt (nos.nl)

Wet- en regelgeving gaat hierin een cruciale rol spelen, zeker bij inzet van AI-toepassingen door overheden zelf. Europa werkt aan vier wetten die alle actoren in het speelveld gaan raken (Data Act, Data Governance Act, Digital Services Act, Digital Markets Act) en naar verwachting in september 2025 ingaan.³⁶ Deze wet- en regelgeving zal alle bedrijven die actief zijn in Europa beïnvloeden, waarbij wel enige uitzonderingen gelden voor MKB-bedrijven.

Het centrale uitgangspunt is het eigenaarschap van data (Data Act). Daar waar we nu nog 'ander-mans' data kunnen gebruiken om daar diensten en toepassingen op te laten draaien of oplossingen mee te genereren, mag dat straks alleen nog met toestemming van de eigenaar van de data. Met dit fundamentele uitgangspunt voor het eigenaarschap van data, wil Europa de consument, bedrijven en overheden beter beschermen. De controle over data ligt primair bij de partij die de data genereert (Data Governance Act). Data als grondstof en keuzes ten aanzien van delen van data (ook via ingekochte verwerkingsdiensten) worden dus veel belangrijker, vooral wanneer je er diensten mee genereert die ook door anderen zijn te gebruiken. Daarover gaat de Digital Services Act. De wet biedt handvatten voor marktpartijen. Deze ontwikkelingen bieden zowel bedreigingen als kansen voor de technieksector. Data is en blijft van de gebruiker, maar je kunt de gebruiker wel ontzorgen en ondersteunen met de juiste toestemming voor datagebruik.

³⁶ CoE Data sharing & Cloud: An overview of relevant European legislation for MSMEs engaged in Data Sharing (Centre of Excellence for Data Sharing & Cloud (coe-dsc.nl) (TNO 2024: R12799)



Gebruikers krijgen meer keuzes in het AI-menu. Je kunt vrij kiezen voor een AI-systeem dat is opgezet door een van de tech-reuzen (machtsblokken) of voor een open source-oplossing waarvan de totstandkoming navolgbaar, onbevooroordeeld en uitlegbaar ([explainable AI](#)) is, ofwel: transparant.

De ontwikkeling van wetgeving is een reactief proces, aangedreven door diverse (geo-)politieke ontwikkelingen, maatschappelijke noodzaken en ontwikkelingen in andere sectoren. Juist vanwege de reactieve aard, is er vaak haast geboden en komen meerdere wetten gelijktijdig tot stand. Daardoor kunnen tegenstrijdigheden ontstaan, zowel binnen als tussen wetten, die pas na invoering tot uiting komen. Het achteraf oplossen van dergelijke tegenstrijdigheden vraagt om flinke inspanningen bij de besluitvorming en aanpassing. Bedrijven proberen in de tussentijd hun activiteiten af te stemmen op geldende en aankomende wetgeving. De industrie ziet onzekerheid en onvoorspelbaarheid door veranderend beleid als risicovol, een slechte basis om te investeren en ontmoedigend bij het streven naar een koploperspositie.

Een belangrijk punt is dat de introductie van de hierboven genoemde wetten in Europa, de ontwikkeling rondom technologie zowel afremt als versnelt. Europese initiatieven en toepassingen dienen zich te houden aan deze regels. Daardoor ontwikkelen andere initiatieven, die niet gebonden zijn aan deze regio en regels, zich sneller door. Initiatieven die zich onafhankelijk van deze strenge wetgeving door ontwikkelen, zullen zich moeten aanpassen om de Europese markt te bereiken. Daartegenover staat dat ontwikkelingen die direct door strenge wetgeving gereguleerd zijn, initieel veel snelheid inleveren. Op de langere termijn kan dit de kwaliteit echter wel ten goede komen, evenals de toepasbaarheid en de uitbreidbaarheid. Wetgeving rondom technologische ontwikkeling in Europa remt ons dus enerzijds af, op de korte termijn, maar

beschermt ons anderzijds tegen oneerlijke concurrentie van buitenaf en maakt dat we later de vruchten kunnen plukken van kwaliteit boven snelheid. Europese regels beschermen ons tegen partijen die niet met deze beperkingen te maken hebben, en creëren kansen voor partijen die daar wel mee te maken hebben.

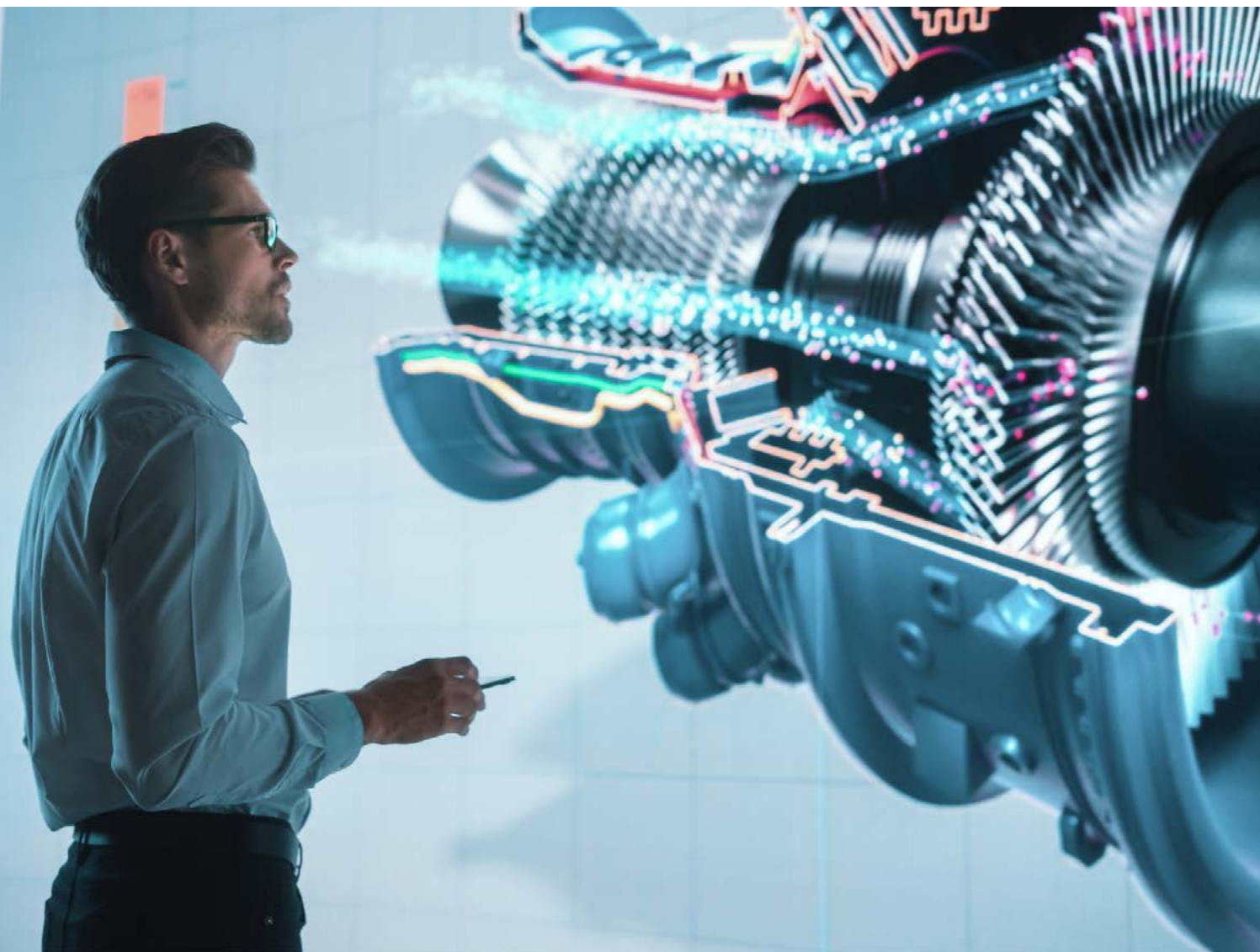
Afhankelijkheid vs. gelijkwaardigheid

De controle over data geeft de macht om zelf te kiezen wat je er mee doet. Toch is dat tegelijkertijd een schijnkeuze; we hebben als personen en bedrijven de keuze uit slechts een beperkt aantal aanbieders van diensten en platformen waarop we met die data iets kunnen. Waar deze partijen tot voor kort nog niet veel konden met de data, kunnen zij deze in 2030 interpreteren, duiden en zelf tot waarde gaan maken (als gevolg van de kernbegrippen).

De vraag is dus: kiezen we als technieksector voor het gemak van ontzorging door techniek en zijn we bereid onze data te blijven delen met bedrijven en wederverkopers van data zodat we betere en gepersonaliseerde diensten en adviezen kunnen krijgen? Of willen we het zelf in de hand houden?

Een spanningspunt is ook het businessmodel voor de grote technologiebedrijven. Is dat in 2030 nog steeds gratis of zitten we dan een afhankelijke of lock in-situatie? Zijn we als consumenten en bedrijven onderdeel geworden van het abonnementsysteem? En wat als die AI in de basis 'anders' is opgezet/bedacht dan gewenst? Hebben we daar last van en zo ja, in welke mate? Is de verantwoordelijkheid dan goed ingeregeld?

Afhankelijk zijn hoeft niet erg te zijn, zolang het speelveld maar gelijkwaardig is. De technieksector is realistisch genoeg om te onderkennen dat we de big tech niet zullen gaan overschaduwen. Dus we moeten enerzijds afhankelijkheid accepteren en anderzijds zorgen dat gelijkwaardigheid gewaarborgd is. Het staat losstaande coalities vrij om te kiezen voor andere partnerschappen, maar de sector moet wel samen blijven optrekken.



7. De technieksector en haar partners in 2030

In 2030 werkt de technieksector anders dan nu. Er hebben zich dominante verschuivingen voorgedaan. De transitie van een bouworganisatie (via een regie-organisatie) naar een productieorganisatie. Van unieke projecten met maatwerk zijn we naar mass-customizatio overgestapt waardoor we kwaliteit, duurzaamheid en prestaties kunnen garanderen, zoals de wetgever, de klant en de ketenpartners dat verwachten. Digitalisering is essentieel om de transitie in de technieksector te kunnen maken en aan te haken bij ontwikkelingen die in andere sectoren (ICT, logistiek) nu al mogelijk zijn.

De technieksector verandert ook omdat technologische ontwikkelingen als AI, Robotisering en Industrialisatie zorgen voor goedkopere producten en diensten (deflatie). We kunnen efficiënter werken nu dezelfde mensen meer werk verrichten als gevolg van ondersteunende technologieën. De sector levert daardoor meer waarde en past haar verdienmodel aan.

Op dit moment werkt de technieksector nog veel op basis van een kostenmodel. Klanten betalen voor uren en materialen. Bedrijven winnen opdrachten op basis van prijs. Wie tegen de laagste prijs een product kan leveren, installeren en beheren, wint het. De marges in de sector zijn daardoor beperkt. Kennis wordt niet of slechts beperkt te gelde gemaakt en zorgt er vooral voor dat er efficiënter gewerkt kan worden. De toepassing van AI, Robotisering en Industrialisatie zorgt er in 2030 voor dat de levering van diensten goedkoper wordt en de marges breder.

De urgentie door het gebrek aan vakkrachten zorgt voor aanvulling en substitutie door technologie. De kennisbasis erodeert daardoor. Die komt steeds vaker van (high trust) technologie zoals augmented working, ter ondersteuning van de werknemer. Expertkennis is op afroep beschikbaar.

Toeleverende partijen in de technieksector worden meer en meer een dienstenleverancier. Toegevoegde waarde voor de eindgebruiker staat daarbij centraal. Big tech-organisaties, fabrikanten en toeleveranciers schuiven op in de keten. Dit gebeurt omdat zij in staat zijn om in service-/ dienstenmodellen de gebruiker te verleiden met afspraken over prestaties en garanties, ze abonnementen en licenties op diensten verkopen en in staat zijn om hogere marges te realiseren.

De kernvraag is op welke manier de kennis die in de sector aanwezig is, beter tot waarde kan komen. Organisaties moeten zich afvragen welke rollen er straks nog te verdelen zijn, welke contractvormen en welke medewerkers daarbij passen. Ook de partners in de technieksector zullen zich beramen op hun positie. Zoals adviseurs, omdat hun toegevoegde waarde niet meer vanzelfsprekend is nu kennis via andere wegen ontsloten wordt en vanwege hun gedateerde kostenmodel.



7.1 Nieuwe technologie en productiewijzen

Als organisatie ga je dit doen

In 2030 zetten bedrijven digitale technologieën (zoals AI), fysieke technologieën (zoals robots) en interacterende combinaties tussen beide (bijvoorbeeld in industriële processen), grootschaliger in. Ze moeten wel, want ze moeten meer doen met minder mensen. Naast veranderingen in de wijze van waarde-creatie, gaan we projecten sneller, goedkoper en hoogwaardiger realiseren, met gegarandeerde prestaties. We blijven langer betrokken bij de ketenpartners door verregaande digitalisering van processen en door langduriger betrokkenheid bij het functioneren en presteren van het opgeleverde werk.

De toenemende inzet van technologie wil niet zeggen dat de mens overbodig wordt, maar dat zij door schaarste – net als bij grondstoffen – gekoesterd gaan worden. Koesteren in de zin van aansluiting vinden bij wat mensen buiten de werksfeer zoeken, maar ook door werkzaamheden leuker te maken. Het verrijken van de mens met technologie om bijvoorbeeld repeterende taken weg te nemen en een bredere set aan taken eenvoudiger te maken, draagt bij aan het werkplezier en de aantrekkelijkheid van organisaties. Kortom: organisaties die niet meegaan in de technologie, zijn straks niet meer in staat om mensen aan zich te binden. Door het wegvallen van grenzen en het in toenemende mate werken op afstand, hebben mensen steeds meer opties. Het is daarom van belang dat we richting 2030 meegaan met de technologische ontwikkelingen, maar vooral ook nadenken hoe we het werk voor onze mensen zo leuk en interessant mogelijk kunnen maken.

Het SEO-rapport over arbeidsmarktkrapte³⁷ laat zien dat werkgevers in de techniek, ten tijde van het onderzoek, arbeidsbesparende (proces)innovaties via automatisering en robotisering nog maar weinig noemen als oplossing voor de krapte op de arbeidsmarkt. Bedrijven ontkomen er echter niet aan om deze nieuwe technologieën en productiewijzen in te zetten. Het onderzoek meldt meerdere malen dat de technieksector 'jaren achterloopt' als het gaat om invoering van nieuwe technologie. Het is dus de vraag of de sector deze transitie wel op tijd door kan maken.

Ontwikkeling versus toepassing

We zien in razendsnel tempo nieuwe toepassingen ontstaan; technologiewebsites staan vol met filmpjes van multi purpose-robots, op vakbeurzen geven bedrijven demonstraties van industriële productieapparatuur, slimme huishoudelijke apparaten zijn volop in ontwikkeling en bijna wekelijks zijn er nieuwe versies van AI-tools beschikbaar. Daardoor lijkt het alsof we morgen probleemloos nieuwe ontwikkelingen kunnen inzetten en toepassen in ons dagelijks en werkende leven.

Wat we niet beseffen is dat de generieke toepasbaarheid in uiteenlopende contexten iets anders betekent dan een specifieke toepassing voor een speciaal doel. De leercurves van de diverse experimenten zijn niet of slechts ten dele zichtbaar en over het aantal mislukte experimenten horen of zien we weinig.

De tijd en kosten die met deze experimenten gepaard gaan, zijn als 'leergeld' te bestempelen. Ze laten ons zien wat niet werkt, waarom het in een specifiek geval wel werkt, maar in een ander geval niet. Meestal betalen anderen dat leergeld, soms doe je dat ook zelf. Grote partijen hebben diepe zakken en kunnen wel wat leergeld betalen. De investeringen in de ontwikkeling van technologie is gigantisch. De komende jaren zullen we daar de opbrengst van gaan zien.

Grote partijen (denk aan multinationals) investeren miljarden en zetten de leerervaringen om in nieuwe producten en diensten. Veel daarvan mislukken uiteindelijk, maar de markt vindt daar dan meestal toch weer andere toepassingen voor (het *first mover advantage*).

³⁷ Heyma, A., Van Kesteren, J., Bakens, J., Gerards, R., Klinker, I., Graus, E. (2022). Arbeidsmarktkrapte technici, ontwikkelingen, verklaringen, handelingsperspectieven. SEO-rapport 2022-82

Kleine bedrijven beschikken wellicht niet over de technische mogelijkheden, het kapitaal en de menskracht voor technologische innovatie, maar zijn wel wendbaar en kunnen snel nieuwe technologie implementeren. De impact van deze nieuwe werkwijzen is geringer dan bij grote bedrijven.

