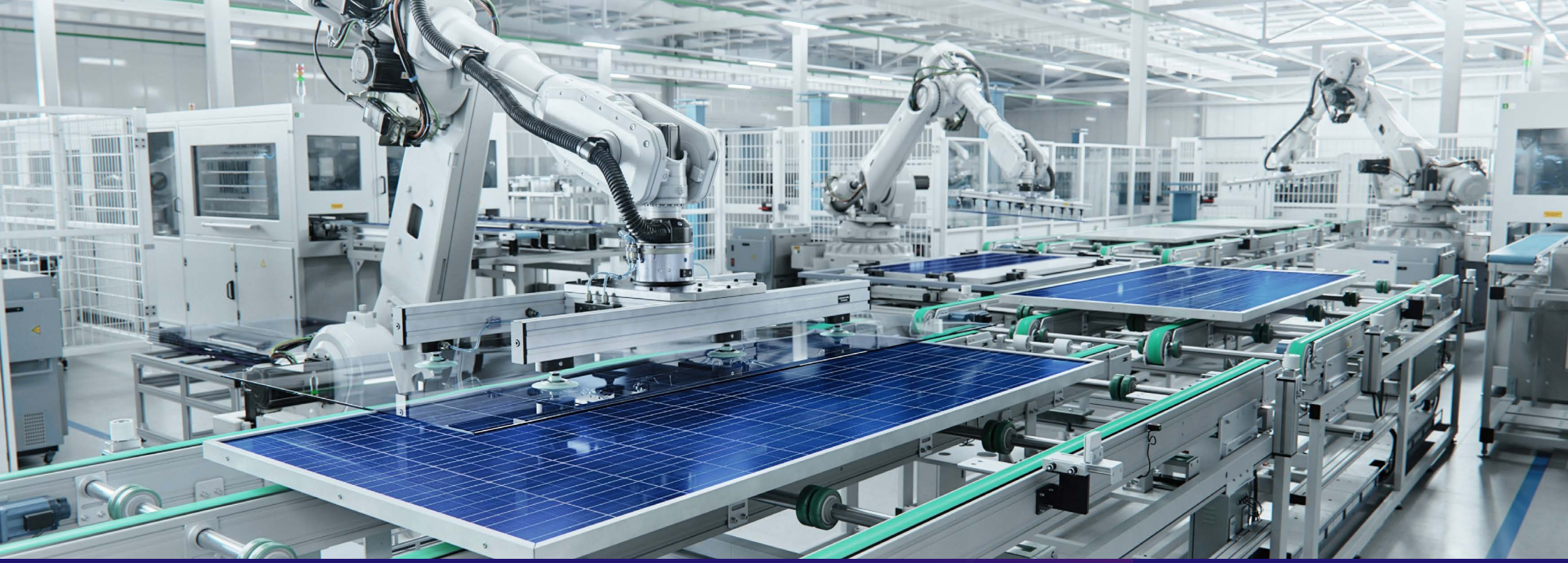


Rapport

Zonder Robotisering verdwijnt de Nederlandse Maakindustrie: Urgente actie is noodzakelijk

Auteurs
Tessa Bruijne, Corine Bonte & Claire Stolwijk

TNO 2026 R10389

april 2026

TNO vector
Centre for Societal Innovation and Strategy

Inhoudsopgave

Samenvatting 3

1. Inleiding 4
1.1 Belang en drivers van robotisering 4
1.2 Doelstelling en onderzoeksvragen 6
1.3 Onderzoeksmethoden 7
1.4 Doelgroep en leeswijzer 7

2. Robots voor de maakindustrie 8
2.1 Opbouw van de robot 8
2.2 Waardeketen van de robot 10
2.3 Type robots 14

3. Robotiseringsgraad, succesfactoren en barrières 23
3.1 Robotiseringsgraad van de maakindustrie 23
3.2 Succesfactoren 27
3.3 Barrières 32

4. Stimuleren van robotisering 38
4.1 Technologische oplossingen 38
4.2 Organisatorische maatregelen 39
4.3 Beleid en investeringen 40

5. Samenvattende conclusie 44

Samenvatting

De maakindustrie is belangrijk voor het verdienvermogen van Nederland (het omvat 7,2% van het BBP[1]) en is van belang om de maatschappelijk transities en kosten voor onze veiligheid te kunnen betalen, maar staat onder druk door vergrijzing, personeelstekorten en hoge loonkosten. De productiviteit in Nederland groeit de laatste jaren steeds langzamer. Dat betekent dat de productiviteit van de industrie met 50% verhoogd moet worden door verregaande automatisering en robotisering.[2] De robotiseringsgraad van de Nederlandse maakindustrie blijft achter bij koplopers als Zuid-Korea, China en Duitsland (met ruim 400 tot 1000 robots per 10.000 werknemers). Nederland staat wereldwijd op de twaalfde plek qua robotdichtheid (met 264 robots per 10.000 werknemers).[3] De daadwerkelijke inzet van robots in de Nederlandse maakindustrie is dan ook relatief laag.

Als er niet geïnvesteerd wordt in robotisering voor de maakindustrie dan ontstaan **op korte termijn (≤ 2 jaar)** knelpunten door arbeidskrapte, zoals stijgende kosten en inefficiënte productie.[4] **Op middellange termijn (≤ 5 jaar)** groeit de concurrentieachterstand door verouderde productielijnen en het mislopen van productiviteitswinst.[5] **Op lange termijn (≤ 10 jaar)** dreigt structurele afbraak: bedrijven kunnen niet meer concurreren met internationale spelers, wat kan leiden tot fabrieksluitingen, banenverlies en afhankelijkheid van buitenlandse leveranciers.[6] Bij een flinke investering in robotisering stijgt de productiviteit mede doordat robots langer inzetbaar zijn dan een werkdag van 8 uur. Tevens verbetert de kwaliteit van de productie door minder menselijke fouten, dat resulteert in lagere kosten. Moderne robots zijn bovendien steeds intelligenter door de inzet van AI en kunnen zich beter aanpassen aan veranderende omstandigheden, waardoor de flexibiliteit toeneemt. Daarnaast kunnen robots met behulp van AI sneller en eenvoudiger geprogrammeerd worden.

Een effectieve versnelling van robotisering in de Nederlandse maakindustrie vraagt om een nationale robotiseringsagenda met duidelijke lange termijn doelen, gecoördineerd door een centrale taskforce, die de uitvoering en voortgang bewaakt. Essentieel hierbij zijn landelijke communicatie en bewustwording, inclusief inzicht in het rendement op investeringen/de (Return on Investment (ROI)) en praktische sectorgerichte handreikingen. Standaardisatie en open-source oplossingen moeten actief worden gestimuleerd om interoperabiliteit te vergroten en fragmentatie te voorkomen. Tegelijkertijd moet het Nederlandse ecosysteem worden versterkt door gerichte investeringen in strategische niches en door het bundelen van de vraag naar robotica-implementaties, zodat schaal ontstaat die system integrators aantrekt. Een sterke koppeling met onderwijs en arbeidsmarkt is nodig om een toekomstbestendige talentbasis te borgen via doorlopende leerlijnen en verplichte robotica-competenties. Daarnaast moet Nederland zich internationaal profileren als proeftuin voor high-mix-low-volume robotisering en Europese samenwerking intensiveren. Tot slot is versnelling bij het mkb cruciaal, via sector brede samenwerking, laagdrempelige fieldlabs en vouchers, en flexibele financieringsvormen zoals Robotics-as-a-Service om adoptie toegankelijker te maken.

1 De industriesector in feiten en cijfers: https://www.rabobank.nl/kennis/d011505033-de-industriesector-in-feiten-en-cijfers
2 Productiviteitsverbetering bepaalt de toekomst van de maakindustrie (2025): https://www.rabobank.nl/kennis/d011499170-productiviteitsverbetering-bepaalt-de-toekomst-van-de-maakindustrie
3 Robotisering - ING
4 Op basis van expert input
5 Ibid
6 Ibid

1. Inleiding

1.1 Belang en drivers van robotisering

Hoewel de concurrentiepositie van de Nederlandse maakindustrie nu nog relatief goed is, staat deze onder toenemende druk door de vergrijzing, tekort aan technisch personeel en relatief hoge loonkosten.[7,8] Het is sinds 2016 de snelst groeiende sub sector van de Nederlandse industrie[9] en is daarom een belangrijke sector voor ons land. In 2023 vertegenwoordigt de Nederlandse industrie ruim 12,2% van het bruto binnenlands product (BBP)[10] , waarvan 7,2% voor de maakindustrie.[11] Inclusief gerelateerde diensten vertegenwoordigt de industrie naar schatting 20% van het BBP.[12] Daarmee is de (maak)industrie een grote 'sector' tussen alle dienstensectoren in de Nederlandse economie.[13] Het is daarom belangrijk om deze industrie overeind te houden en internationaal concurrerend te blijven. Het optimaliseren van processen, verkorten van doorlooptijden en het verhogen van productiviteit is daarbij essentieel. De Nederlandse industrie kenmerkt zich door een hoge kapitaalintensiteit, waarmee een hoge productiviteit per werkzaam persoon per gewerkt uur wordt behaald.[14] Echter, de productiviteit in Nederland groeit de laatste jaren steeds langzamer.[15]

Box 1a:
De relatie tussen robotisering en productiviteit is lastig in cijfers uit te drukken

Dat robots bijdragen bij aan de verhoging van de productiviteit is evident. Hoeveel ze bijdragen hebben diverse onderzoekers getracht te kwantificeren. Er is bijvoorbeeld een Amerikaans onderzoek uit 2020, dat concludeert dat 1% toename in de robotiseringsgraad bijdraagt aan 0.5% productiviteitsstijging.[16] Het onderzoek toont daarbij aan dat dit een relatieve maat is. Want sectoren zoals de bouwsector, die langzamer zijn in robot adoptie hadden in dit onderzoek een hogere productiviteitstijging.
Uit dit onderzoek en vergelijkbare onderzoeken blijkt dat men zeer voorzichtig moet zijn met dergelijke cijfers omdat de mate waarin robots bijdragen aan de productiviteit lastig te kwantificeren is, doordat:

- Robotdata moeilijk uniform te meten is.
- Productiviteit wordt door een veelheid aan factoren bepaald.
- Sub sector en bedrijfsverschillen zijn enorm.
- Tijdvertraging en parallelle innovaties maskeren het causale verband.
- Robots veroorzaken zowel directe als indirecte economische effecten.
- Robots zijn onderdeel van een bredere systeemoplossing.

Daardoor is het statistisch zeer lastig om de robotcomponent exact te isoleren in kwantitatieve analyses om hierover generieke uitspraken te doen. Het is wel mogelijk om een case by case analyse uit te voeren en daar geeft dit rapport diverse voorbeelden van – zie de boxen 3-5.