Grotere bedrijven lopen wel voorop, maar zijn bij hun keuzes voor bepaalde technologieën afhankelijk van dominante leveranciers (van software/technologie) en de eisen van opdrachtgevers.

Triggerpoints voor de technieksector

De triggerpoints voor verandering in de technieksector zijn vooral de businesscase, positieve ervaringen en aanbevelingen met een positieve (korte termijn) financiële onderbouwing. Technologie-idealisme en experimenteeruimte spelen hier veel minder een rol. Kijkend naar de benodigde investeringen voor toepassing en de bijbehorende leercurve, staat de technieksector voor uitdagingen. Nieuw kapitaal is niet breed beschikbaar en bedrijven vermijden risico's, zo lijkt de teneur.

Een technologie-oplossing is niet meteen klaar voor toepassing. Voor een succesvolle toepassing zijn vaak meerdere aanpassingen nodig. Zo moet bijvoorbeeld de logistiek van semi-automatische systemen (voor het bevoorraden en afvoeren van eindproduct) op orde zijn. Elke specifieke context biedt dus extra uitdagingen.

De technieksector is vrij behoudend en conservatief ten opzichte van andere branches en sectoren. Het is niet de auto-industrie, met jarenlange ervaring in kritische ketens van standaardproducten op basis van [mass-customization](#). Dat geeft ons een achterstand. Een spanningspunt voor de sector is de vraag of we in staat zijn om als sector het leergeld te delen voor toepassing en implementatie van nieuwe technologieën. Gaan we dat met elkaar doen, via de eigen waardeketens of zijn er pre-concurrentiële leercurves voor nodig, waarvoor de sector zelf het voortouw neemt? Organisaties staan voor keuzes of ze de leercurve op organisatieniveau gaan maken of als keten, met de samenwerkingspartners.

Pas als de verschillende schakels van de waardeketen hun processen en systemen met elkaar gaan afstemmen en organiseren en ook hun data gaan delen, heeft implementatie potentie en kunnen ze de voordelen verdelen.

Het gaat dan om technologie, samenwerking en informatiedeling, op basis van een set afspraken waarin ook de waardeverdeling is meegenomen. In 2030 zien we ketens ontstaan die processen, onderdelen en menskracht delen en op vaste locaties produceren. Die ketens hebben in de periode tot 2030 met elkaar de lessen geleerd die nodig zijn om van ontwikkeling tot toepassing te komen.

De enkele koplopers voorop

Nieuwe concepten ontstaan vanuit een visionair perspectief, of als reactie op ontwikkelingen en noodzaak. Het pakken van de koppositie in de ontwikkeling of grootschalige adoptie van nieuwe technologieën, concepten of businessmodellen, is echter risicovol. Onder meer vanwege het ontbreken van voldoende vergelijkbare voorbeelden en inzicht in de daadwerkelijke praktijk. In de praktijk werken concepten vaak niet zoals ze ooit bedacht zijn en er zijn maar weinig geslaagde oplossingen die enkel vanuit een 'ingenieursblik' ontwikkeld zijn. Het doen slagen van nieuwe concepten vraagt om ontwikkeling vanuit meerdere perspectieven, waaronder die van de gebruiker, de integratie van die perspectieven in zowel de techniek als het businessmodel, flexibel anticiperen op onverwachte ontwikkelingen en het (gezamenlijk) investeren van middelen en leergeld. Daarnaast ligt er in de meeste gevallen een onzekere periode tussen het ontwikkelen en adopteren van nieuwe concepten en het genieten van de voordelen. Daartegen-



over staat wel dat wanneer men de koppositie weet te pakken en behouden, de baten ver boven de kosten uit kunnen stijgen.

Op de achterbank en dan in de lift

Je kan een (risicovolle) koppositie ambiëren, maar je kan er ook voor kiezen om een goede leerling op de achterbank te zijn. Het ontginnen, doorgronden en begrijpen van zowel 'brilliant failures' als geslaagde concepten in andere landen, sectoren en organisaties, helpt om zelf een weerbaar concept op te bouwen zonder daarvoor het volledige leergeld te hoeven betalen. Door op kleinere schaal en bij voorkeur gezamenlijk te experimenteren met nieuwe technologieën, concepten of businessmodellen rondom AI, Robotica en Industrialisatie, is het mogelijk om de lasten tussen organisaties te delen of zelfs uit te besteden en volledig te ontwijken. Samen optrekken in centrale research & development-trajecten maakt innovatie toegankelijker voor organisaties met beperkte middelen. Willie Warmtepomp is een goed voorbeeld van een gedeeld proces en gezamenlijke leercurve.

De technieksector als integrator van externe concepten

Omdat andere sectoren misschien al geslaagd zijn in het adopteren van de thema-technologieën, of vooroplopen op het gebied van hun ontwikkeling, kan het nuttig zijn om daar als organisatie of als gehele sector mee samen te werken. Als partner of als gebruiker. Zoek je als sector de samenwerking op, dan kan dat voordelen leveren in de onderhandelingen met externe leveranciers van oplossingen of overheden. Als organisatie heb je het voordeel dat je zo het probleem rondom de integratie van diverse oplossingen en technologieën enigszins kunt ontwijken. Je zult immers samen oplossingen zoeken, sturen op doorontwikkeling en aanpassing van bestaande oplossingen voor de sector.

7.2 Wat doen we met AI, robotisering & industrialisatie

In 2030 zetten we nieuwe businessmodellen in, die aansluiten op de veranderende vraag en verwachtingen van opdrachtgevers. Op basis van behoeften bieden we nieuwe contractvormen aan, zoals pay per use, abonnementendiensten of zelfs betalen voor functies i.p.v. producten (heating as a service, cooling as a service). Dat vraagt om een transitie van het traditionele verdienmodel naar een integrale benadering gericht op het leveren van waarde.

Connectiviteit, monitoring en predictive maintenance zijn cruciaal als we functies as a service aan willen bieden. Het vraagt om vergaande digitalisatie en een Digital Twin. We leveren de klant niet alleen een fysieke service met ons systeem maar leveren net zo goed een digitaal model of asset op dat eigendom is en blijft van de asset owner en blijven daar diensten voor leveren.

Prestaties worden voor gebouwgebruikers steeds relevanter. Opdrachtgevers en leveranciers willen dan ook inzicht hebben in de prestaties van de geïnstalleerde systemen, en daarmee verbonden zijn. De koppeling met prestaties van het systeem, inzicht en data uit en over het systeem en eventuele garanties, service en betalingen zijn dus van belang.

Een uniforme standaard of normen voor het omgaan met het digitale model zijn nodig om de uitwisselbaarheid van providers mogelijk te maken. De ene installatiepartij moet het levensonderhoud van een systeem zo over kunnen nemen van de ander. Het opstellen van integrale, federatieve deelmodellen en het uitrollen van linked-data zijn belangrijke randvoorwaarden om alle genoemde onderdelen echt te laten werken. De komende jaren gaan we nog veel meer



BIM-en, toewerken naar een daadwerkelijke Digital Twin en hebben we uiteindelijk een digitale asset op basis waarvan we onze nieuwe services kunnen aanbieden.

Culturele weerstand uit angst, onwetendheid of gewoon om tegen de stroom in te gaan, valt absoluut niet uit te sluiten. De technieksector moet toekomstbehendiger worden en om leren gaan met die weerstand door te informeren, op te leiden en te laten zien wat verandering voor moois kan brengen. Samen maakt de sector het werk makkelijker, divers en leuker.

Voorafgaand aan het bouwproces vindt meer afstemming plaats tussen partijen en stakeholders (CONNECT2030). De scope van het vraagstuk is vaak niet meer gebouwgebonden, maar vaker kavelgebonden en in afstemming met de omgeving. Er zijn meervoudige afwegingen, kaders en oplossingsrichtingen, zoals de inzet van simulatie en parametrische ontwerpen. Het laten draaien van ontwerpen in een simulatieomgeving en het kunnen vergelijken van historische prestaties, wettelijk vereiste prestaties en de prestatie-eisen van de opdrachtgever, vraagt om simulatie met ketenpartijen en gebruikers.

We kunnen inzichten ophalen op basis van historische data en uit simulaties. Vervolgens kunnen we ontwerpen verbeteren en verfijnen, en daarvan leren in de keten, samen met andere partijen. Dit zal in 2030 veel vaker voorkomen dan nu (ketenmodellen). Deze kennis levert praktische tijds winst op doordat we de kennis kunnen gebruiken op de werkvloer, bijvoorbeeld bij de installatie en inregeling van warmtepompen.

Hiervoor zijn meer en andere samenwerkingsverbanden nodig, met meer disciplines en een uniforme taal (gezamenlijk digitaal platform). Een voorbeeld hiervan is de samenwerking met zorgpartijen bij het realiseren van zorgomgevingen, waarbij een system integrator de zorgtechniek, huistechneek en bouwkundige indeling op elkaar afstemt.

Het kunnen beoordelen van de parametrisch gevonden oplossingen staat niet gelijk aan praktijkkennis (snappen en weten hoe je iets moet bouwen). Een goed ontwerp is om die reden niet altijd een praktisch uitvoerbaar ontwerp. Vakkennis blijft dus cruciaal. Quasi kennis – het overnemen van de beste oplossing vanuit een model zonder te snappen waarom dit de beste oplossing is – wordt een toenemende uitdaging. Onderscheiden met expertkennis en deze tot waarde kunnen maken, blijft van groot belang.

Waar staan we met AI?

Voor de technieksector is AI het eerste en belangrijkste thema en vraagt om dringende keuzes. Qua randvoorwaarden gaven we al aan dat 'volwassen digitalisering' essentieel is. Daarbij gaat het om het in control zijn over de data (inwinning, verwerking, analyse) en het omzetten van data naar informatie over je eigen processen, de processen van je klanten en de uitwisseling met je partners. Dat vormt de basis voor het zetten van stappen met AI. In 2030 zijn bedrijven en hun ketenpartners qua informatiehuishouding op orde.

Strategie en doel bepalen

In 2030 zijn er strategische keuzes gemaakt en weten partijen waar, hoe en met welk doel ze AI in gaan zetten. Ze hebben zich voorbereid door een AI-strategie te ontwikkelen en zijn daarnaar gaan handelen. De doelvraag was voor de strategie bepaling de sleutel: wat willen we bereiken en wat valt binnen de scope. Kijken we naar de processen in alleen de eigen organisatie of naar de keten met onze partners?

Focussen we op efficiency of willen we ook nieuwe diensten aanbieden? Zo kan de sector AI gebruiken om activiteiten die direct waarde toevoegen (bestellingen, ontwerpen genereren etc.)

te optimaliseren en te vereenvoudigen of om repeterende en kostenverhogende activiteiten door AI te laten overnemen (administratie, juridische checks etc.).

Ook moeten we antwoord vinden op de vraag op welke manier we met behulp van AI andere inzichten kunnen opdoen en daarmee waarde kunnen creëren voor onze partners. De focus van medewerkers is in 2030 verlegd naar de zogenoemde waarde toevoegende activiteiten (het toevoegen van klantwaarde) en ze krijgen daarin ondersteuning van AI-systemen. Bij veranderende klantvraag, zal ook de inzet op klantwaarde veranderen.

Naarmate we meer gebruik maken van data en informatie van anderen, worden we afhankelijker van de expertise waarvan het (AI) systeem gebruik maakt. Dat maakt ons kwetsbaar voor kwaadwillenden en voor uitval van het systeem. Hoe zorgen we ervoor dat we de kennis die gevangen is in AI, ook buiten AI borgen? Kan de organisatie ook blijven functioneren als AI plotseling niet meer beschikbaar is? Om daarop voorbereid te zijn, is het verstandig om een disconnect-strategie te ontwikkelen.

We kunnen (generatieve) AI inzetten om vaak nog onduidelijke klantwensen te vertalen naar voorlopige ontwerpen op basis van semi-standaard componenten. De AI dient in dat geval als ontwerpgenerator, variatiemanager en offertegenerator. Daar zijn wel koppelingen voor nodig met ERP-systemen. Daarnaast is AI in te zetten ter ondersteuning bij de engineering. Engineering blijft mensenwerk, maar AI kan engineers wel helpen.

Ontwerpen, offertes, berekeningen en andere zaken die volledig door of met assistentie van AI gegenereerd zijn (bijvoorbeeld door personeel met minder expertise), moeten altijd gecontroleerd worden. Controleren is en blijft expertwerk, maar kan wel makkelijker. Omdat controles in principe niet direct waarde toevoegen, krijgt de expert in de toekomst hulp van AI, zodat hij of zij meer kan doen in minder tijd. Denk bijvoorbeeld aan juridische of technische autotoetsen die afwijkingen markeren.

In de uitvoering werkt AI als het brein achter technologie, waarmee we kwaliteit kunnen verbeteren en de veiligheid kunnen vergroten. AR en [computer vision](#) kunnen bijvoorbeeld de in AI opgenomen expertkennis, business rules en ondersteuning overbrengen op schaars veldpersoneel. Dat schaarse veldpersoneel zou ook voor een deel kunnen bestaan uit deeltijders uit andere sectoren, omdat er door AI minder kennis voor nodig is. Zo kan een zorgmedewerker bijvoorbeeld een dag in de week installatiewerk doen.

Het is nodig om te bepalen in hoeverre bedrijven AI autonoom willen maken in hun bedrijfsprocessen. Dat wil zeggen dat ze moeten bepalen waar AI taken volledig overneemt (uitvoerende AI) en waar het taken gaat ondersteunen (ondersteunende AI). Dit is onder te brengen in AI-beleid en richtlijnen voor toepassing. De vraag is ook hier of individuele partijen dit moeten doen of men hier gezamenlijk mee aan de gang kan.

Randvoorwaarde voor invoering

AI stelt forse voorwaarden aan de digitalisering binnen een organisatie of ketens van organisaties. Federatieve datamodellen en linked data is een absolute randvoorwaarde voor AI in de bedrijfsvoering net als de business rules. Business rules moeten inzichtelijk en goed geformuleerd zijn, zodat deze AI-gereed zijn.

Bij toepassing van AI in de organisatie en in de keten, zullen (gezamenlijk) aansprakelijkheidsmodellen ontwikkeld moeten worden. Dat vraagt om transparante, [explainable AI](#). De vraag is of (zelf ontwikkelde) explainable varianten net zo krachtig zijn als niet-explainable varianten (in



handen van big tech). Een mogelijkheid is dat de sector deze ondoorzichtige modellen omarmt en afspraken maakt over controle, validatie, verificatie en wat er uitgevoerd mag worden op basis van AI-uitkomsten.

Het ligt voor de hand dat bedrijven in een vendor lock-in terecht kunnen komen, omdat juist de modellen vanuit big tech zoveel sneller leren/groeien dan andere modellen. Er schuilt ook een gevaar in het voeden van de modellen met sectoreigen data vanuit IP, feitelijk de kernexpertise van de technieksector. Hier zijn strategische keuzes en afstemming met samenwerkingspartners cruciaal. Het is aan elke organisatie om te kiezen voor de mate van afhankelijkheid in relatie tot big tech. Vragen die daarbij belangrijk zijn: Zien we in big tech-bedrijven een partner of een bedreiging? Heeft de sector voldoende onderhandelingskracht? Blijven we individueel of gezamenlijk eigenaar van sectorspecifieke IP en data en slaan we deze op in een 'eigen' lokale white box of delen we dit met big tech? Misschien moet de sector zelf wel toepassingen gaan ontwikkelen. Zo houdt de sector zelf de regie over de betrokken partijen. Partnerschappen met start-ups lijken in dat opzicht een uitkomst te zijn.