7 Robotisering en automatisering in de Nederlandse Industrie: https://www.rabobank.nl/bedrijven/groei/ondernemers/grootzakelijk/specialisten/robotisering
8 Robotisering in het MKB: van Pilot naar Praktijk, Smart Industry: https://smartindustry.nl/hubfs/Smart%20Industry%20-%20whitepaper%20robotisering-1.pdf
9 Yagafarova et al., (2024), Smart Industry Impact: looking back and forward: https://www.tno.nl/publish/pages/10643/tno_whitepaper_smart_industry_impact_1_1.pdf
10 Bree van et al., (2023), R&D bepalend voor toekomst van Nederlandse maakindustrie, TNO, https://publications.tno.nl/publication/34641486/ZfmLcu/bree-2023-toekomst.pdf
11 De industriesector in feiten en cijfers: https://www.rabobank.nl/kennis/d011505033-de-industriesector-in-feiten-en-cijfers
12 TNO Rapport: De waarde van de Nederlandse maakindustrie: https://linkmagazine.nl/tno-rapport-de-waarde-van-de-nederlandse-maakindustrie/?v=1a13105b7e4e#:~:text=Uit%20onze%20whitepaper%20wordt%20duidelijk%20dat%20de,naar%20schatting%2020%25%20van%20onze%20economie%20afkomstig
13 Bree van et al., (2023), R&D bepalend voor toekomst van Nederlandse maakindustrie, TNO, https://publications.tno.nl/publication/34641486/ZfmLcu/bree-2023-toekomst.pdf
14 Ibid
15 Yagafarova et al., (2024), Smart Industry Impact: looking back and forward: https://www.tno.nl/publish/pages/10643/tno_whitepaper_smart_industry_impact_1_1.pdf
16 Robots and the Economy (2020): https://www.trade.gov/sites/default/files/2022-08/SelectUSAAutomationReport2020.pdf

Robotisering is een van de cruciale stappen om de productiviteit de komende 10 jaar met 50% te verhogen.[17] (Zie Box 1a voor een nadere toelichting over de kwantificering van de relatie tussen robotisering en productiviteit).

Om te voorkomen dat de Nederlandse maakindustrie dezelfde afbraak ervaart als delen van de procesindustrie, is versneld investeren in robotisering noodzakelijk[18, 19:]

- Zonder tijdige robotisering loopt de Nederlandse maakindustrie grote risico's. **Op korte termijn (≤ 2 jaar)** ontstaan problemen door arbeidskrapte, hogere werkdruk en loonkosten. Productieprocessen blijven inefficiënt, wat leidt tot langere levertijden en hogere fout- en faalkosten.
- **Op middellange termijn (≤ 5 jaar)** groeit de concurrentieachterstand. Productielijnen verouderen, bedrijven missen belangrijke productiviteitsgroei en machines lopen risico stil te vallen doordat software en onderdelen verouderen.
- **Op lange termijn (≤ 10 jaar)** dreigt structurele achteruitgang van de Nederlandse maakindustrie. Nietgeautomatiseerde bedrijven verliezen het van internationale concurrenten, die door robotisering goedkoper en sneller produceren. Dit kan leiden tot fabrieksluitingen, banenverlies en afhankelijkheid van buitenlandse leveranciers.

Voor een samenvatting van de drivers om in robotica te investeren voor de maakindustrie zie Box 1b.

Box 1 b:
Drivers voor robotica-investeringen
De urgentie voor robotica-investeringen wordt bepaald door vier drivers[20]:

1. **Personeelstekorten en vergrijzing:** Arbeidskrapte neemt toe in de productie. Robotica kan repeterende taken overnemen, zodat mensen zich op complexer werk kunnen richten.
2. **Concurrentiekracht en productiviteit:** Automatisering is cruciaal voor het verhogen van productiviteit. Door te investeren in robotica blijft Nederland concurrerend, ondanks de hoge lonen.
3. **Technologische afhankelijkheid:** de VS en Azië domineren in robotica en AI. Door slimme inzet en ontwikkeling kan Nederland zijn strategische positie behouden en versterken.
4. **Wetgeving en maatschappelijke verantwoordelijkheid:** Nieuwe wetgeving stimuleert technologie die werk minder belastend maakt voor de medewerker. Robotica draagt bij aan veiligere, inclusieve werkplekken.

17 Productiviteitsverbetering bepaalt de toekomst van de maakindustrie (2025): https://www.rabobank.nl/kennis/d011499170-productiviteitsverbetering-bepaalt-de-toekomst-van-de-maakindustrie
18 Op basis van expert input.
19 ARTIFICIAL INTELLIGENCE, ROBOTISERING EN INDUSTRIALISATIE: de techniekssector in 2030: https://publications.tno.nl/publication/34643620/0uDYVpkI/krause-2024-artificial.pdf
20 Mechatronica en Optomechatronica (2025): mechatronics-and-optomechatronics-actieagenda-kia-st-web.pdf

Voor de geschiedenis van robotisering zie Box 2.

Box 2
Geschiedenis van robotisering

Om de toegevoegde waarde van robotisering helder te maken gaan wij terug in de tijd[21]: Het begrip robot stamt uit 1920 uit een toneelstuk van de Tsjechische schrijver Karel Čapek. De Amerikaanse ingenieurs Devol en Engelberger ontwikkelden de allereerste robot ter wereld, de Unimate #001. In 1959 werd het eerste prototype bij General Motors (GM) geïnstalleerd. In 1961 was de Unimate een vast onderdeel van de montagelijn. De opgave van deze robot was het lassen van gietdelen voor de carrosserie.

In de jaren 70 werden robotsystemen ingevoerd, met name in de auto productie. Dat was mogelijk omdat de constructies van de robots beweeglijker werden zodat ze verschillende taken flexibel konden uitvoeren. Daarbij golden twee voorwaarden: enerzijds de constructieve mogelijkheden van grotere vrijheidsgraden en een geschikte aandrijftechniek, anderzijds het programmeringspotentieel aan de IT-kant. In 1973 bracht het Duitse Kuka de eerste robot met zes assen en elektromechanische aandrijving op de markt. Tot op heden is dit de norm bij de constructie van robots. Het tweede vernieuwende element was de computerondersteunde programmering. In 1974 ontwikkelde het Zweedse Asea (tegenwoordig ABB) een robotarm met vijf assen, die voor het eerst werd geprogrammeerd via een Intel-microcontroller.

De nieuwste generatie robots dateert uit het eerste decennium van de jaren ’20 van deze eeuw, waarin co-bots een belangrijke rol spelen. Co-bots zijn robots die samenwerken. Zij zijn niet langer omgeven door veiligheidshekken, maar werken rechtstreeks samen met de mens. Anders dan industriële robots die op één taak zijn berekend, zijn co-bots echte allrounders die fungeren als versterking en verlengstukken voor de menselijke arbeid. Ook voor de werknemers heeft een ondersteuning door co-bots van de productie voordelen te bieden, omdat het werk minder eentonig wordt en dus veiliger en minder bevattelijk voor fouten. Momenteel nemen robots, computers en intelligente machines steeds meer werktijd voor hun rekening.

21 Een korte geschiedenis van Robotica: https://www.havenentransport.nl/een-korte-geschiedenis-van-de-robotica/

1.2 Doelstelling en onderzoeksvragen

Robots dragen bij aan de concurrentiekracht op de volgende wijze:[22]

- **Verhoogde productiviteit:** Robots voeren repeterende taken sneller en preciezer uit en kunnen dit langer volhouden, wat leidt tot een hogere productiecapaciteit en output.
- **Verbeterde kwaliteit:** Robotisering in combinatie met automatisering vermindert menselijke fouten en variaties, waardoor producten consistent en van hoge kwaliteit zijn.
- **Kostenbesparing:** Hoewel de initiële investering in robotica aanzienlijk kan zijn, leiden lagere arbeidskosten en efficiënter gebruik van middelen tot kosten besparingen op de lange termijn.
- **Flexibiliteit en aanpasbaarheid:** Moderne robots zijn eenvoudig te programmeren met behulp van taal en video modellen.

22 Robotisering en automatisering in de Nederlandse Industrie: https://www.rabobank.nl/bedrijven/groei/ondernemers/grootzakelijk/specialisten/robotisering

Dit roept wel de vraag op hoe hoog is de huidige robotiseringsgraad van de Nederlandse maakindustrie? En hoe verhoudt zich deze t.o.v. andere landen? Is dat voldoende en zo nee hoe kan die verhoogd worden? Doel van dit onderzoek is om inzicht te bieden in de robotiseringsgraad van de Nederlandse maakindustrie en vast te stellen wat nodig is om deze robotiseringsgraad substantieel te versterken om de concurrentiekracht van deze sector te waarborgen.

Om deze doelstelling te bereiken worden de volgende onderzoeksvragen beantwoord:

1. Welke robot categorieën zijn er binnen de maakindustrie?
2. Wat is de robotiseringsgraad van de maakindustrie?
3. Wat zijn de succesfactoren en barrières, die robotisering in de maakindustrie respectievelijk kunnen versnellen en vertragen?
4. Welke aanbevelingen kunnen er worden gedaan om de robotiseringsgraad van de maakindustrie te verhogen?

1.3 Onderzoeksmethoden

Voor dit onderzoek is gebruik gemaakt van een combinatie van *desk research en interviews* met experts uit de Nederlandse maakindustrie. Het desk research bestond uit een analyse van recente wetenschappelijke literatuur, marktstudies, branchepublicaties en relevante beleidsdocumenten over robotisering en automatisering. Daarnaast zijn statistieken en rapporten van onder andere het CBS, IFR en TNO geraadpleegd, om trends en cijfers rondom robotdichtheid en adoptie in kaart te brengen.

Ter verdieping van de praktijkinzichten zijn ruim tien *semigestructureerde interviews* gehouden met experts uit verschillende delen van het ecosysteem: maakbedrijven, robotica-leveranciers en kennisinstellingen. De interviews richtten zich op succesfactoren, barrières en toekomstperspectieven van robotisering in de Nederlandse maakindustrie.

1.4 Doelgroep en leeswijzer

Doelgroepen

Dit rapport is gericht op vier doelgroepen:

1. De maakbedrijven als gebruiker van robotica.
2. De robotica sector als leverancier van robotica inclusief system integrators/ solution providers.
3. Kennisinstellingen, die werken aan innovatie rondom robotisering.
4. Beleidsmakers, die betrokken zijn bij het opstellen van beleid dat bijdraagt aan de stimulering van robotisering.

Leeswijzer

Dit rapport is als volgt opgebouwd:

- In hoofdstuk 2 wordt een overzicht gegeven van de opbouw van de robot, de waardeketen van de robot en het type robots voor de maakindustrie.
- In hoofdstuk 3 wordt ingegaan op de robotiseringsgraad van de maakindustrie, de succesfactoren die robotisering versnellen en de barrières die robotisering belemmeren.
- In hoofdstuk 4 worden aanbevelingen gedaan om de robotiseringraad van de maakindustrie te verhogen.
- In hoofdstuk 5 wordt afgesloten met een samenvattende conclusie.

2. Robots voor de maakindustrie

Dit hoofdstuk gaat in op robots voor de maakindustrie. Paragraaf 2.1 beschrijft uit welke componenten robots zijn opgebouwd; dat is bepalend voor wat ze kunnen. Paragraaf 2.2 gaat in op de waardeketen en de producenten en leveranciers van robots en robotsoplossingen. Paragraaf 2.3 beschrijft het type robots voor de maakindustrie.

2.1 Opbouw van de robot

Een robot is een machine die (her)geprogrammeerd kan worden op het uitvoeren van een enkele taak, of geprogrammeerd kan worden op het uitvoeren van meerdere taken achter elkaar. Tevens kan de robot op verschillende locaties werken en kunnen robots taken uitvoeren, die dicht bij de bekwaamheden van de mens liggen.[23]

Robotiseren is een vorm van automatisering, maar niet elke automatisering gebruikt robots. Bij automatiseren gaat het om procesverandering zodat processen zonder menselijke tussenkomst kunnen verlopen, zowel fysiek als digitaal. Voor het gebruik van robots is digitaliseren een minimale vereiste. Bij digitaliseren worden informatie en processen omgezet naar een digitale vorm.