“De mogelijkheden van AI worden in 2030 vooralsnog beperkt door de grenzen vanuit de ELSA-kaders en niet door de technische mogelijkheden. AI moet uitlegbaar, juridisch verantwoord, duurzaam en controleerbaar (explainable, legal, sustainable, accountable) zijn. De menselijke factor, die nodig is voor controle van en het kunnen vertrouwen op AI, is vooralsnog de beperking. We zien dus dat de toepassing niet wordt beperkt door de techniek, maar door de praktische voorwaarde dat de toepassing ook bruikbare inzichten moet geven voor bedrijven, organisaties en hun klanten.”
Marc Schouten – director Smart Industry, TNO

Robotisering in 2030

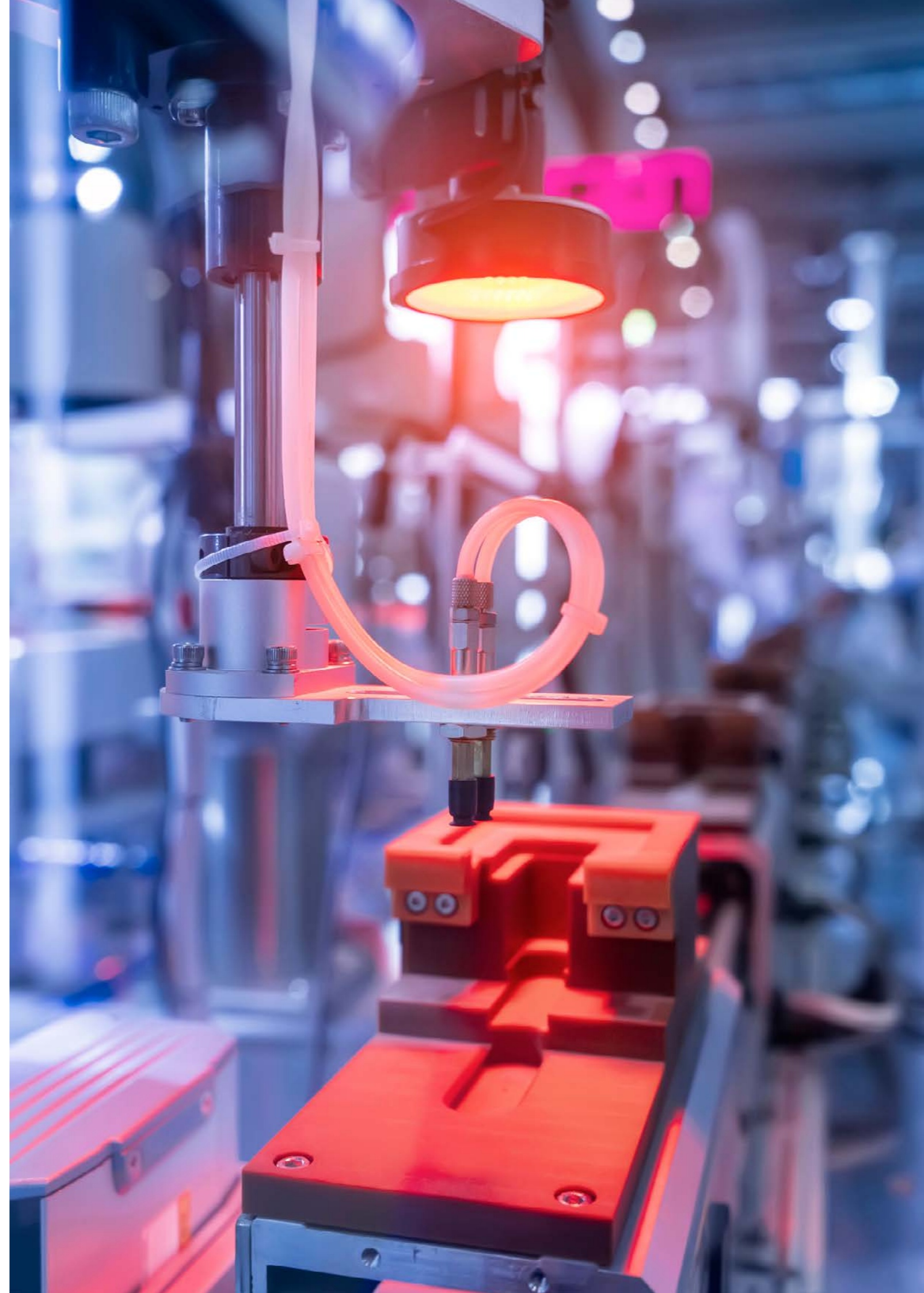
De technieksector zet Robotisering selectief in voor relevante uitdagingen. Door inzet van robots in (seriematige) nieuwbouw (een printrobot die op de vloer aangeeft waar sparingen, doorvoeren en wanden moeten komen), gaat de snelheid van werken omhoog en gaan de faalkosten omlaag. Door AI kunnen lerende robots omgaan met meer variatie en onvoorspelbaarheid in het proces en worden zo steeds geschikter voor nieuwe toepassingen.

Er is vaak externe druk nodig om nieuwe technologieën te adopteren. Dat druist in tegen de autonomie en vrijheid van professionals, die gewend zijn om situaties zelf op te lossen. Ook heeft het impact op de taken en verantwoordelijkheden van mensen die werkzaam zijn in de technieksector. Hebben we straks nog wel een landmeter nodig?

Strategie en doel

Robots kunnen een belangrijke oplossing zijn voor personeelsschaarste. In andere sectoren zien we (juist in geconditioneerde omgevingen) al een brede inzet van robotica, waarbij robots taken volledig overnemen of die samen met mensen uitvoeren (autofabrieken). De technieksector kent geen inrichting met vaste productieplaatsen of uitsluitend fabriekslijnen, dus robotica ligt daar minder voor de hand.

Medewerkers in de technieksector kunnen wel ondersteuning krijgen van robots om het werk veiliger te maken, de belastbaarheid te vergroten en de inzetbaarheid te garanderen. Door inzet van bijvoorbeeld exoskeletten, kunnen medewerkers langer mee en maken we het werken in de technische sector aantrekkelijker. Dat laatste geldt overigens ook voor AI.



Standaard multipurpose-robots zijn in 2030 goedkoper en makkelijker terug te verdienen. De businesscase ontstaat door personeelsgebrek en het efficiënter of foutloos uitvoeren van repetitieve taken. De maatschappij heeft ze inmiddels breed omarmd. Er komen nieuwe toepassingen voor multipurpose-robots, met extra functies, ze zijn breder inzetbaar (ook bij minder of niet-repetitieve taken), ook in extreme toepassingsgebieden (condities/inzetbaarheid). Nieuwe functionaliteiten en mogelijkheden zorgen initieel wel voor extra kosten.

We zien in 2030 ook gedeelde robotica: bedrijven die samen gebruik maken van robots en die als shared asset beheren om een sluitende businesscase te maken. In de toenemende 24/7 economie zetten we **autonome robots** in op momenten dat mensen niet werken voor het opnemen, registreren en tellen van voortgang, maar ook als bewaking.

Randvoorwaarden

Robots werken al erg goed in geconditioneerde omgevingen, vanwege de voordelen van vaste plaatsen en inrichtingen voor de inzetbaarheid. Ook in de technieksector komt gestandaardiseerd, repetitief werk voor en kan de mens ondersteuning gebruiken. Vooral binnen de trend van industrieel, prefab bouwen liggen mogelijkheden voor inzet van robots. Daarvoor zullen we wel eerst de geschikte plaatsen en het type werk in kaart moeten brengen. Tegelijk is het goed om te beseffen dat eenvoudige, repetitieve klussen voor mensen niet altijd robotiseerbaar zijn. Het hangt af van de context van het gebouw.

Wat we nodig hebben, is robotica die inzetbaar is in niet-geconditioneerd omgevingen. Om de installateur te helpen spullen naar boven te dragen in woningen en taken over te nemen in dynamische omgevingen. Voor de sector is bewuste robotica, die kan anticiperen op situaties en beslissingen kan nemen in het kader van de context, heel belangrijk. AI is daarvoor een randvoorwaarde, Digital Twins zijn nodig om de inzetwaarde van robots te maximaliseren; digitalisering is dus van essentieel belang.

De vraag is of we robotica zelf moeten ontwikkelen of daarvoor naar robo-producenten of andere sectoren moeten kijken. Wanneer andere sectoren eerder komen met bewuste, multi-inzetbare robotica (zoals de humanoïde robot die branden blust en kan helpen met warmtepompen installeren), dan kan de technieksector daar een voorbeeld aan nemen. Tot die tijd zullen we het - mits betaalbaar - moeten doen met specifiekere robots zoals traplopende transportrobots die bijvoorbeeld de waste activiteit transport elimineren.

Wet- en regelgeving zoals WKB maakt dat inzet van drones en robots klussen uit handen gaan nemen die overbodige ballast voor medewerkers verlagen (bewijslast verzamelen, verwerken).

Toepassing van robotisering vraagt van ontwerpende partijen dat ze (na de DO-fase) ook nadenken over de productiewijze van gebouwen. Zo kan het zijn dat in het ontwerp bredere deuren opgenomen moeten worden om een robot de ruimte te geven om zich te bewegen tussen de verschillende ruimtes en daar gaten te boren of kabelophangingen in te klikken.

Randvoorwaarden en issues zijn aansprakelijkheid bij fouten, veiligheid (voor anderen), verzekerbaarheid, de afhankelijkheid (kunnen we straks nog zonder?) en de kostprijs.

Ook vanuit de toeleverende industrie komt druk; worden er straks nog wel niet-gerobotiseerde boormachines verkocht? Gaat de toeleverende industrie dit niet afdwingen zoals dat eerder ook met bijvoorbeeld stofafzuiging gebeurd is?

Industrialisatie als proces

Industrialisatie is een proces dat verschillende kerntechnologieën integreert. Naarmate het werk meer gestandaardiseerd, repetitief en locatie-gebonden is, komt industrialisatie beter tot zijn recht. Industrialisatie is van belang om het personeelstekort het hoofd te bieden en biedt daarnaast handvatten voor de trend naar een circulaire economie, waarvan maakprocessen een onderdeel van zijn.

Strategie en doel

Om met volwassen digitalisering aan de gang te gaan, zullen partijen in de technieksector moeten inzetten op het inrichten van procedures, het gebruik van tools en het opstellen van een visie voor het automatiseren en integreren van de processen tussen softwareontwikkeling en IT-teams.

De behoeften van klanten veranderen. De klant gaat functioneler uitvragen en wil ontzorgd worden gedurende de hele levenscyclus, waarbij TCO een belangrijk stuurmiddel wordt. Aan de andere kant verandert ook de productie. Seriematig produceren komt nu ook voor in de technieksector, bij nieuwbouw en renovatie.

Er ontstaan regionale waardeketens om circulariteit te faciliteren. Door een gebrek aan instroom van nieuw materiaal en strenge wetgeving voor materiaalprestaties (Whole Lifecycle Global Warming Potential), moet de technieksector zich meer wenden tot bestaande materialen. De circulaire economie is echter een arbeidsintensieve economie. Behalve de 'voortuit'-stand van productie, hebben we ook een 'achteruit'-stand nodig, om zaken te repareren, reviseren, uit elkaar te halen etc. Dat vergt meer menskracht en roept om aanvullende skills. AI, Robotisering en Industrialisatie kunnen een ondersteunende rol spelen (augmented working) bij het bepalen van middelen die voor recycling in aanmerking komen en de manier waarop dat moet gebeuren.

Randvoorwaarden

Voor organisaties in de technieksector moet het denken in logistiek en processen heel normaal worden. We moeten producten en processen standaardiseren en er zijn norm-technische aanpassingen nodig. Naast standaardisatie, moeten we de flexibiliteit inbouwen om onze systemen aan te kunnen passen aan veranderende vraag van de klant tijdens de levensduur van een gebouw. Het betekent daarnaast dat we een andere ketenopbouw aan moeten houden en er dus nieuwe sourcing-strategieën nodig zijn. Gaan we eenvoudige werkzaamheden bijvoorbeeld off-shoren? We zullen zoveel mogelijk in geconditioneerde omgevingen gaan prefab-en. Gaan we daarbij naar vaste ketenpartnerschappen? En hoe gaan we dan om met een wegvallende partner?

Voor het op industriële wijze fabriceren van onderdelen is het noodzakelijk om zelf afspraken te maken over overdracht en acceptatie van de onderdelen:

- Factory acceptance test
- On-site acceptance test vs onderdeel van een geïntegreerd werkend product/systeem

Omdat circulaire processen vragen om een 'achteruitstand' in productieprocessen, zodat we componenten en materialen kunnen terugwinnen, ontstaat er nog meer behoefte aan arbeidscapaciteit, die maar beperkt beschikbaar is. Daarom hebben we in 2030 niet alleen te maken met een enorme vraag naar slimme productiesystemen, maar zijn het juist ook die slimme productiesystemen die over een achteruitstand beschikken om zoveel mogelijk waarde in stand te houden. Kennis over constructie, deconstructie, inspectiesystemen en leervermogen bij de aanwezige machines en systemen zijn van belang om juiste keuzes te maken.



7.3 Wat doen onze stakeholders?

De toepassing van AI, Robotisering en Industrialisatie beperkt zich niet alleen tot de technieksector. Ook onze partners en stakeholders gaan er in mee. En dat gaat vaak harder dan in de technieksector zelf. De sector moet hard zijn best doen om aangehaakt te blijven. De lenigheid waarin wij meegaan in deze ontwikkelingen heeft impact op hoe partners en stakeholders ons zien en hoe ze met ons samenwerken.

Opdrachtgevende partijen

Er ontstaan nieuwe dienstenconcepten voor opdrachtgevers. Daarin betrekken ze vanuit een DevOps-blik, in de vorm van life-cycle assetmanagement, Digital Twins. Ze verkennen, realiseren en beheren die op basis van prestaties voor partijen die optimaal gebruik willen maken van hun vastgoed. De technieksector werkt daaraan samen met ambitieuze opdrachtgevers, voorafgaand en tijdens de realisatie- en beheersfase. Juist hier helpt de combinatie van (voorafgaand) AR/VR met simulaties en de menselijke factor om te vinden welke setup voor de gevraagde context de juiste is. Maar ook om, eenmaal geïnstalleerd, de prestatiedata te gebruiken voor verdere verbetering van de systeemprestaties.

Het product is nog meer gestandaardiseerd. De inregeling (van de installaties) voor de specifieke context van het product, vraagt dus meer expertise. De technieksector heeft de uitdaging om de inregeling ter plaatse nog beter af te stemmen op de gevraagde prestatie-eisen en die te garanderen.

Mass customization zorgt ervoor dat veel vragen en keuzes tot het laatste moment in het proces te veranderen zijn. De realiteit is echter dat de keuzes uiteindelijk toch beperkt zijn, omdat oneindige keuzes zorgen dat het proces aan efficiency verliest. In 2030 kunnen we beter inspelen op de veranderende vraag. We kennen de grenzen van de eigen flexibiliteit en tot waar en wanneer het proces/product in staat is de opdrachtgever te volgen. We zijn in staat om opdrachtgevers duidelijke kaders mee te geven voor wat het proces (robots, mass customization) nog aankan. Dit betekent dat we ook selectiever worden in wat we nog wel doen en wat niet meer.

Nieuwe logistieke concepten roepen bij opdrachtgevers verwachtingen op wat betreft de professionaliteit, zoals het houden aan de tijdsafspraken, het meeleveren van alle onderdelen meeleveren, goede voorbereiding en one-time servicing (in plaats van terug voor een onderdeel/nieuwe afspraak).

Toeleverende partijen

Toeleverende partijen nemen het voortouw om onderdelen direct aan de eindklant te leveren. De keten schuift op (turn-key oplevering van bijvoorbeeld medische technologie) en er ontstaan andere dienstenmodellen. Dit zorgt ervoor dat de rol van technieksector afneemt terwijl die van de toeleverancier juist groeit.

Samenwerkende partijen

Wellicht werken medewerkers en robots straks niet meer voor één organisatie maar voor groepen organisaties. Daarbij kan AI zorgen voor het zo optimaal mogelijk plannen van de inzet van personeel en technologie (shared assets). Naast mensen en robots kan het bij het delen van assets en flexibel resource management ook gaan om productielocaties, opslaglocaties, machines etc.

Er is een nieuwe vorm van samenwerking nodig met IT-partijen. De vraag is of techniekpartijen in het versnipperde IT-landschap – met veel gelijksoortige initiatieven – dat elk voor zich gaan doen of dat gezamenlijk oppakken, als sector. Afhankelijk van die keuze zal de sector wel of niet staar zijn om de dominantie van Big Tech te weerstaan en producten te krijgen die passen bij de Nederlandse (of Europese) werkwijze. Wordt het ieder voor zich, dan zullen organisaties overgeleverd zijn aan de gevestigde namen en de dominante spelers in de markt.

Toekomstbeeld

In 2030 kunnen we met **computer vision** een gebouw scannen, bepalen welke delen winbaar zijn en wat de verwachte kwaliteit is (op basis van prestaties en gebruiksdata uit het gebouwbeheerssysteem of de Digital Twin), herplaatsbare onderdelen aanbieden en veilen waarbij er onderling transacties plaatsvinden tussen de verschillende ketenpartners die deze dienst (samengestelde transactie) leveren.





8. Werken in de technieksector in 2030

8.1 Introductie van nieuwe technologie en productiewijzen

Nieuwe technologie leidt altijd tot andere werkwijzen en taken voor medewerkers. Dat is niet op te hangen aan slechts één technologie. Daarom maken we alleen waar dit van toepassing is onderscheid tussen de effecten van AI, Robotisering en Industrialisatie. Een opvallende conclusie is dat de consequenties voor medewerkers in de technieksector weinig verschillen met die in de andere sectoren.

Acceptatie door medewerkers is van groot belang. Zij moeten vertrouwen hebben in de nieuwe technologie en werkmethode. De kans op acceptatie is groter wanneer organisaties medewerkers betrekken bij de selectie en implementatie van nieuwe technologie (Oeij et al, 2024, Ullrich et al, 2023). Ze moeten er wel rekening mee houden dat er altijd medewerkers zullen zijn die niet mee kunnen of willen. Dat hoeft niet te betekenen dat er voor deze medewerkers geen plaats meer is in de organisatie.

Niet alleen werknemers zullen de nieuwe technologieën moeten accepteren. Dit geldt ook voor de beslissers. Wanneer een CEO de technologie onvoldoende begrijpt, bestaat het risico dat deze de transitie tegenhoudt. Daarnaast zullen leidinggevendenden moeten accepteren dat het bij de introductie niet alleen gaat om het implementeren van de technologie. Er is ook scholing nodig, er zal tijd moeten zijn om te experimenteren en om langzaam de transitie te maken van de oude naar de nieuwe manier van werken. Ofwel: een transitie kost tijd.

Automatisering van werkprocessen via AI en robotisering leidt tot verandering van het werk. AI en robots nemen taken over en medewerkers krijgen daarvoor nieuwe taken in de plaats. Hoe dit nieuwe takenpakket eruit ziet, zal voor iedere organisatie anders zijn. Het is een kwestie van mensenwerk. Hier gaan we in paragraaf 8.4 nader op in.

Met procesinnovaties kan de sector het werk aantrekkelijker maken voor de medewerkers, bijvoorbeeld door zware taken door robots te laten ondersteunen of uit te voeren. Ook kunnen robots en drones gevaarlijke inspectietaken uitvoeren, waarbij de mens op afstand blijft. Dat is goed voor het welzijn van de medewerkers. Een andere belangrijke factor voor het welzijn van medewerkers is echter autonomie. De vraag is hoe zij autonomie beleven bij vergaande procesinnovatie (Oeij et al, 2024). Want in hoeverre heeft de medewerker zelf nog invloed op het wanneer en hoe hij/zij een taak uitvoert? Als AI alle beslissingen neemt, bestaat het gevaar dat de medewerker taken gaat vervullen als een machine. Iets dergelijks zagen we ook bij de inzet van **cobots**, waarbij medewerkers in feite het hulpje van de robot werden, bijvoorbeeld om die te voeden (de Looze, 2019).

Standaardisatie van productiewijzen (maakindustrie en fabrieksmatig bouwen) door industrialisatie, kan een risico opleveren voor de autonomie van werknemers (bron: workshop 1). Daarnaast bestaat het gevaar dat het werk monotoon wordt wanneer eigen ervaring of kennis niet meer van belang is. Monotonie en gebrek aan autonomie zijn dus zeker risico's waar we rekening mee moeten houden. In de technieksector zal dit wellicht minder spelen, omdat veel werk plaatsvindt aan bestaande infrastructuur en installaties en niet in de maakindustrie/prefab.



Toch zal ook de technieksector moeten nadenken over het gebrek aan uitdaging dat op de loer ligt voor medewerkers.

Grootschalige toepassing van AI zal een groot effect hebben op het werk. Verschillende taken zijn in 2030 beter door AI uit te voeren dan door een medewerker, zoals planning van werkzaamheden, werkvoorbereiding en eenvoudige klantcontacten. **Hybride AI**, waarbij de medewerker een belangrijke rol speelt in het bijsturen van een AI-systeem, kan wellicht tot nog betere resultaten leiden. Hoewel dat de personeelskrapte in het uitvoerende werk niet oplost, kan het wel ruimte creëren, omdat de bedrijfsvoering efficiënter wordt. Bijvoorbeeld door het reduceren van onnodig herstelwerk.

Nieuwe technologie zal onherroepelijk ook tot nieuwe taken of banen leiden. Nieuwbouw vormt een beperkt deel van de werkomgeving van de technieksector. Het gaat hier voor tachtig procent om werk aan bestaande gebouwen en installaties. Hiervan is nog geen of beperkte digitale informatie beschikbaar. Een nieuwe taak voor medewerkers is het verzamelen van data, bijvoorbeeld voor het creëren van een Digital Twin van bestaande installaties, hetzij handmatig hetzij via drones en robots die zij inzetten voor scanwerkzaamheden. Goede uitkomsten van gen-AI hangen voor een groot deel af van de input van de gebruiker. Dit zogenaamde prompt engineering wordt een nieuwe taak die men zal moeten leren en waarin enkelen zich als expert kunnen profileren.

Nieuwe werkmethoden en nieuwe techniek brengen nieuwe gedragingen met zich mee, niet altijd zonder risico. Zo geldt voor elke technologie en zeker ook voor AI en robots dat medewerkers hier verantwoord mee om moeten gaan. Bedrijven moeten op tijd de risico's in kaart brengen, met name ten aanzien van AI: Wat zijn de risico's als AI "hallucineert"? Keert de verzekering uit als er schade ontstaat door een AI-gestuurde beslissing? Wat als werknemers hun eigen AI op hun telefoon gaan inzetten bij het werk? Dit zijn vragen waar bedrijven goed over moeten nadenken. Ze doen er goed aan om op tijd een riskmanagementstrategie te ontwikkelen.

8.2 Gen alfa - een nieuwe generatie werknemers?

"De jeugd van tegenwoordig houdt van luxe, heeft slechte manieren, veracht alle gezag en toont geen respect. De jeugd praat als ze zouden moeten werken. Jongeren spreken hun ouders voortdurend tegen, kletsen in gezelschap, schrokken hun eten naar binnen en tiranniseren hun leraren." Deze tekst zou afkomstig zijn van Socrates en zo'n 2400 jaar oud zijn (Boter, 2006).

Oudere generaties bezien de nieuwe generaties al eeuwen met argwaan en kritiek. Wetenschappelijk gezien is er geen bewijs voor verschillen tussen generaties. Waarschijnlijk vervangen we te gemakkelijk leeftijd door generatie. Generatie-effecten zijn namelijk "systematische verschillen tussen individuen op basis van hun geboortjaar" (Veen & Niks, 2024). In studies is het niet of nauwelijks mogelijk om leeftijds-, periode- en generatieeffecten te onderscheiden³⁸. Leeftijdsverschillen en de context waarin men is opgegroeid zijn belangrijker dan een eventueel verschil in generaties. Veel kwaliteiten moeten we leren, op vroegere of latere leeftijd. "Industriële monteurs van in de vijftig nemen niet uit zichzelf verantwoordelijkheid voor hun werk; zo zijn ze in het verleden niet opgevoed en opgeleid. Er moet veel zelfvertrouwen worden opgebouwd, zodat mensen het vertrouwen hebben om dat te doen" (Schütz, CEO Deguma, in: Hoffmann, 2024)³⁹.

³⁸ [Generatieverschillen in werkgerelateerde behoeften, waarde van werk en mentale gezondheid - Monitor arbeid \(tno.nl\)](https://www.tno.nl/nieuws/2024/01/generatieverschillen-in-werkgerelateerde-behoefte-mentaliteit/)

³⁹ <https://www.produktion.de/veranstaltungen/deutscher-maschinenbau-gipfel/genz-und-der-maschinenbau-es-geht-um-wertschaetzung-621.html>

Voor bedrijven is het daarom belangrijk om een leeftijdsbewust personeelsbeleid te voeren dat rekening houdt met de behoeften die bij bepaalde levensfasen horen (Veen&Niks, 2024). Grote bedrijven doen er daarom goed aan om ook hun resultaten van werknemerstevredenheidsonderzoek op te splitsen naar leeftijdsgroepen.

"Ik merk dat de jongere generatie een onrealistisch beeld heeft van wat werken nu echt inhoudt." (interview in Intermediair met recruitmentspecialist D. van Poppel)⁴⁰

Jongeren die anno 2024 de arbeidsmarkt betreden, hebben wellicht onder invloed van alles wat zij op sociale media zien, een onrealistisch beeld van wat er bij werk komt kijken. Bedrijven die dat erkennen en daar rekening mee houden wanneer jongeren in dienst treden, vergroten de kans dat ze deze jonge medewerkers vasthouden.

Als Gen alfa in 2030 de arbeidsmarkt betreedt, moet die, net als iedereen vóór hen, leren werken. Het gebruik van AI-tools is voor hen heel normaal. Die zijn geïntegreerd in hun smartphones en computers. Maar toch snappen ze net zo weinig (of net zo veel) van de technologie als de ouderen.

Ondersteund door AI en slimme brillen zijn jongeren sneller inzetbaar voor taken waar geen certificaat voor nodig is. Maar ook zij ontkomen niet aan het behalen van certificaten die hun expertises in een skills-paspoort vastleggen. Het verschil met de ouderen die zij vervangen is dat zij gemakkelijker op verschillende terreinen skills kunnen en mogen opdoen en die kunnen vastleggen (workshop1). Hun oudere collega's gingen bijna allemaal naar een opleiding waar zij in één richting zijn opgeleid.

8.3 Kennis en kunde

Iemand nog kennis?

AI gaat een grote verandering teweegbrengen in het kennislandschap waarvan nog niet goed is in te schatten wat de effecten zullen zijn. Heeft de medewerker straks überhaupt nog technische kennis nodig als alle kennis in AI-systemen en Digital Twins zit en de onervaren medewerker via slimme brillen stapsgewijs voor elke werkzaamheid instructies kan krijgen? Ook standaardisatie heeft als gevolg dat minder parate kennis over bouw- en installatiewerk nodig is.

En wat gebeurt er met ons leervermogen wanneer we dat nog nauwelijks aanspreken? Onthouden hoeft immers niet meer.

Leren blijft echter onverminderd van belang, of het nu gaat om vaardigheden of parate kennis. Een proces gaat immers sneller wanneer men deze zonder instructies kan uitvoeren. Daarnaast moeten medewerkers met elke nieuwe technologie leren werken. In een snel veranderende wereld is leren dus juist heel belangrijk. Niet alleen voor de uitvoerende medewerkers, maar voor alle lagen in de organisatie.

Het is van belang om medewerkers op dit gebied te blijven faciliteren en uitdagen, al was het maar om een afname in cognitieve capaciteiten te voorkomen.

⁴⁰ <https://www.intermediair.nl/werk-en-carriere/loopbaanontwikkeling/gen-z-weet-niet-wat-werken-is-maar-dat-is-niet-haar-schuld>



Een schrale troost is wellicht dat geen enkel bedrijf dit risico ontloopt, tenzij ze werknemers uitdagen om AI op slimmere manieren in te zetten, waarbij ze hun parate kennis over de uitvoering van werkzaamheden kunnen toepassen.

AI biedt echter ook kansen, omdat elk bedrijf over een grotere arbeidspool kan beschikken. Ondersteund door AI en slimme brillen zijn mensen immers sneller inzetbaar op taken waar geen certificaat voor nodig is. Net als kennis, blijven ook vaardigheden onverminderd van belang. Robots zullen namelijk vooral gestandaardiseerde handelingen uitvoeren, zoals bij fabrieksmatig bouwen en inspecties. In 2030 hebben robots nog niet de flexibiliteit van mensen om in willekeurige omgevingen verschillende werkzaamheden uit te voeren. Mensen blijven aan zet voor handelingen waar skills en flexibiliteit voor nodig zijn.

Medewerkers ontkomen er dan ook niet aan om certificaten te behalen die deze skills in een skills-paspoort vastleggen.

Wat is arbeid waard?

In 2030 betaalt de opdrachtgever niet meer voor de input, maar voor de output (het resultaat/de toegevoegde waarde). De input zal vaker komen van gerobotiseerde systemen, gegenereerd door AI en met behulp van augmented working. Dit heeft een ander kostprijsmodel dan een medewerker die met apparatuur klussen klaart. Verdienmodellen die alleen uren rekenen, zijn niet meer toereikend. Aan de andere kant zal ook de klant moeten wennen aan kosten die niet synchroon lopen met de tijd die de medewerker op locatie bezig is geweest.

Door kennis in systemen op te slaan, slaat de term “kennis is macht” niet meer op de medewerker die het werk uitvoert. Ook in de technieksector, maar nog meer in andere sectoren, speelt dat AI en Robotisering de ‘machtspositie’ en daarmee de salarispositie van beroepen kunnen aantasten.

Grijs helpt groen

Onderweg naar 2030 zullen we veel impliciete kennis moeten vastleggen. Rond 2030 stromen veel ervaren krachten uit met als risico dat veel (impliciete) kennis verloren gaat als dit niet op tijd is vastgelegd. Bedrijven kunnen dit oplossen door deze medewerkers extra inkomen aan te bieden wanneer zij video-opnames maken tijdens hun werkzaamheden en deze tegelijkertijd van commentaar voorzien. De database is in 2030 via een chatfunctie op slimme brillen toegankelijk voor onervaren medewerkers. AI komt op basis van de databases met voorstellen voor gestandaardiseerde werkwijzen en stelt hiervoor werkinstructies op.

Een deel van de (kennis)uitstroom wordt geremd doordat bedrijven voorzieningen treffen om medewerkers na pensionering nog een of meerdere dagen per week in dienst te houden, bijvoorbeeld als hulplijn. Voor gepensioneerden is de optie financieel en sociaal aantrekkelijk.

8.4 Human centric

Een human centric-benadering van technologische innovatie gaat simpel gezegd om het creëren van mensgericht, “goed werk” (Oeij et al, 2024). Het gaat verder dan goede arbeidsvoorwaarden en het creëren van werk dat veilig is en fysiek of mentaal niet te zwaar is, al is dat al een hele stap. Arbeidsinhoud en interne arbeidsverhoudingen zijn minstens zo belangrijk. Wanneer werknemers kunnen kiezen, zullen bedrijven die “goed werk” bieden allicht minder personeelsproblemen hebben dan de op dat vlak minder presterende bedrijven met wie zij om

personeel concurreren. Richtlijnen en instrumenten voor het creëren van “goed werk” zijn uitgebreid voorhanden, zoals onder meer de Welzijn door Arbeid methode⁴¹.

Mensgerichtheid is niet nieuw. De vakgebieden human factors en ergonomie (HFE) en socio-techniek hanteren al decennia een mensgerichte benadering. Met nieuwe technologie komen wel nieuwe vragen op. Dat geldt zeker voor de snel ontwikkelende AI en robotisering die de HABA-MABA⁴²-vraag in 2030 vaker in het voordeel van de (software) robot zullen laten uitvallen. Dit is nodig om de tekorten op de arbeidsmarkt tegen te gaan, maar vormt ook een uitdaging; want wat laat je de medewerker nog doen? Passen zijn of haar competenties (nog) bij de veranderde taken en vormt het takenpakket een functie met voldoende autonomie, sociale interactie en uitdaging om te leren? En niet te vergeten: wat doet de verandering met de veiligheid, en met de fysieke en mentale belasting en hoe kan dit worden geoptimaliseerd? Dit geldt niet specifiek voor de technieksector maar is universeel.

Hier ligt een belangrijke rol voor de “ontwerpers van het werk”: de leidinggevendenden, werkvoorbereiders planners en ingenieurs. Bedrijven die er het beste in slagen om - ondersteund door technologie - de unieke capaciteiten van mensen ten volle te benutten, halen hier voordeel uit. De beste bedrijven bieden verder niet het meeste geld maar bieden een werkomgeving die de meeste voldoening geeft; zij hebben leidinggevendenden in dienst die kunnen “binden en boeien”. In de praktijk betekent dat, dat zij oog hebben voor de behoeften van zowel de nieuwe als de oudere garde medewerkers. Sowieso bieden zij voldoende regelmogelijkheden en autonomie, (technologische) uitdagingen en mogelijkheden om te leren. Dat vraagt om een leidinggevendende die vertrouwen heeft en uitstraalt. Het vraagt om dienend of faciliterend leiderschap. De leidinggevendende die alleen stuurt op output en daarbij onvoldoende verbinding met zijn/haar medewerkers weet te leggen, loopt een grotere kans zonder personeel te komen zitten.

Vertrouwen is goed – controle is beter?

Bij industrialisatie en het creëren van Digital Twins draait alles om het gebruik van data. Dat biedt anno 2024 al uitgebreide mogelijkheden om ook de prestaties van medewerkers te monitoren en hierop te sturen- en geeft mogelijkheden tot controle. In 2030 zijn daar meer mogelijkheden voor en blijven wetenschappers proberen om ook het gedrag van de mens met al zijn onvoorspelbaarheid onderdeel van de Digital Twin te maken. Management zal strikte keuzes moeten maken over hoe ze met de beschikbare data over medewerkers omgaan en in hoeverre zij de mens onderdeel van de Digital Twin willen laten zijn.