Robots werken op basis van vier bouwstenen[24]:

1. **Sensoren:** fungeren als zintuigen van een robot;
2. **Controllers:** verwerken sensorinformatie en voeren beslislogica uit voor aansturing;
3. **Mechanische deel:** betreft de constructie van de bewegende delen met scharnieren en dergelijke;
4. **Actuatoren:** voeren fysieke acties van de robot uit;
5. **Software:** vormen de onderliggende instructies, logica en data ten behoeve van robotaansturing.

Robots zijn opgebouwd uit deze bouwstenen, maar zijn zelf ook onderdeel van robotiseringsoplossingen. Robots worden in het productieproces geïntegreerd, waar aanvullende sensoren, control functionaliteit en/of software wordt ingezet. Bij zowel de opbouw van een robot en robotiseringsoplossingen is de integratie van AI steeds belangrijker. Binnen de robot onderdelen is dit vaak te zien bij de controller en software bouwstenen. Als het een robotiseringsoplossing betreft, is AI vaak terug te zien bij de integratie van verschillende systemen, het verwerken van data en het faciliteren van samenwerking tussen verschillende robots.

AI-algoritmes zoals *deep learning* en *reinforcement learning* worden gebruikt om sensorinput te interpreteren en beslissingen te nemen. In het software gedeelte maakt AI het mogelijk om instructies (zoals “pak de rode beker”) om te zetten in concrete acties doormiddel van:

- Vision-Language-Action-modellen (VLA’s) voor het integreren van perceptie, taalbegrip en actieplanning in één AI-framework.
- Machine learning die zorgt voor generaliseerbaarheid: robots kunnen nieuwe taken leren zonder volledig opnieuw geprogrammeerd te hoeven worden.

Dankzij AI kunnen robots zelfstandig waarnemen, leren, beslissingen nemen en zich aanpassen aan veranderende omstandigheden. De voordelen van zelflerende systemen zijn dat robots zich steeds beter kunnen aanpassen aan veranderende omstandigheden, dus bijvoorbeeld een andere route kiezen als er iets in de weg staat, zonder dat ze tot stilstand komen. Er is dan minder menselijke tussenkomst nodig, dat de efficiëntie en doorstroom van processen vergroot. Ook kunnen robots leren van hun ervaringen en zichzelf corrigeren als er een fout is gemaakt. Daarnaast kunnen ze dankzij AI waarnemen en de omgeving begrijpen, waardoor ze beter in staat zijn om veilig samen te werken met mensen in complexere omgevingen. Robots zijn de laatste jaren sterk vooruitgegaan dankzij AI.

23 Interview.

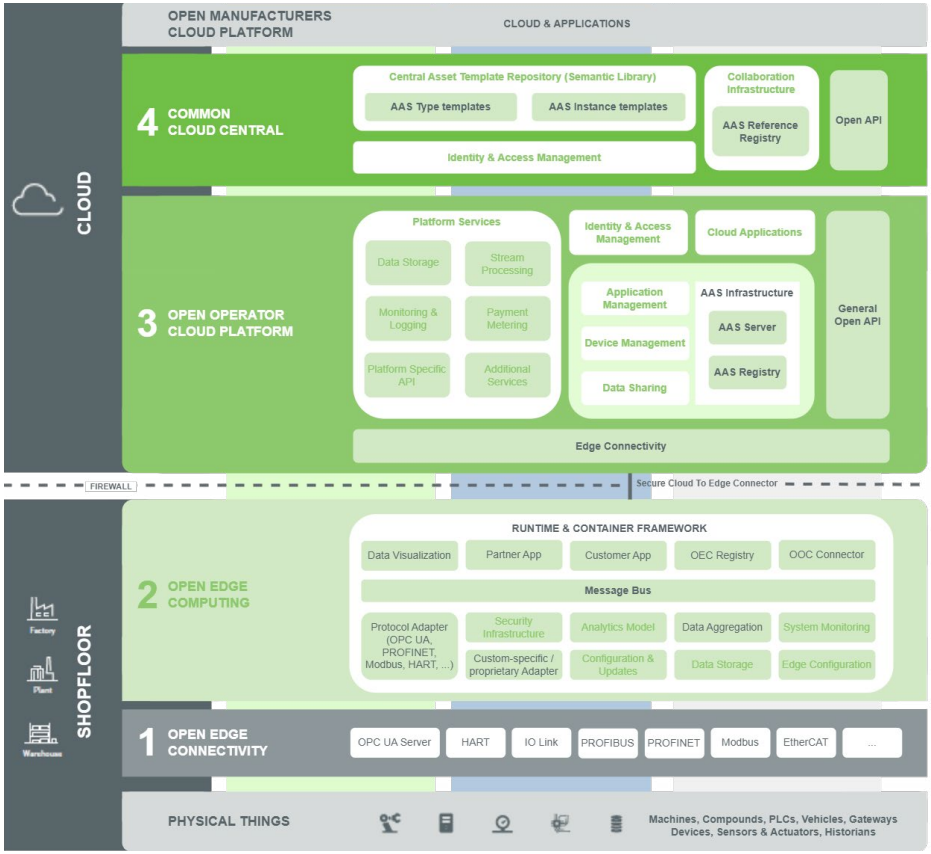
24 How do robots work? A breakdown of sensors, controllers, actuators and software: https://roboticsandautomationnews.com/2025/07/01/how-do-robots-work-sensors-controllers-actuators-and-software-explained/92782/

De inzet van AI vraagt niet altijd om grote hoeveelheden dataverwerking, maar wel een sterke visie en strategie gericht op digitalisering. Met aandacht voor netwerk technologie, cloud en edge. Zie hiervoor bijvoorbeeld de digitaliseringsstrategie van Open industry 4.0 voor open, vendoronafhankelijke, schaalbare en interoperabele digitalisering, met edge computing als kern, gestandaardiseerde datamodellen (AAS/MAM) en open communicatiestandaarden (zie Figuur 2.1 voor de Open Industry 4.0 architectuur).[25]

Daarnaast is er het concept “lazy robots”. Dit betreft een ontwikkeling waarbij systeemdenken wordt toegepast als alternatief voor datagedreven kunstmatige intelligentie. Dit zijn robots die intelligenter worden door minder te doen. Deze robots doen alleen dat wat echt nodig is, waardoor ze sneller, efficiënter en zuiniger worden.

Een op data-gebaseerd AI-model is in de praktijk soms lastig te voorzien van alle mogelijke situaties omdat sprake is van veel variatie en onzekerheid. Daartoe wordt bij “lazy robots” relevante kennis toegevoegd zodat kan worden vastgesteld welke informatie (sensor-input) écht nodig is, en wanneer sensoren, controllers, actuatoren en software echt aan het werk moeten.[26]

Figuur 2.1 Architectuur Open Industry 4.0[27]



25 OEC_Development_Guideline_V1.1.1.pdf

26 Interview

27 OEC_Development_Guideline_V1.1.1.pdf

2.2 Waardeketen van de robot

Moderne robots zijn complexe gedistribueerde systemen, waarin verschillende individuele componenten naadloos moeten samenwerken.[28] Mede op basis van deze componenten kan de waardeketen onderverdeeld worden in vier categorieën aanbieders van:

1. **Hardware componenten:** Deze componenten bestaan uit mechanische precisie onderdelen zoals motoren, actuatoren en sensoren en halfgeleiders zoals AI, communicatie en ingebedde chips.
2. **Software componenten:** Deze componenten zijn gericht op de intelligentie van de robot. Zoals machine vision, machine learning bedieningssoftware etc.
3. **Robot productie:** Voor de productie van complete robots wordt een onderscheid gemaakt tussen industriële robots zoals cobots en gekooide robots en services robots zoals logistieke robots en inspectie- en onderhoudsrobots.
4. **Robot-as-a-service:** Met de ontwikkeling van Robotics-as-a-Service (RaaS) kunnen robots ingehuurd worden door bedrijven, die niet de middelen hebben om robots aan te schaffen en te implementeren, of eerst willen onderzoeken of een robotoplossing voor hun organisatie werkt.[29] Daarnaast zijn er diverse test en experimenteerfaciliteiten en fieldlabs zoals SamXL, Robohouse, BredaRobotics en het AWL fieldlab. Deze faciliteiten en fieldlabs bieden bedrijven de mogelijkheid om robotica oplossingen te testen en op basis daarvan de business case te maken zodat robots aangeschaft kunnen worden met de juiste specificatie, die passend binnen de business case.

De producenten van robotcomponenten (de hardware en -software) en de producenten van complete robotiseringsoplossingen (de categorieën 1-3) vormen het hart van de waardeketen.

De eerste drie categorieën zijn bovendien onderdeel van het robot innovatie eco systeem: Verschillende partijen zijn actief op het gebied van innovatie, waardoor het ecosysteem rondom robotontwikkeling breder kan worden getrokken. Op het gebied van innovatie van robotisering zijn in totaal vier groepen te onderscheiden:[30]

1. **Robot ontwikkelaars:** bedrijven, universiteiten (faculteiten of afdelingen) en onderzoeksinstituten waarvan onderzoek en (experimentele) ontwikkeling van robots de hoofdactiviteit is. Ontwikkeling gebeurt wel, maar op kleine schaal.
2. **Robot producenten:** bedrijven waarvan het bouwen van robots de hoofdactiviteit is, waardoor de schaal van ontwikkeling vaak ook hoger ligt. Deze bedrijven hebben meestal ook een eigen onderzoeksfaciliteiten.
3. **Intermediaire bedrijven of instituten:** bedrijven of instituten met specialistische en unieke kennis over het installeren en toepassen van robots in de relevante context. De organisaties uit deze categorie zijn de schakel tussen de producenten (zie 2) en gebruikers (zie 4).
4. **Maakbedrijven (eindgebruikers van robotica):** bedrijven die robots aanschaffen, installeren en inzetten in verschillende (fabricage) processen. Deze bedrijven hebben ook faciliteiten voor robot ontwikkeling, bijvoorbeeld voor het aanpassen van robots op een specifieke context.

Partijen betrokken het robot innovatie ecosysteem moeten componenten meestal inkopen, waardoor een duidelijke connectie bestaat tussen de producenten van onderdelen en de producent van complete robots. Het kan voorkomen dat ingekochte of bestaande onderdelen aangepast of toch zelf ontwikkeld worden door de vier genoemde groepen, vanwege een innovatief ontwerp waar nog geen standaard onderdelen voor bestaan.

Experts geven aan dat er één categorie beperkt aanwezig is in de waardeketen en dat zijn de system integrators/solution providers. Dit zijn de partijen die helpen om de robots te implementeren in het bredere productieproces om te komen tot een geïntegreerde systeemoplossing, die past bij de desbetreffende eindgebruiker.