⁴¹ Zie: [Handleiding NOVA-WEBA : een vragenlijst om arbeidsorganisatorische knelpunten op te sporen : hernieuwde versie \(tno.nl\)](#)
⁴² HABA-MABA: Humans Are Better At, Machines Are Better At; afweging die in de systeemergonomie gebruikt wordt om taken te verdelen tussen mens en machine.





9. Verantwoording

Vanuit de eerdere, brede studie CONNECT2030 ontstond de behoefte om het toekomstperspectief voor 2030 verder te verkennen op de thema's: (1) Artificial Intelligence (AI), (2) Robotisering en (3) Industrialisatie. Naast het technologische toekomstperspectief rondom deze thema's, was het van belang om de impact op relevante deelgebieden te onderzoeken. Alleen zo kunnen we een beeld schetsen van de veranderde context waarbinnen deze technologische ontwikkelingen plaats gaan vinden, hoe ze toegepast gaan worden en waar impact en beïnvloeding gaat plaatsvinden tussen maatschappij, organisatie, mens en technologie.

Deze studie is uitgevoerd in twee fasen. In de eerste fase van het onderzoek is een brede onderzoeksvraag opgesteld en een begeleidingsgroep⁴³ is geformeerd.

Onderzoeksvraag: Lever een inspirerend onderzoek op dat de middellange termijnontwikkelingen (3-5 jaar) duidt voor de thema's AI, Robotisering, en Industrialisering.

De vooraf vastgestelde deelgebieden die meegenomen zijn, bestaan uit de volgende acht gebieden: (a) sociaal economisch, (b) ethiek en regulering, (c) werk en werkgelegenheid, (d) goed werkgeverschap, (e) technologische ontwikkeling, (f) educatie en vaardigheden, (g) duurzaamheid en milieu-impact en (h) globale perspectieven.

De begeleidingsgroep vond het van belang dat er een goed beeld wordt geschetst van de raakvlakken van de technologische ontwikkelingen rondom de geselecteerde thema's in 2030 en deze niet in isolatie maar in samenhang te beschouwen. Daarbij zijn ook de belangrijkste stakeholders van de technieksector meegenomen bij deze beschouwing. Daarnaast wil de begeleidingsgroep de technieksector duiding geven aan bedrijven en actoren en handelingsperspectieven aandragen.

Voor de tweede fase van het onderzoek heeft de begeleidingsgroep meerdere partijen gevraagd een aanbod te doen om met de begeleidingsgroep het onderzoek naar het toekomstperspectief uit te voeren en deze publicatie op te stellen. TNO heeft hiervoor de opdracht gekregen. Het onderzoek is uitgevoerd in de periode maart 2024-juli 2024. Techniek Nederland heeft met deze publicatie haar behoefte aan een verdiepend onderzoek ingevuld, op basis van de huidige CONNECT-verkenningen, waarin de samenhangende en verbonden begrippen Robotisering, AI en Industrialisering zijn verkend en geduid voor de technieksector en haar stakeholders.

Verantwoordingsstructuur

Het onderzoek is uitgevoerd op basis van literatuuronderzoek, expertinterviews en workshops, in nauwe samenwerking met de begeleidingscommissie. Er is gedurende de gehele onderzoeksperiode informatie verzameld en overgedragen aan het onderzoeksteam⁴⁴.

Een blik werpen op de nabije toekomst en voorspellingen doen, gaan altijd gepaard met onzekerheden. Technologie ontwikkelt zich op twee manieren: onafhankelijk van maatschappelijke uitdagingen, zonder specifieke toepassingen voor ogen (exogeen), maar ook op basis van uitdagingen in de maatschappij, waarbij er wel een toepassing voor ogen is (endogeen). Toch is het mogelijk om een toekomstverkenning gestructureerd uit te voeren en technologische ontwikkeling rondom AI, Robotisering en Industrialisatie enerzijds en relevante maatschappelijke deelgebieden anderzijds met elkaar te kruisen.

⁴³ Voor de namen van de begeleidingscommissie zie H10.3

⁴⁴ Voor de namen van het onderzoeksteam zie H10.4



9.1 Literatuurstudie

Het startpunt van fase 2 van het onderzoek vormde de verkenning uit fase 1, waar een brede, onderzoekende literatuurinventarisatie is uitgevoerd.

Op basis van de inventarisatielijst, is van alle publicaties de inhoud, relevantie, kwaliteit en betrouwbaarheid onderzocht. Deze scan heeft geresulteerd in een selectie van geschikt geachte publicaties op basis van de focus, opgenomen onderwerpen en daarmee gerelateerde termen. Dit heeft geresulteerd in de bronnenlijst in hoofdstuk 10.

De thema's en deelgebieden zijn op basis van deze bronnen in samenhang beschreven.

9.2 Interviewrondes

Op basis van de oorspronkelijke indeling van thema's en deelgebieden, en het voorlopige verhaal dat uit de literatuurstudie naar voren kwam, zijn er dertien expertinterviews gehouden. Deze interviews hadden als doel om het verhaal voor 2030 verder uit te werken en om te ontdekken welke ontwikkelingen in de komende 4-5 jaar veelbelovend zijn of juist niet. Tijdens het proces is er voortdurend gezocht naar een goede balans tussen wat realistisch is en wat meer visionair.

Om een lijst van experts samen te stellen, hebben we gekeken naar de eerder genoemde thema's en deelgebieden. We zochten naar kandidaten die deskundig zijn op het gebied van belangrijke onderwerpen, zoals technologische ontwikkeling, en ook naar experts die kennis hebben van specifieke deelgebieden die impact kunnen hebben.

De resultaten van de interviews zijn gebruikt om het verhaal dat in de literatuurstudie is ontwikkeld, verder te verdiepen. Dit verhaal is grofweg onder te verdelen in drie delen:

1. De maatschappij in 2030
2. De organisatie en medewerker in 2030
3. De technologische ontwikkeling in 2030

De reden dat we tot kernbegrippen zijn gekomen, is de interactie tussen deze onderdelen en de overlap van veelbelovende technologische ontwikkelingen op het gebied van kunstmatige intelligentie (AI), Robotisering en Industrialisatie. Deze belangrijke ontwikkelingen zijn in feite groepen van relevante, gerelateerde en overlappende begrippen.

9.3 Van termen naar kernbegrippen:

Als we kijken naar AI, Robotisering en Industrialisatie, zien we verschillende technologieën, methoden en concepten die onder verschillende termen worden gepresenteerd. Op basis van een uitgebreide verkenning in de literatuur en gesprekken met experts zijn er veel termen gevonden die passen onder een of meerdere kernbegrippen. Hieronder volgt een overzicht van 73 termen die voorbijgekomen zijn:

- | | |
|---|---------------------------------------|
| 1. Adaptieve robots | 38. Hybride robots |
| 2. Additive manufacturing / 3D printing | 39. Industrial metaverse |
| 3. Advanced computing | 40. Industrie 4.0 |
| 4. Advanced Engineering | 41. Industrie 5.0 |
| 5. Affect computing | 42. IoT & connectiviteit |
| 6. Articulated robots | 43. Machine learning |
| 7. Artificial general intelligence | 44. Managerial AI |
| 8. Artificial narrow intelligence | 45. Mass Customization |
| 9. Artificial Neural Network (ANN) | 46. Massaproductie |
| 10. Artificial super intelligence | 47. Mechanisatie |
| 11. Augmented Reality | 48. Mens-machine-interactie (HMI) |
| 12. Augmented working | 49. Micro & nano-robots |
| 13. Autonome robots | 50. Modulaire robots |
| 14. Autonome voertuigen | 51. Multi-purpose robots |
| 15. Big data | 52. Natural Language Generation (NLG) |
| 16. BIM | 53. Natural Language Processing (NLP) |
| 17. Bio-inspired robots | 54. Netwerk-en-webtechnologie |
| 18. Blockchain & cryptografie | 55. Neuro-symbolische AI |
| 19. Bring your own AI | 56. Point cloud |
| 20. Cobots | 57. Predictive maintenance |
| 21. Cognitieve AI | 58. Prefabricage |
| 22. Cognitieve robots | 59. Purpose-specific robots |
| 23. Computer Generated Imagery (CGI) | 60. Quantum AI |
| 24. Computer vision | 61. Robot-honden |
| 25. Cyber physical systems | 62. Sensor-technologie |
| 26. Deep Learning | 63. Service-robots |
| 27. Digital Twins | 64. Simulatie-techniek |
| 28. Digitalisering | 65. Smart cities |
| 29. Draagbare robots | 66. Smart factories |
| 30. Drones | 67. Smart grids |
| 31. Evolutionaire algoritmes | 68. Smart manufacturing |
| 32. Explainable AI | 69. Supply chain management |
| 33. Extended reality | 70. Symbolische AI |
| 34. Generative AI | 71. Virtual Reality |
| 35. Generative design | 72. Zwerm intelligentie |
| 36. Humanoïde robots | 73. Zwerm robotica |
| 37. Hybride AI | |

Wanneer we dieper naar deze termen kijken, verwijzen ze niet altijd naar hetzelfde. Waar de ene term gaat over een manier om AI-modellen in te leren ([machine learning](#)), beschrijft de ander een specifiek sub-veld van AI (hybride AI of NLP), de mate waarin een systeem als intelligent beschouwd wordt (artificial general intelligence), wat een bepaalde toepassing doet ([generative AI](#)) of juist in welke vorm (chatbots) ze dat doen. Er zit veel overlap tussen de verschillende termen, bepaalde termen zijn randvoorwaardelijk voor elkaar en in sommige gevallen kunnen bepaalde termen onder elkaar vallen.

Daarnaast beschrijft niet iedere term een puur technologisch concept of een concrete toepassing (zoals service-robots). Soms verwijzen ze eerder naar een subcategorie van een van de kernbegrippen (zoals [hybride AI](#)-systemen onder AI vallen).

Vooraf termen die te maken hebben met industrialisatie beschrijven vaak een conceptuele eindtoestand. Dit zijn bijvoorbeeld termen zoals [augmented working](#) of [smart manufacturing](#), waarin verschillende technologieën en termen samenkomen om een bepaald doel te bereiken, zoals het verhogen van de efficiëntie of het creëren van autonome fabrieken.

9.3.1 Overzicht door begrippen

Bepaalde termen die duidelijk onder andere geschaard konden worden (zoals diverse AI-algoritmes onder machine learning zijn te scharen) of termen die niet direct aan AI, Industrialisatie en Robotisering gerelateerd zijn, zijn uit de lijst gehaald waarna er in totaal 42 begrippen zijn overgebleven voor analyse. Deze 42 begrippen zijn als naslagwerk toegevoegd aan dit rapport (Hoofdstuk 9.6). De analyse van de begrippen gaf inzicht in hoe vaak de 73 verschillende termen voorkomen in de literatuur en de interviews, maar ook:

1. in hoeverre begrippen uniek zijn of overlappen, gerelateerd zijn of volledig onder anderen termen horen (overlap/relatie)
2. in hoeverre begrippen achterliggende technologie vertegenwoordigen (omvattendheid)
3. in hoeverre begrippen rijp of klaar voor adoptie zijn (rijpheid/adoptie)
4. de verwachte impact van begrippen en onderliggende technologieën in 2030 binnen en buiten de technieksector.

9.3.2 Kaderen naar kernbegrippen

Met als doel om te komen tot een hanteerbaar aantal beschrijvingen van ontwikkelingen die de technieksector te wachten staat in 2030, is gekozen om zeven kernbegrippen verder uit te diepen.

We kozen daarbij voor kernbegrippen die meerdere samenhangende termen/technologieën bevatten (die losstaand wellicht te kleine gebieden waren geweest). Dat gaf ruimte om te schrijven vanuit de synergiën tussen AI, Robotisering en Industrialisatie.

De 73 termen en 42 begrippen zijn uitgewerkt en er is geïnterpreteerd wat bepaalde termen beschrijven (technologieën, klassen, concepten etc.) Daarnaast zijn er bij de meeste technologieën praktijkvoorbeelden geschetst, is gekeken in hoeverre termen met elkaar overlappen en is gekeken naar de relaties tussen termen. Daarbij gingen we uit van de volgende visie: een focus op enkele kleine termen leidt tot een te smalle scope, terwijl teveel focussen op termen die alomvattende concepten behelzen, tot een over-scope leidt.

Daarom is er tot slot, samen met de begeleidingscommissie, kritisch gekeken naar de juiste samenstelling van termen en begrippen in kernbegrippen die zowel in de literatuur als tijdens de afgenomen interviews veel naar voren kwamen. Daarin hebben we de volgende balans gezocht:

Kernbegrippen die in de literatuur en interviews veel besproken zijn:

1. [Generatieve AI](#)
2. [Hybride AI](#)
3. [Computer Vision](#)
4. [Multi-purpose robots](#)

Eindstaten of strategieën waarin termen en concepten samenkomen:

5. [Mass customization/flexible manufacturing](#)
6. [Industrial metaverse](#)

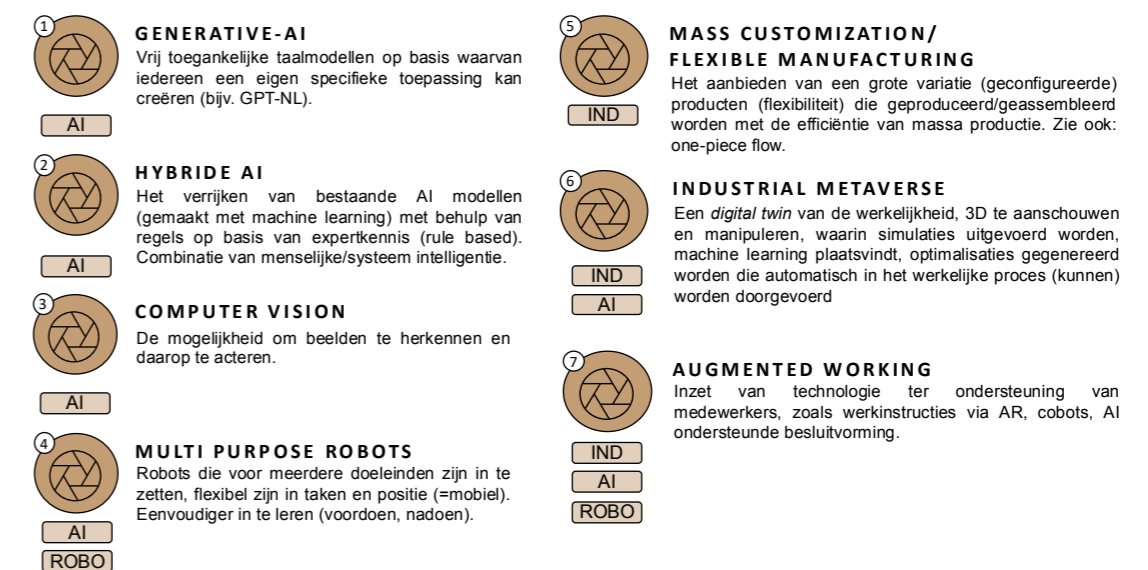
Een doel waarvoor verschillende termen samen worden ingezet:

7. [Augmented Working](#)

Ongeacht of een beoogde eindstaat (zoals bijvoorbeeld [industrial metaverse](#)) in 2030 (volledig) bereikbaar is voor een deel van de technieksector, dient de weg naar deze kernbegrippen als een kapstok om ontwikkelingen op onderliggende technologieën en de interactie tussen meerdere technologiegroepen te beschrijven.

Kernbegrippen

De 7 kernbegrippen en de definities die in de eerste workshop gehanteerd zijn, zijn weergegeven in Figuur 9-1.



Figuur 9.1 Kernbegrippen en definities

De kernbegrippen zijn in [hoofdstuk 5](#) verder uitgewerkt.

9.4 Workshops met begeleidingscommissie

Door middel van workshops met de begeleidingscommissie zijn bevindingen gedurende het onderzoeksproces getoetst, aangescherpt en geduid voor de sector. In de eerste workshop zijn de 3 thema's AI, Robotisering en Industrialisatie verkend en (beter) geduid. Kern van de vraag was welke impact deze hebben op de (a) de maatschappij, (b) de mens/medewerker en (c) de techniek. Een samenvatting van de gevoerde discussies en de uitkomsten daarvan is opgenomen in de beschrijvingen van elk thema en delen daarvan zijn gebruikt in dit rapport.