28 Middleware for Robotics: A Survey: https://ieeexplore.ieee.org/stamp/stamp.jsp?arnumber=4681485&tag=1&tag=1

29 Robots As A Service (RaaS) | Deloitte Netherlands

30 Full article: Robotisation race in Europe: the robotisation chain approach

Bovendien richten deze system integrators/ solution providers zich meestal op een eenmalige implementatie terwijl er ook een rol voor hen weggelegd is voor onderhoud en nazorg.[31]

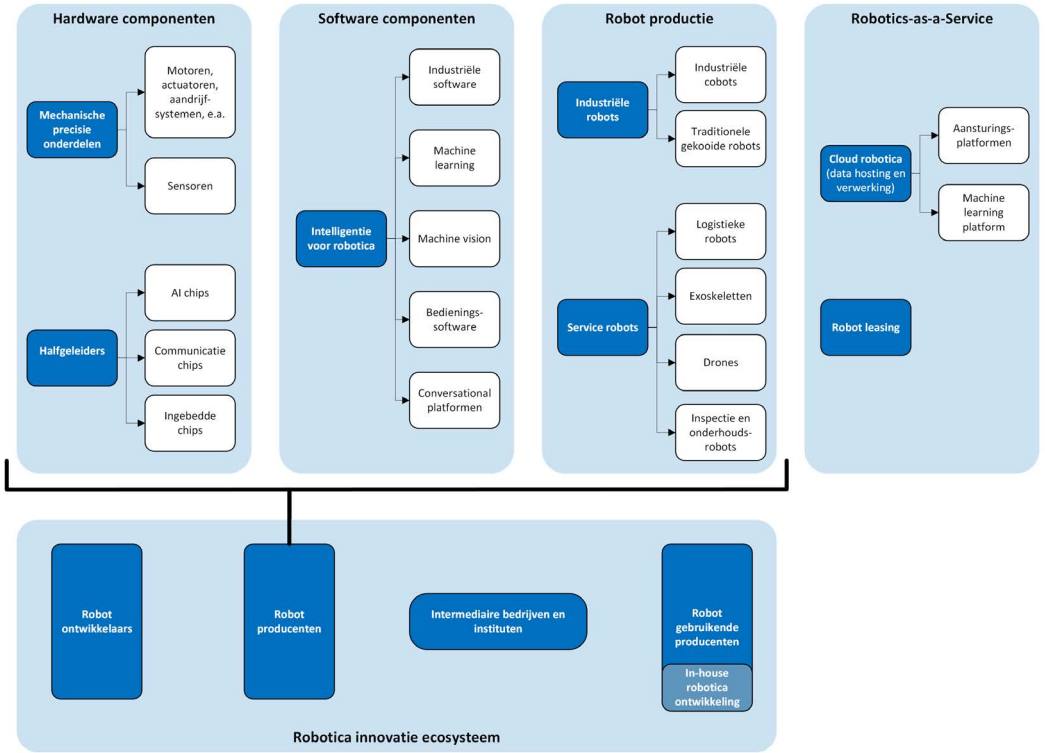
Zie Box 3 voor een casus waar succesvol is samengewerkt met een systemintegrator.

Zie overzicht Figuur 2.2 voor de opbouw van de waardeketen.

Box 3 Casus: Fluidics Instruments[32]
Fluidics Instruments uit Eindhoven is gespecialiseerd in de ontwikkeling en productie van spuitmonden, brander-lansen en gerelateerde vloeistof technische componenten. Toen de eigenaar van Fluidics Instruments enkele jaren geleden door de fabriek in Eindhoven liep, zag hij hetzelfde wat veel maakbedrijven zien: hoog variabele vraag, kleine series, en te weinig technisch personeel om ieder uur uit de machines te halen. Uitbesteden zou geen kwaliteitssprong opleveren. De lat moest dus hoger gelegd worden, maar dan in eigen huis. De enige oplossing daarvoor was robotisering.

Samen met systeemintegrator Gibas Automation werden 7 UR3cobots in één assemblagestation geplaatst. Hun taak was om acht minuscule onderdelen van een oliesproeier volautomatisch samen te stellen, met een lijnsnelheid van 1.000 spuitmonden per uur. Voor het zwaardere werk kwamen mobiele werkstations met UR5 en UR10cobots, die verplaatsbaar zijn tussen machine-belading, pickandplace en andere taken, zodat de capaciteit precies daar zou landen waar de vraag die dag piekte. Voor de inzet van cobots werd dit gedaan met 40 mensen en maakte het bedrijf ongeveer 300 spuitmonden per week. Nu maken ze 20.000 spuit-monden per week met 30 mensen dankzij de inzet van cobots.

Figuur 2.2 De waardeketen van de robot. Gebaseerd op de figuren overgenomen en vertaald uit Leggett (2021)[33] en Cséfalvay en Gkotsis (2020).[34]



31 Op basis van expert input.
32 Dutch manufacturer Fluidics Instruments increases production with cobots: https://www.therobotreport.com/fluidics-instruments-nozzle-production-ur-cobots/

33 Legget, D. (2021). Inside the $45bn robotics market: The taxonomy and value chain behind today's robot helpers. JustAuto https://www.just-auto.com/features/inside-the-45bn-robotics-market-the-taxonomy-and-value-chain-behind-todays-robot-helpers/
34 Cséfalvay, Z. & Gkotsis, P. (2022). Robotisation race in Europe: the robotisation chain approach. Economics of Innovation and New Technology, 31(8). 693-710. https://www.tandfonline.com/doi/full/10.1080/10438599.2020.1849968

Belangrijke robot producenten
De grootste spelers op het gebied van industriële robots komen uit diverse delen van de wereld, zoals weergegeven in Tabel 2.1, die de top 10 van 2025 weergeeft. Vijf van deze bedrijven zijn afkomstig uit Japan. Onder hen bevinden zich Epson, Fanuc (11%), Kawasaki (8%), Yaskawa (8%) en Denso (4%). Dankzij tientallen jaren van investeringen in robotica-onderzoek en de exportgerichte maakindustrie heeft Japan zijn leidende positie in deze sector stevig verankerd. Deze brede basis van robotica-expertise stelde Japan in staat om zowel de binnenlandse markt als internationale klanten te bedienen met geavanceerde automatiseringsoplossingen.[35]