In de tweede workshop zijn de zeven kernbegrippen vanuit de context van 2030 bekeken en is geïdentificeerd welke onzekerheden en spanningspunten er zijn. Discussie rondom deze spanningspunten helpt om het toekomstbeeld in 2030 te verhelderen en terug te redeneren naar wat er in het hier en nu nodig is om dat doel te bereiken. De spanningspunten en onzekerheden die tijdens deze workshop besproken zijn, waren:

1. Hoe verhoudt technologische ontwikkeling zich tot implementatie in de maatschappij?
2. Wanneer en waarom adopteert de technieksector nieuwe ontwikkelingen in het businessmodel?
3. Wat kunnen we leren van concepten die (vooralsnog) niet geslaagd zijn?
4. Werkt wetgeving remmend of juist stimulerend als het gaat om technologische ontwikkeling?
5. Zijn anti-globalisering en regionale waardeketens een kans of een bedreiging?
6. Hoe nemen we veerkracht, duurzaamheid en het menselijke aspect mee in de transitie?

Ieder spanningspunt is geïntroduceerd met een korte toelichting op het perspectief door een specifieke expert. De beschrijving van de spanningspunten in dit rapport bevat een groot deel van de randvoorwaarden voor de thema's, zodat stakeholders daar in de komende periode op kunnen handelen. Deze bevindingen zijn in deel B van het rapport terecht gekomen.

De derde en laatste workshop had als doel om de duiding en impact van de zeven kernbegrippen in beeld te brengen (gegeven de onzekerheden en spanningspunten) en om het handelingsperspectief dat gaat ontstaan bij de verschillende stakeholders van de technieksector te duiden. Dit geeft handvatten voor de mogelijke afwegingen die partijen moeten maken. In de laatste stap is het beeld voor de technieksector opgehaald en geduid.

9.5 Ontwikkeling van de rapportage

Na de eerste workshop is het onderzoeksteam aan de slag gegaan met het opschrijven van de bevindingen. De bevindingen zijn schriftelijk gerapporteerd aan de begeleidingscommissie die maandelijks de rol van kritische meelezer vervulde. Op gezette tijden zijn stappen en voortgang in het proces vastgelegd, zoals interviewlijsten, methodedocumenten en de kerntechnologieën.

Deze rapportage heeft zich daardoor ontwikkeld van een gezamenlijk onderzoeksverslag naar een leesbaar en inspirerend document dat geschikt is als naslagwerk voor de technieksector.

9.6 Omschrijving van de 73 termen

TERM	OMSCHRIJVING	VERANTWOORDING
Adaptieve & modulaire robots	Robot die aan te passen is of zichzelf aanpast aan de omgeving of taakstelling. Dit omvat zowel gedragsaanpassingen als aanpassing van de fysieke samenstelling, al dan niet door middel van gestandaardiseerde, fysieke modules. Het gaat hierbij enerzijds over de mate waarin fysieke capaciteiten van robotica uitbreidbaar/uitwisselbaar zijn en anderzijds over de mate waarin een gerobotiseerd systeem zich qua gedrag (zelfstandig) aan kan passen aan externe prikkels (gedrag). Deze term zegt daarmee iets over de fysieke/mentale flexibiliteit van robots.	Adaptieve en modulaire robots vallen enerzijds onder multi-purpose robots. Vanwege het adaptievermogen van systemen, horen ze gedeeltelijk ook bij hybride AI en cognitieve AI.
Additive manufacturing / 3D printing	Additive manufacturing staat voor het proces dat op basis van digitale ontwerpen 3-dimensionale producten/componenten produceert door lagen van een bepaald materiaal over elkaar heen te printen.	Is een van de technologieën die ingezet wordt binnen smart industry.
Advanced computing	Advanced computing richt zich op het benutten van bestaande of nieuwe superieure computerarchitecturen om - vergeleken met reguliere computers - complexere verwerking, berekening en bewerking van informatie mogelijk te maken. Advanced computing is een verzameling van verschillende termen waaronder netwerk (grid) computing, quantum computing en cloud computing.	Is een gebied met veel impact maar wordt niet direct als urgente, relevante kernontwikkeling gezien voor dit onderzoek
Affect computing / emotional AI	Affect computing of emotionele AI is een deelgebied dat zich bezighoudt met systemen die menselijke emoties kunnen opvangen, begrijpen en daarop kunnen reageren met als doel de mens-systeeminteractie te verbeteren.	Hangt sterk samen met adaptieve AI en computer vision. Te klein om te beschouwen als aparte kernontwikkeling.
Artificial narrow/general/super intelligence	Artificial narrow, general en super intelligence zijn (hypothetische) stadia van kunstmatige intelligentie ten opzichte van de mens. Narrow intelligence overtreft de mens bij een specialistische taak. General intelligence overtreft de mens in nagenoeg al zijn aspecten en super intelligence zou menselijk denken overstijgen en zelfbewust kunnen zijn.	Zegt iets over de capaciteitsniveaus van AI-systemen.
Articulated robots of knikarm robots	Articulated robots zijn de robotarmen die veel in de industrie, in hoog geautomatiseerde en gestandaardiseerde omgevingen (zoals de automotive industrie) worden toegepast. Zij worden ingezet in productieprocessen voor voorgeprogrammeerde taken, zoals het pakken, plaatsen en puntlassen van carrosserie-onderdelen of het spuiten van plaatwerk. De term zegt vooral iets over de fysieke vorm van de robot.	Ondergebracht in andere robo- en AI-termen. Focus op de mate van samenwerking en een enkele fysieke uitingsvorm. Human-robot collaboration is opgenomen als component onder Industrie 4.0, 5.0 en smart manufacturing.

Augmented working	Augmented working (human-machine collaboration) staat voor het concept waarbinnen mensen en diverse technologieën (waaronder cobots, AR, VR, IoT, big data en AI) in elkaars verlengde worden ingezet om de productiviteit/efficiëntie te verhogen en werk toegankelijker/eenvoudiger te maken.	Buiten losstaande technologische ontwikkelingen die het overnemen van bijvoorbeeld repetitieve taken van de mens mogelijk maken, blijft de mens in 2030 centraal staan en is een essentieel onderdeel van de bedrijfsvoering. De mens wordt door middel van verschillende technologieën zowel op kantoor als daarbuiten wel productiever. Het concept waarin technologie zoals AR, VR en AI ingezet wordt ter versterking van de mens, is een belangrijke kernontwikkeling. Focus op enkel AR of VR als middel om augmented working mogelijk te maken, is te smal voor de scope.
Autonome robots	Het begrip autonome robots omvat robotsystemen die in staat zijn om onafhankelijk van ingrepen van buitenaf (door de mens) eventueel diverse taken uit te voeren. Om onafhankelijkheid te kunnen waarborgen, moeten autonome robots vaardigheden zelfstandig in kunnen zetten, in hoge mate adaptief zijn en eventueel kunnen leren door middel van cognitie. Deze term geeft ons dus niet zo zeer een schaal, maar vertegenwoordigt een sub-term van zelfstandige robots op de schaal voor 'mate van autonomie'.	Ondergebracht in andere robo en AI-termen. Focus op sub-term die autonoom is maar te smal voor een kernontwikkeling.
Autonome voertuigen	Autonome voertuigen of robotauto's zijn voertuigen die zonder menselijk handelen kunnen navigeren en opereren in semi-gestructureerde maar dynamische omgevingen. De autonome auto is daarmee een toepassing waarin robots (de auto), sensoren, computer vision, radartechnologie en AI samenwerken om de omgeving waar te nemen en zelfstandig te kunnen handelen.	Is een toepassing van adaptieve robots en hybride AI-systemen.
Big data & digitalisering	Digitalisering is het proces dat analoge informatie in de fysieke wereld via verschillende methodes omzet naar digitale formats in modellen. Big data verwijst naar grote hoeveelheden gedigitaliseerde data die lastig te verwerken zijn via conventionele methodes.	Digitalisering is een doorlopend proces. Big data is één van de resultaten van dit proces. Beide zijn belangrijke randvoorwaarden voor het mogelijk maken van grootschalige AI en robo-toepassingen in geïndustrialiseerde omgevingen (smart manufacturing, Industrie 4.0 etc).
Bio-inspired robots	Bio-inspired robots zijn robots waarvan het ontwerp is gebaseerd op biologische levensvormen (zoals bijvoorbeeld insecten) om de voordelen daarvan toe te kunnen passen. Het zegt daarmee primair iets over de fysieke vorm van robots.	Te smal om op te nemen als aparte kernontwikkeling.
Blockchain & cryptografie	Onder blockchain verstaan we het concept van decentrale en gedistribueerde databases (ledgers), waarin door middel van met cryptografie versleutelde transacties vanuit een peer-to-peer netwerk transparant, onveranderlijk en beveiligd opgeslagen en benut worden.	Is een gebied met veel impact maar is niet direct een urgente, relevante kernontwikkeling voor dit onderzoek.



Bring your own AI (BYOAI)	BYOAI verwijst naar het fenomeen waarin de mens AI-toepassingen meeneemt naar de werkomgeving om zo de eigen productiviteit of het werkplezier te verhogen. Op deze manier wordt AI dus bottom-up geïntroduceerd bij bedrijven en toegepast op initiatief van de medewerker.	Beschrijft een fenomeen.
Cobots	Cobots of collaboratieve robots zijn robots die intrinsiek veilig genoeg zijn om naast en met de mens samen te werken. Over het algemeen bedoelen we hier articulated of knikarmrobots mee, met een lage zogenaamd payload (de kracht die ze kunnen leveren). Of cobots ook daadwerkelijk collaboratief zijn (dus samenwerken met de mens), hangt af van de inzet van de robot, niet van de robot zelf.	Ondergebracht in andere robo- en AI-termen. Focus op mate van samenwerking en een enkele fysieke uitingsvorm. Human-robot collaboration is opgenomen als component onder Industrie 4.0, 5.0 en smart manufacturing.
Cyber physical systems (CPS)	CPS zijn systemen waarin computerelementen (zoals netwerken, software en computers) in (real time) verbonden of verweven zijn met fysieke elementen (zoals sensoren, robots en mensen). Dergelijke systemen maken het mogelijk om informatie in de werkelijkheid te verzamelen en te analyseren en vervolgens handelingen plaats te laten vinden in de fysieke wereld. CPS slaat een brug tussen de digitale en fysieke wereld. Het wordt daarom als sleutelsysteem gezien in de vierde industriële revolutie en als een onderdeel om het industrial metaverse en smart manufacturing te bereiken.	Is onderdeel van de 4e industriële revolutie op de weg naar onder andere smart industry en flexible manufacturing
Draagbare robots	Met draagbare robots bedoelen we alle soorten gemotoriseerde exoskeletonen en power suits. Die worden ingezet ter ondersteuning en versterking van de mens (kracht, mobiliteit, uithoudingsvermogen en/of sensorische capaciteiten). Ze zijn in feite een extreme vorm van cobots, want ze zitten dicht op de huid. De autonomie van dit type robots is laag. De term zegt vooral iets over de fysieke vorm van de robot.	De term draagbare robots verwijst naar een specifieke fysieke uitingsvorm van robots en kan overlap hebben met andere begrippen. We vatten deze term vanwege zijn beperkte omvang onder augmented working. Focus op draagbare robots als separaat kernbegrip levert een te smalle scope op.
Cognitieve AI	Cognitieve AI lijkt in zekere zin op emotionele AI maar onderscheidt zich daarvan door zich te richten op het nabootsen van emotie als onderdeel van menselijke intelligentie in systemen. Cognitieve AI-systemen proberen het menselijk leren, interpreteren, redeneren en acteren na te bootsen, exact zoals een mens dat doet.	Is een streven om menselijke cognitie te gebruiken in AI-systemen en daarmee een randvoorwaarde voor het ontwikkelen van zelflerende en adaptieve systemen.
Cognitieve robots	Cognitieve robots zijn robots die de cognitieve vaardigheden van mensen nabootsen (zoals informatie verzamelen, leren, redeneren en beslissingen nemen). Deze term zegt daarmee voornamelijk iets over de verwerkingscapaciteiten van robotsystemen en het autonome gedrag dat daaruit voortkomt.	Valt deels onder de begrippen cognitieve AI en hybride AI vanwege de sterke afhankelijkheid van deze technologie voor de cognitieve functies. De uitingsvormen zijn ondergebracht onder humanoïdes, wearables etc. en de doeltoepassing onder purpose-specific en multi purpose.



Computer vision	Computer vision richt zich op de ontwikkeling van het vermogen van AI-systemen om op basis van visuele informatie te detecteren, verwerken, begrijpen en interpreteren. Deze technologie is dus een belangrijke randvoorwaarden om AI-systemen in toe te passen in dynamische omgevingen en vervolgens op geïnterpreteerde informatie te handelen.	Computer vision wordt gezien als een belangrijke randvoorwaarde voor zowel het uitbreiden van de capaciteiten van bestaande AI-/robo-systemen als het mogelijk maken van nieuwe kansrijke adaptieve applicaties in bijvoorbeeld Smart Industry-omgevingen. Daarom is computer vision, als belangrijke randvoorwaarde voor AI, Robotisering en Industrialisatie, opgenomen als aparte kernontwikkeling.
Explainable AI	Bij Explainable AI streven we naar het begrijpbaar, navolgbaar en uitlegbaar maken van zowel het redeneringsproces als de uitkomsten van AI-systemen. Het richt zich voornamelijk op non-symbolische en hybride systemen. Deze term zegt dus iets over de mate waarin AI-systemen transparant en navolgbaar zijn.	Zegt vooral iets over de mate waarin systemen transparant zijn.
Generative AI	Generatieve AI is een term binnen AI die verwijst naar het genereren van nieuwe content, zoals tekst en beelden, op basis van geavanceerde patroonanalyses. Deze term zegt dus primair iets over de output/het toepassingsdoel en secundair over de capaciteit van onderliggende systemen.	Generative AI vertegenwoordigt een omvangrijk aantal applicaties die we gebruiken voor het genereren van (creatieve) content. Deze term is dermate groot, en de ontwikkelingen van aanvullende applicaties gaan zo snel, dat we Generative AI als kernontwikkeling richting 2030 mogen zien.
Humanoïde robots	Humanoïde robots zijn robotsystemen die zo ontworpen zijn dat zij fysieke kenmerken van mensen nabootsen (anders dan draagbare robots, drones of robothonden). Deze term zegt daarmee iets over de fysieke vorm van robots.	Ondergebracht in andere robo- en AI-terminen. Focus op een fysieke uitingsvorm helpt in de verbeelding maar is te smal.
Hybride AI	Hybride AI staat voor het combineren van verschillende AI-benaderingen, zoals door de mens opgestelde regels (rule-based) en machine learning, om krachtigere en flexibeler systemen te creëren die complexere taken kunnen uitvoeren in dynamische omgevingen. Deze term zegt daarmee primair iets over de synergiën tussen verschillende AI-eigenschappen.	Hybride AI is een snel ontwikkelende technologie die het mogelijk maakt om kennis van (vertrekkende) experts te combineren met de constant ontwikkelende mogelijkheden van machine learning. Het is hoogst aannemelijk dat systemen voor diverse doeleinden in 2030 voor een groot deel op hybride AI draaien vanwege de robuustheid, flexibiliteit en schaalbaarheid. Omdat de potentie van hybride AI - buiten haar toepassing in generatieve applicaties – enorm is, bijvoorbeeld in robots en industrie-omgevingen, nemen we het op als aparte kernontwikkeling.
Hybride robots	Hybride robots zijn robots met combinaties van diverse robottechnologieën (al dan niet modulair) in een enkele robot. Daarmee zegt deze term enerzijds iets over de combinatie van fysieke vormen van robots en anderzijds iets over de mate van variatie in taakstelling/doelstelling/inzetbaarheid. Hybride robots zijn per definitie multi-purpose en kunnen modulair ontworpen worden. Cognitieve capaciteit en de mate van autonomie kunnen variëren.	Zegt voornamelijk iets over de combinatie van fysieke vormen en is daarom opgenomen in de kernontwikkeling multi-purpose.



Industrial metaverse	Het industriële metaverse is een concept waarin verschillende technologieën samenkomen, zoals simulatietechniek, Digital Twins, extended reality, AI en IoT. Het doel van het concept is om een ervaren, verrijkte en manipuleerbare digitale of hybride fysieke omgeving te creëren waarbinnen de mens en AI-systemen directe interactie hebben met elkaar en eventueel met objecten in de werkelijkheid (waaronder bijvoorbeeld robots). Metaverses kunnen verschillende schaalniveaus hebben, van steden en gebouwen tot fabrieken en (vergader)ruimtes.	Het industrial metaverse beschrijft een conceptuele situatie waarin de fysieke wereld en digitale wereld in elkaar overlopen. Het concept omvat verschillende onderliggende technologieën die als randvoorwaarde gelden om deze eindstaat te bereiken. De beoogde eindstaat wordt in 2030 naar alle waarschijnlijkheid niet bereikt, maar de ontwikkelingen op de gebieden van de onderliggende technologieën zullen daar uiteindelijk wel toe leiden. Daarom wordt het industrial metaverse opgenomen als kernontwikkeling waarin de voortgang op de technologie daarvoor geldt als randvoorwaarde.
Industrie 4.0 & 5.0	Beide concepten beschrijven een revolutie in de maakindustrie en niet zo zeer in individuele technologieën. Industrie 4.0 is een breed concept waarin de digitalisering van de maakindustrie en de interactie tussen het fysieke en digitale centraal staat, met als doel de efficiëntie te verhogen (door middel van onder andere IoT, Digital Twins, augmented reality, AI en robots) en uiteindelijk de staat van smart industry te bereiken. Industrie 5.0 is geen ontwikkeling vanuit de industrie maar een push vanuit de EU. Voor een toekomstbestendige industrie is het nodig dat de technologische ontwikkelingen van Industrie 4.0 duurzaam, veerkrachtig en mensgericht worden.	Behelst een tweetal revoluties en dus de weg naar een bepaalde eindstaat waar technologie en de integratie daarvan vergaand heeft plaatsgevonden, de mens centraal gesteld wordt en er aandacht is voor duurzaamheid en onafhankelijkheid.
IoT & connectiviteit	IoT omvat fysieke objecten in een netwerk dat uitgerust is met sensoren, actuatoren en software, waardoor het informatie verzamelt, uitwisselt en kan gebruiken in 'slimme' toepassingen. Connectiviteit is onderdeel van het brede concept IoT en verwijst naar het doel of het vermogen van apparaten om met elkaar te communiceren door middel van verschillende netwerken zoals bijvoorbeeld lokale en mobiele netwerken.	Wordt als belangrijke randvoorwaarde gezien voor het mogelijk maken van grootschalige doorontwikkeling en toepassing van AI en daaraan gekoppelde robotsystemen. Daarmee maken ze geïndustrialiseerde eindstaten, ofwel afgeronde (deel)producten, mogelijk.
Machine learning	Machine learning is een onderdeel van non-symbolische AI. Het is een concept waarbij computers getraind worden om te leren van data. Dit leerproces is zowel zonder als met toezicht mogelijk, afhankelijk van het gehanteerde algoritme (bijvoorbeeld neural networks).	Belangrijke term waaronder we verschillende algoritmes scharen en die een grote overlap heeft met non-symbolische en hybride AI.
Managerial AI	Managerial AI is een term binnen AI die verwijst naar het genereren van inzichten ter ondersteuning en optimalisering van besluitvormingsprocessen op basis van geavanceerde patroonanalyses. Deze term zegt dus primair iets over de output/het toepassingsdoel en secundair over de capaciteit van onderliggende systemen.	Vertegenwoordigt een groot aantal systemen, ingezet voor beslissingsondersteuning en bijvoorbeeld productieanalyses. Is slechts een toepassingsterm in een groep van hybride en non-symbolische AI-terminen en hoort daarom thuis in de kernontwikkeling hybride AI.



Mass-Customization	Mass customization is een strategie/concept dat de efficiëntie van massaproductie combineert met de flexibiliteit van personalisatie. Deze strategie steunt op smart/flexibele manufacturing systemen die voor de klant 'unieke' producten configureert op basis van standaardcomponenten.	Mass customization is een productiestrategie die zowel iets zegt over wát er geproduceerd wordt als hoe dit geproduceerd kan worden. De samenhang met concepten/strategieën zoals smart manufacturing en flexibele manufacturing is erg groot. Gezamenlijk vertegenwoordigen zij een eindstaat waarin verschillende (geavanceerde) technologieën gezamenlijk worden toegepast (hybride AI, multi-purpose robots, IoT, Digital Twins, simulatietechnieken, augmented working etc.)
Micro & nano-robots	Met de term micro- en nano-robots bedoelen we extreem kleine robots. De term duidt dus op een fysieke eigenschap	Wordt als onvoldoende rijp en direct van grote toepassingswaarde gezien om op te nemen als kernontwikkeling.
Multi-purpose robots	Robots die flexibel in te zetten zijn voor een breed scala aan taken, voor meerdere doelen in verschillende omgevingen. Multi-purpose robots zegt, anders dan de meeste andere robot-termen, iets over de flexibiliteit van toepassingen en doeleinden in verschillende omgevingen (minimaal 2). Multi-purpose robots kunnen in variërende mate modulair zijn (fysiek aanpasbaar), verschillende fysieke vormen hebben (humanoïde, articulated robots) en variëren in mate van autonomie. Deze term zegt daarmee iets over de aanwezigheid van variatie in taakstelling/doelstelling/inzetbaarheid van robotsystemen.	Multi-purpose robots bevat veel sub-termen, kent verschillende toepassingen en heeft een behoorlijk ontwikkeltempo. Ondanks dat dergelijke robots ook onder smart manufacturing en the industrial metaverse kunnen vallen, is de term, en zijn ook de toepassingsmogelijkheden daarvoor te groot. Daarom is ervoor gekozen dit als kernontwikkeling te benoemen.
Netwerk-en-web-technologie	Web-technologie verwijst naar technieken, protocollen en hulpmiddelen om onder meer (interacterende) webapplicaties te ontwikkelen. Netwerktechnologie staat voor de infrastructuur van hardware en software die nodig zijn om onder andere connectiviteit mogelijk te maken. Zowel web- als netwerktechnologie zijn cruciaal voor het functioneren van het internet. Web3 is een belangrijk verwant concept dat streeft naar decentraal/transparant internet en applicaties.	Wordt als belangrijke randvoorwaarde gezien voor het mogelijk maken van grootschalige doorontwikkeling en toepassing van AI en daaraan gekoppelde robotsystemen. Daarmee worden geïndustrialiseerde eindstaten mogelijk gemaakt.
Neuro-symbolische AI	Neuro-symbolische AI is een sub-categorie van hybride AI die op regels-gebaseerde AI (symbolisch) combineert met neurale netwerken. Het zegt dus iets over de methode van leren/redeneren.	Is een methode die valt onder machine learning en hybride AI.
Predictive maintenance	Predictive maintenance is een onderhoudsstrategie die gebruik maakt van onder andere sensoren en machine learning om storingen in systemen, producten of componenten te voorspellen om die te verhelpen voordat ze optreden.	Is onder andere een toepassing van IoT, maakt gebruik van AI en is gerelateerd aan Digital Twins.

Purpose-specific robots	Tegenover multi-purpose robots voor generieke doeleinden, zijn specialistische purpose-specific robots bestemd voor een enkel doeleinde. Toepassing is meestal beperkt tot een enkele taak en inzet in een enkele omgeving. Deze term zegt daarmee iets over het gebrek aan variatie of focus in taakstelling/doelstelling/inzetbaarheid.	Was/is nog steeds een snel ontwikkelende technologie, maar wordt met het oog op de toekomst (mede door razendsnelle ontwikkelingen in het AI-veld) min of meer overschaduwd door het concept multi-purpose robots. Ontwikkelingen op het gebied van specialistische robots die soms onder multi-purpose vallen, zijn als zodanig apart beschreven.
Quantum AI	Quantum AI is een beginnend deelgebied dat inzet op de combinatie van AI met quantum computing. Zo omzeilt het de beperkingen in rekenkracht van huidige computers en maakt het opschaling mogelijk, maar ook complexere bewerkingen en nieuwe leer/re-deneermodellen. Deze term zegt dus primair iets over de hardware dat rekenkracht benut, en de daaraan gekoppelde voordelen.	Kan zeer grote impact hebben, maar naar verwachting nog niet in 2030.
Service robots	Service-robots zijn alle robots die diensten verlenen aan de mens. Dit kunnen schoonmaak- of serveertaken zijn, maar ook gevaarlijke of onwenselijke taken. Service-robots variëren in mate van autonomie en samenwerking met de mens en hebben verschillende fysieke vormen. Deze term zegt daarmee primair iets over de aard van de taken die ze uitvoeren.	Wordt als brede term, die iets zegt over het type toepassing, opgenomen onder de kernontwikkeling multi-purpose robots.
Simulatietechniek	Simulatietechniek staat voor het (digitaal) modelleren van complexe fysieke/digitale processen en concepten voor ontwerp, voorspelling en training. Met deze techniek kunnen we het gedrag van en de interactie binnen een gemodelleerd systeem onder verschillende omstandigheden nabootsen voor optimalisatiedoeleinden (hypothetische 'wat als' scenario's). Simulatietechniek is nauw verwant met, maar niet hetzelfde als het begrip Digital Twins. Digital Twinning richt zich op het modelleren van een identieke, digitale kopie van fysieke systemen voor monitoring, voorspelling en aansturing van fysieke processen zoals onderhoud.	Wordt momenteel al breed toegepast. Simulatiefuncties zijn opgenomen in toepassingen van bijvoorbeeld hybride AI en generatieve AI, gebruikt voor het industrial metaverse en smart manufacturing.
Smart manufacturing	Smart manufacturing richt zich op het inzetten van diverse geavanceerde technologieën (zoals bijvoorbeeld additive manufacturing, AI, IoT en Robotisering) om fysieke productieprocessen te optimaliseren, automatiseren en wendbaar te maken. Deze term zegt dus iets over de manier waarop een verzameling technologieën is in te zetten om meer efficiëntie te bereiken.	Smart manufacturing is een concept waarin de 4e en eventueel 5e industriële revolutie in productieomgevingen doorlopen is en waar verschillende technologieën uiteindelijk samenkomen. Het heeft sterke overlap met flexible manufacturing en de productiestrategie mass-customization. Daarom nemen we smart manufacturing op in de kernontwikkeling flexible manufacturing/mass customization. Ontwikkelingen bij de onderliggende technologieën zijn opgenomen in de kernbegrippen AI en robotisering.



Symbolische AI	Symbolische AI bestaat uit AI-systemen die volledig draaien op basis van voorgeprogrammeerde logica in plaats van data-gedreven AI-benaderingen. Symbolische AI kan overweg met symbolen die de mens snapt en kan ook output geven in de vorm van symbolen (tekst, spraak, muziek, film, beeld). Non-symbolische AI is de data-gedreven tegenhanger van symbolische AI, dat gebruik maakt wordt van onder meer machine learning en deep learning. Beide termen zeggen dus iets over de manier waarop AI-systemen leren en redeneren.	Is "old school" AI en wordt in meer of mindere mate al zeer lang toegepast.
Zwerm robotica	Zwermrobots zijn gedistribueerde robotsystemen waarin individuele apparaten (bijvoorbeeld een enkele drone) samen ingezet worden voor bepaalde doeleinden. Deze term zegt daarmee primair iets over de mate van samenwerking tussen verschillende robotsystemen.	Opgenomen onder multi-pupose robots als overkoepelende term die iets zegt over het doel waarvoor zwermrobots ingezet worden.

9.7 Afkortingen en begrippenlijst

AMR: autonomous mobile robots

AR: augmented reality

CTO: configure to order

CSRD: Corporate Social Responsibility Directive; wetgeving in de EU die bedrijven verplicht om een duurzaamheidsrapportage uit te brengen

DT: Digital Twin

ETO: Engineer to Order

GPT: Generative Pre-training Transformer

IoT: Internet of Things: IoT; zie ook begrippenlijst

LidAR: Light Detection And Ranging of Laser Imaging Detection And Ranging is een technologie die de afstand tot een object of oppervlak bepaalt door het gebruik van laserpulsen.

LLM: large language models

NLP: natural language processing; om kunnen gaan met 'menselijke' taal

SaaS: Security / Scanning as a Service

SAR: search & rescue

TCO: total cost of ownership

VR: virtual reality

XR: extended reality



10. Bronnen

10.1 Geraadpleegde bronnen tekst en beeld

AIM-NET. (2023). Artificial Intelligence In Manufacturing, whitepaper <https://aim-net.eu/wp-content/uploads/2024/01/AIM-NET-Artificial-Intelligence-in-Manufacturing-white-paper.pdf>

Bakker, B., De Boer, M., Tolios, I., Bakker, R., Oosterman, D., Hoekstra, M., & Pelzer, L. (2021). AI-gedreven Innovatiemonitor (Pilot Provincie Zuid-Holland).

Bergshoef, L. (2024). De onderhoudsinspecteur bij de hoogspanningscentrale van Tennet is ... een robothond. NRC. <https://www.nrc.nl/nieuws/2024/06/13/de-onderhoudsinspecteur-bij-de-hoogspanningscentrale-van-tennet-iseen-robothond-a4856397>

BioTech Whisperer. (2023). Society with Robots in 2030 - A Futuristic Odyssey (5 Minutes) [Video]. YouTube. <https://www.youtube.com/watch?v=xBCmVRygDwc>

Boter, G. J. (2006). De harde hand van Epictetus. Vrije Universiteit Amsterdam. <https://research.vu.nl/ws/portalfiles/portal/1285521/201506121014.pdf>

BouwTotaal. (2024). Industriële bouw is een flinke puber. BouwTotaal - Platform Voor Heel Bouwend Nederland. <https://www.bouw totaal.nl/2024/03/industriële-bouw-is-een-flinke-puber/>

Bronzwaer, S. (2024). De chatbot lijkt nu bijna een mens: NRC.nl. <https://www.nrc.nl/nieuws/2024/05/15/de-chatbot-is-nu-bijna-een-mens-giechelend-zegt-de-vrouwenstem-o-dat-is-zo-lief-van-je-a4198942>

Bronzwaer, S. (2024) NRC.nl <https://www.nrc.nl/nieuws/2024/03/05/ai-neemt-taken-over-betalbedrijf-bird-ontslaat-20-procent-van-de-werknemers-a4192098>

Bronzwaer, S. (2024) NRC.nl. <https://www.nrc.nl/nieuws/2024/02/23/er-zijn-geen-metse-laars-dus-metselt-de-robot-maar-a4191072>

Chawla, K. (2023). An overview of relevant European legislation for MSMEs engaged in Data Sharing. TNO report. <https://publications.tno.nl/publication/34642480/qHLnSW/TNO-2024-R12799.pdf>

Chuanren, C. (2024). Singapore Army experiments with robot dog teaming at Exercise Forging Sabre. Shephard. <https://www.shephardmedia.com/news/training-simulation/singapore-army-tests-robot-dog-teaming-at-exercise-forging-sabre>

Courage, M., (2024). Smart Industry – Smart Manufacturing.

Creptie School. (2023). Innovations in Robotics: Latest Trends and Technologies. <https://www.linkedin.com/pulse/innovations-robotics-latest-trends-technologies-creptieschool/>

Digitale Overheid <https://www.digitaleoverheid.nl/nieuws/nederland-bouwt-eigen-opentaalmodel-gpt-nl/>



Dilmegani, C. (2024). When will singularity happen? 1700 expert opinions of AGI [2024]. AIMultiple. <https://research.aimultiple.com/artificial-general-intelligence-singularity-timing/>

ECPI, (z.d.). 7 Latest innovations in robotics. <https://www.ecpi.edu/blog/7-latest-innovations-in-robotics>

<https://uitspraken.rechtspraak.nl/details?id=ECLI:NL:RBAMS:2023:1242>

European Commission. (2022). Industry 5.0. Research And Innovation. <https://research-and-innovation.ec.europa.eu/research-area/industrial-research-and-innovation/industry-50/en#what-is-industry-50>

European Commission. (2023). Right to repair: Commission introduces new consumer rights for easy and attractive repairs. Press corner. https://ec.europa.eu/commission/presscorner/detail/en/ip_23_1794

European Parliament. (2023). Right to repair: Making repair easier and more appealing to consumers | News | European Parliament. <https://www.europarl.europa.eu/news/en/press-room/20240419IPR20590/right-to-repair-making-repair-easier-and-more-appealing-to-consumers>

Europese Raad. (2024) Artificiële Intelligentie, Activiteiten van de Raad op het gebied van AI. Europa.eu. <https://www.consilium.europa.eu/nl/policies/artificial-intelligence/#Council>

Farinha, J., Vesnic Alujevic, L., Alvarenga, A. and Polvora, A.. (2023). Everybody is looking into the Future! A literature review of reports on emerging technologies and disruptive innovation, Publications Office of the European Union, Luxembourg, 2023, doi:10.2760/144730, JRC134319.

Future Today Institute. (2023). Tech trends . 16th edition https://futuretodayinstitute.com/wp-content/uploads/2023/03/2023_TR_Executive_Summary.pdf

Future Today Institute. (2024).Tech Trends Report (17de editie). https://futuretodayinstitute.com/wp-content/uploads/2024/03/TR2024_Full-Report_FINAL_LINKED.pdf

Geurts, A., Rabbie, J., Hoekstra, M., Montalvo, C., Hopman, B., Cramer, S., Van Heesch, M. (2023). Supporting the development of collaboration strategies in the emerging quantum science and technologies domain. TNO report P11426, confidential

Goetz, M., Hewitt, A., Gualtieri, M., Iannopollo, E., & Valente, A. (2023). Predictions 2024: Artificial Intelligence: Transition From Hype To Pragmatism Doesn't Mean Boring AI. Forrester. In <https://www.forrester.com/report/predictions-2024-artificial-intelligence/>

Greenhouse, S. (2024, 29 februari). We must start preparing the US workforce for the effects of AI – now. The Guardian. <https://www.theguardian.com/commentisfree/2024/feb/29/ai-workers-layoffs-surveillance>

Haak, S. (2024). Mercedes will humanoide Roboter für die Arbeit am Fließband einsetzen. www.t-online.de. https://www.t-online.de/digital/aktuelles/id_100367600/mercedes-will-humanoide-roboter-fuer-die-arbeit-am-fliessband-einsetzen.html

Hambling, D. (2023). U.S. marines test robot dog armed with a rocket launcher. Forbes. <https://www.forbes.com/sites/davidhambling/2023/11/01/us-marines-test-robot-dog-armed-with-a-rocket-launcher/>

HDFM, Real Sound Fake Music. (z.d.). Volledig AI gegenereerd radiostation. <https://hdfm.nl>

Heyma, A., Van Kesteren, J., Bakens, J., Gerards, R., Klinker, I., Graus, E. (2022). Arbeidsmarkt-krapte technici, ontwikkelingen, verklaringen, handelingsperfectieven. SEO-rapport 2022-82 <https://www.seo.nl/publicaties/arbeidsmarkt-krapte-technici/>

Hoeffnagel, W. (2024). Nvidia en Aptronik bundelen kunstmatige intelligentie met humanoide robot - Maakindustrie Nieuws. <https://www.maakindustrie.nl/nieuws/>

Hoffmann, D. (2024). Gen Z und der Maschinenbau: Es geht um Wertschätzung. Produktion Online. <https://www.produktion.de/veranstaltungen/deutscher-maschinenbau-gipfel/genz-und-der-maschinenbau-es-geht-um-wertschaetzung-621.html>

IBM. (z.d.). What is Industry 4.0 and how does it work?). <https://www.ibm.com/topics/industry-4-0>

IEEE. (2023). Top Technology Trends for 2023. IEEE Innovation At Work. <https://innovationat-work.ieee.org/top-technology-trends-for-2023/>

ISSO, Connect. (2024). Innovatie Analyse Technieksector 2023. Rapport in opdracht van Wij-Techneik. <https://www.startmetconnect.nl/kennis-en-ontwikkelagenda>

Kasteleijn, N. (2023). Export van ASML-machines naar China per 1 september verder beperkt. NOS. <https://nos.nl/artikel/2480898-export-van-asml-machines-naar-china-per-1-september-verder-beperkt>

KIA-ST, (z.d.). Engineering and fabrication technologies. <https://www.kia-st.nl/kia-sleuteltechnologieen/sleuteltechnologieen-kets/engineering-and-fabrication-technologies>

Kock, R. (2022). Robotisering in de bouw: hoe ziet de toekomst eruit? bnr.nl. <https://www.bnr.nl/nieuws/technologie/10466572/robotisering-in-de-bouw-hoe-ziet-de-toekomst-eruit>

Kouwenhoven, E. (2018). Problemen Tesla Model 3 veroorzaakt door robots. DPG Media. <https://www.ad.nl/auto/problemen-tesla-model-3-veroorzaakt-door-robots~a42f42c9/>

Kraan, K., Dhondt, S., Houtman, I., Nelemans, R., & De Vroome, E. (2000). Handleiding NO-VA-WEBA : een vragenlijst om arbeidsorganisatorische knelpunten op te sporen : hernieuwde versie. <https://repository.tno.nl/SingleDoc?find=UID%20a69819dc-da24-4092-be58-88c31ff3b313>

Krause, F. (2023). Robotpak als oplossing voor zwaar fysiek werk. Artikel EW Installatietechniek september 2023. <https://www.ew-installatietechniek.nl/artikelen/robotpak-als-oplossing-voor-zwaar-fysiek-werk>

Lech, E. (2024). AI predictions: Top 26 AI trends for 2024. <https://www.pragmaticcoders.com/blog/ai-predictions-top-ai-trends>



Looze, M. de, Krause, F. (2019). Robotisering en Human Capital in het magazijn. Tijdschrift voor toegepaste logistiek 2019 nr. 7 <https://www.kennisdcllogistiek.nl/publicaties/robotisering-en-human-capital-in-het-magazijn>

Martijn, M. (2024). Raken we door kunstmatige intelligentie allemaal onze baan kwijt? De Correspondent. <https://decorrespondent.nl/15211/raken-we-door-kunstmatige-intelligentie-allemaal-onze-baan-kwijt/058fc7a1-bb82-08ba-3952-59c6d83e3d65>

McKinsey & Company. (2022). What are Industry 4.0, the Fourth Industrial Revolution, and 4IR? [www.mckinsey.com. https://www.mckinsey.com/featured-insights/mckinsey-explainers/what-are-industry-4-0-the-fourth-industrial-revolution-and-4ir](https://www.mckinsey.com/featured-insights/mckinsey-explainers/what-are-industry-4-0-the-fourth-industrial-revolution-and-4ir)

Microsoft (2024), AI-app WriteNow. <https://appsource.microsoft.com/en-us/product/office/wa200005257?tab=overview>

MIT Technology Review Insights (2023). The great acceleration: CIO perspectives on generative AI, How technology leaders are adopting emerging tools to deliver enterprise-wide AI. <https://www.technologyreview.com/2023/07/18/1076423/the-great-acceleration-cio-perspectives-on-generative-ai/>

Niks I, van Veen M., Generatieverschillen in werkgerelateerde behoeften, waarde van werk en mentale gezondheid (2024), TNO R10133. <https://monitorarbeid.tno.nl/wp-content/uploads/sites/16/2024/05/Generatieverschillen-in-werkgerelateerde-behoeften-waarde-van-werk-en-mentale-gezondheid.pdf>

NOS, Robothond oefent met leger. (2014, juli). Uitzending jeugdjournaal. <https://jeugdjournaal.nl/artikel/674825-robthond-oefent-met-leger>

NOS, Export van ASML-machines naar China per 1 september verder beperkt(2023, juni) <https://nos.nl/artikel/2480898-export-van-asml-machines-naar-china-per-1-september-verder-beperkt>

NRC (31-05-2024) Geopolitiek, zijn chips belangrijker dan olie ; maarten schinkel <https://www.nrc.nl/nieuws/2024/05/30/zijn-chipbedrijven-de-olieconcerns-van-de-21e-eeuw-a4200292>

Oeij et al., P.R.A. (2023). Conceptual framework of Industry 5.0 to study workforce skills (BRIDGES 5.0 deliverable D1.1/ version 2 – January 2024). Leiden: BRIDGES 5.0. <https://publications.tno.nl/publication/34641442/JTRzzR/oeij-2023-conceptualising.pdf>

Oeij, P., Pot, F., Van Den Bossche, S., & Vaas, F. (2024). Goed werk: Transitie naar goede banen leiden. Whitepaper Kwaliteit van werk . TNO <https://publications.tno.nl/publication/34642535/dbjW7K/oeij-2024-goed.pdf>

Poppel, D. van. (2022). Gen Z weet niet wat werk is, dat is niet haar schuld. Column in Intermediair. <https://www.intermediair.nl/werk-en-carriere/loopbaanontwikkeling/gen-z-weet-niet-wat-werken-is-maar-dat-is-niet-haar-schuld>

PriceWaterhouseCoopers. (2024). PwC maakt AI-assistent Microsoft Copilot beschikbaar voor medewerkers. Persbericht PwC. <https://www.pwc.nl/nl/perscentrum/pwc-maakt-ai-assistent-microsoft-copilot-beschikbaar-voor-medewerkers.html>

Rebelo, M. (2024, 20 maart). The 5 best AI email assistants in 2024. Zapier. <https://zapier.com/blog/best-ai-email-assistant/>

Reflect Robotics. (2023). Navigating the Next Decade: A Glimpse into the Future of Robotics (2030 and Beyond) Part 1. <https://www.linkedin.com/pulse/navigating-next-decade-glimpse-future-robotics-2030-beyond-6aqzf/>

Robothond Spot: Inspecteert veilig, snel en efficiënt. (z.d.). Antea Group. <https://anteagroup.nl/diensten/spot>

Ruijgrok, B. (2023, 7 november). Nederland bouwt eigen open taalmodel GPT-NL. Digitale Overheid. <https://www.digitaleoverheid.nl/nieuws/nederland-bouwt-eigen-open-taalmodel-gpt-nl/>

Schinkel, M. (2024). De vraag naar rekenkracht explodeert: zijn chips al belangrijker dan olie? NRC. <https://www.nrc.nl/nieuws/2024/05/30/zijn-chipbedrijven-de-olieconcerns-van-de-21e-eeuw-a4200292>

Schulze-Makuch, D. (2020). Reaching the Singularity May be Humanity's Greatest and Last Accomplishment. Smithsonian Magazine. <https://www.smithsonianmag.com/air-space-magazine/reaching-singularity-may-be-humanitys-greatest-and-last-accomplishment-180974528/>

Stolwijk, C., Punter, M., Timan, T., Berkers, F., Georgieva, I., Gilsing, R., ... & Joosten, R. (2024). Bridging the Dutch and European Digital Sovereignty gap. <https://publications.tno.nl/publication/34639349/urAkBu/TNO-2022-R10507.pdf>

Singer A, (2024). Copilot voor Microsoft 365; Ben jij klaar voor de nieuwe manier van werken. <https://www.maxxus.nl/nieuwsberichten/105-copilot-voor-ms365-ben-jij-klaar-voor-de-nieuwe-manier-van-werken>

Takyar, A. (2023). Hybrid AI: A comprehensive overview. LeewayHertz - Software Development Company. <https://www.leewayhertz.com/hybrid-ai/>

Tissink, A. (2021). Bouwdisruptor Kattera stevent af op faillissement. Cobouw. <https://www.cobouw.nl/296128/bouwdisruptor-kattera-stevent-af-op-faillissement>

TKI Bouw en Techniek. (2024). Artificiële intelligentie voor levensduurverlenging. Position paper. <https://tki-bouwentechiek.nl/artificiele-intelligentie-voor-levensduurverlenging-down-load/>

TNO/CBS. (2023). Nationale Enquête Arbeidsomstandigheden 2022 - Factsheet. <https://monitorarbeid.tno.nl/publicaties/nea-factsheet-2022/>

TNO / Rathenau Instituut. (2024). Eigen ritme of algoritme? – Een verkenning van algoritmisch management voorbij de platformeconomie. Auteurs: Djurre Das, Thijmen Zoomer, Liza van Dam, Linda Kool, Paul Preenen, Wouter van der Torre <https://monitorarbeid.tno.nl/publicaties/eigen-ritme-of-algoritme/>

Techniek Nederland. (2022). Connect 2025, Het belang van toekomstbehoudigheid voor Nederland en de Technieksector, Techniek Nederland, Wij Techniek, ISSO en TVVL <https://www.startmetconnect.nl/connect2025>



Techniek Nederland. (2022). Connect 2030, Het belang van toekomstbehendigheid voor Nederland en de Technieksector, Techniek Nederland, Wij Techniek, ISSO en TVVL <https://www.startmetconnect.nl/connect2030>

Techniek Nederland. (2020). Scenario 2040, blik op 2040 vanuit de technische sector, Techniek Nederland, Wij Techniek, ISSO en TVVL <https://www.startmetconnect.nl/scenario2040/>

Ullrich, A., Reißig, M., Niehoff, S., & Beier, G. (2023). Employee involvement and participation in digital transformation: a combined analysis of literature and practitioners' expertise. Journal of Organizational Change Management, 36(8), 29-48. <https://www.sciencedirect.com/org/science/article/pii/S0953481423001537>

Van Lanschot, Kempen. (2024). Generative artificial intelligence: boon, or threat? <https://www.investmentofficer.lu/fr/analyse/document/21327>

Van Poppel, D. (2022). Gen Z weet niet wat werken is, maar dat is niet haar schuld <https://www.intermediair.nl/werk-en-carriere/loopbaanontwikkeling/gen-z-weet-niet-wat-werken-is-maar-dat-is-niet-haar-schuld>

Van Veen, M., & Niks, I. (2024). Generatieverschillen in werkgerelateerde behoeften, waarde van werk en mentale gezondheid (TNO 2024 R10133). TNO. <https://monitorarbeid.tno.nl/publicaties/generatieverschillen-in-werkgerelateerde-behoeften-waarde-van-werk-en-mentale-gezondheid/#:~:text=Generaties%2C%20zoals%20%E2%80%9CBoomers%E2%80%9D%2C,aan%20verschillende%20aspecten%20van%20werk.>

Wat is Industry 4.0? | Definitie, technologieën en voordelen | SAP Insights. (z.d.). SAP. <https://www.sap.com/netherlands/products/scm/industry-4-0/what-is-industry-4-0.html>

Waxer, C., Eley, T., & Crepaldi, N. (2022). The emergent industrial metaverse. In T. Eley (Red.), MIT Technology Review Insights. https://wp.technologyreview.com/wp-content/uploads/2024/03/MITTR-Siemens_FNL_Addendum_Corner.pdf?utm_source=pdf&utm_medium=all_platforms&utm_campaign=insights_ebrief&utm_term=03.29.2024&utm_content=insights.report

Wikipedia contributors. (2024). Symbolic artificial intelligence. Wikipedia. https://en.wikipedia.org/wiki/Symbolic_artificial_intelligence

Wood, T. (2023). What is Hybrid AI? Everything you need to know. Fast Data Science. <https://fastdatascience.com/what-is-hybrid-ai-everything-you-need-to-know/>

World Economic Forum [WEF] & Accenture Research. (2024). Navigating the Industrial Metaverse: a blueprint for future innovations. World Economic Forum. <https://www.weforum.org/>.

World Economic Forum. (2023). Top 10 Emerging Technologies of 2023., Flagship report <https://www.weforum.org/publications/top-10-emerging-technologies-of-2023/>

10.2 Interviews experts

EXPERT	ORGANISATIE	THEMA
Steven Dhondt	TNO	Arbeid, Industrie 5.0
Thijmen van Bree	TNO	Sociaal economische impact technologie
Hans Stokking	TNO	AI en ICT
Anneke Goudswaard	TNO	Arbeid, Opleiding, Skills
Marc Schouten	TNO	Industrialisatie, Smart Industry, Industrie 5.0
Mark Courage	TNO	Industrialisatie, Smart Industry, Industrie 5.0
Irina Georgieva	TNO	AI ethiek en wet- en regelgeving
Jok Tang	TNO	AI & digitalisering gebouwde omgeving
Claire Stolwijk	TNO	Digitale Soevereiniteit & technologische ontwikkelingen
Freek Bomhof	TNO	Toegepaste AI
Niels Snoep	Rabobank	
Simone van de Burg	Waag Future Lab	
Bas Coenen/Pim van Loon	Van der Lande	

10.3 Leden begeleidingscommissie

Antwan van Dorst, Kemkens
 Auke van Ingen, Kropman
 Bart Molmans, Techniek Nederland
 Esmeralda Pondman, TVVL,
 Jacques van der Krogt, M2K Advies
 Jeroen Mackaij, SPIE
 Jeroen Pat, TBI
 Marijn Zaal, Wij Techniek
 Maurice Bakkers, Heijmans
 Peter van Gemert, Koninklijke Kuijpers
 Terry Heemskerk, Techniek Nederland
 Wessel Luijks, Synorga – 3SA

10.4 Auteurs

Frank Krause, TNO
 Joram Nauta, TNO
 Wouter van Groesen, TNO



Techniek verandert onze samenleving
In een razend tempo
AI
Robotisering
Industrialisatie

Slimme oplossingen
Nieuwe toepassingen
Innovaties helpen ons vooruit

Klimaat, natuur, energie, veiligheid, privacy, welvaart, welzijn
De uitdagingen zijn groot
We komen mensen tekort

De toekomst wacht niet

Waar gaan we naartoe?
Hoe bewaren we de menselijke maat?
We kijken vooruit
We hebben impact
Elke keuze die we maken, maakt verschil

Wat doe jij?