De markt was een tijd lang in handen van de "grote vier," deze vier fabrikanten hebben decennialang de markt gedomineerd. Dit zijn FANUC en Yaskawa uit Japan, ABB uit Zwitserland en KUKA uit Duitsland (in 2016 overgenomen door het Chinese Midea) (zie Tabel 2.1).[36]

Chinese producenten zijn hard op weg om de top 10 te domineren. Belangrijke Chinese producenten zijn onder meer ESTUN automation, INNOVANCE Technology, SIASUN Robot & Automation en EFORT Intelligent Equipment[37], DJI Innovaties.[38] De wens van China is om een veel grotere rol te gaan spelen als leverancier op de industriële robotmarkt. Daartoe wordt vanuit de overheid en de private sector in China de komende 20 jaar nog eens zo'n 137 miljard euro geïnvesteerd in zowel robots, AI en baanbrekende innovaties.[39] China is daarmee hard op weg om een robotica supermacht te worden. Wij zien al dat de groei van robotgebruik in de Chinese industrie zelf ook steeds meer vanuit Chinese fabrikanten komt. In 2023 kwam 47% van de installaties uit China zelf, en een jaar later zelfs 57%. In 2013 was dit nog maar zo'n 25%. In Europa worden robots (nog) niet veel ingekocht van Chinese producenten.

Tabel 2.1 Belangrijkste robotproducenten met hun marktaandeel 2025[40]

Bedrijf	Marktaandeel	Land van herkomst
ABB	13%	Zwitserland
Epson	13%	Japan
FANUC	11%	Japan
Kawasaki	8%	Japan
Yaskawa	8%	Japan
KUKA	6%	Duitsland/China
Denso	4%	Japan
Universal Robots	4%	Denemarken
Comau	1%	Italië
Anderen waaronder Omron[41]	32%	Diverse landen

35 The World's Top Industrial Robotics Companies by Market Share
36 The Big 4 in Robotics and Why They Lead - Enterprise Nova
37 China's Industrial Robotics Landscape: Key Players, Market Trends and Growing Global Influence – Robot Automation
38 Top 10 Robotica Bedrijven Ter Wereld
39 China to invest $137B in robotics and high-tech industries, reports IFR - The Robot Report
40 The World's Top Industrial Robotics Companies by Market Shareid
41 Obv expert input

De verwachting is dat de productie van humanoïde robots (humanoids, zie sectie 2.3 voor meer details) de komende jaren een vlucht zullen nemen, tot een markt van 44 miljard euro in 2031. China heeft daarbij een duidelijke exportstrategie, wat kan leiden tot verdringing van de grote vier.[42]

Amerikaanse bedrijven zoals Boston Dynamics (zie Tabel 2.2) richten zich sterk op de integratie van kunstmatige intelligentie (AI) en robotica in de gehele toeleveringsketen, met een focus op efficiëntie, automatisering en innovatie. Deze focus is vooral prominent in logistiek, productie en e-commerce.

Tabel 2.2 Robotica bedrijven met hun sterke punten en toepassingsgebieden[43]

Bedrijf	Land	Belangrijkste sterke punten	Toepassingsgebieden
ABB Robotics	Zwitserland	Hoog-precieze, betrouwbare industriële robots; ondersteunen AI en menselijke samenwerking	Automobiel, elektronica, logistiek en metaalverwerking
FANUC	Japan	Iconische gele robotarmen; snel, duurzaam, lange levensduur	Automobiel-, elektronica- en slimme fabrieken
KUKA Robotica	Duitsland	Expert in zware en collaboratieve robots; Duitse precisietechniek	Automobiel, metaal, voedsel en medisch
Yaskawa Motoman	Japan	Sterk in lassen, spuiten, materiaalbehandeling en diepgaande servo-/motorbesturing	Productie, industriële automatisering
Universele robots	Denemarken	Leider in collaboratieve robots; eenvoudig te programmeren, in te zetten en te bedienen	MKB, elektronica, onderwijs, lichte industrie
Boston Dynamics	Verenigde Staten	Geavanceerde mobiliteit en AI; bekend van Spot- en Atlas-robots	R&D, inspectie, defensie en innovatie showcase
DJI-innovaties	China	Wereldleider in drones; uitbreiding naar grondrobotica en onderwijs	Luchtfotografie, landbouw, inspectie, roboticatraining
Doosan Robotica	Zuid-Korea	Snelgroeiend bedrijf in collaboratieve robotica; gebruiksvriendelijk en flexibel	Productie, gezondheidszorg, logistiek
Epson-robots	Japan	Compacte SCARA- en 6-assige robots; zeer nauwkeurige automatisering	Elektronica, halfgeleiders, medische apparatuur
Kawasaki-robotica	Japan	Meer dan 50 jaar ervaring in robotica	Auto-industrie, lucht- en ruimtevaart, energie en zware industrie

42 Global Robot Demand in Factories Doubles Over 10 Years - International Federation of Robotics

43 Top 10 Robotica Bedrijven Ter Wereld

2.3 Type robots

Er zijn verschillende type robots met uiteenlopende vormen en functies, afhankelijk van hun toepassing en mate van intelligentie, die voor verschillende taken in de maakindustrie interessant zijn. Van vaste systemen die specifieke taken uitvoeren tot flexibele, samenwerkende en zelfs volledig digitale varianten: de diversiteit groeit snel. In deze paragraaf bespreken we vijf belangrijke categorieën voor de maakindustrie, die de huidige en toekomstige robotica vormgeven:

1. Stationaire, taakgerichte robots,
2. Adaptieve robots (kunnen stationair en humanoids zijn),
3. Collaboratieve robots,
4. Digitale of softwarematige robots, en
5. Opkomende robots zoals humanoïde robots en zwermrobots.

Stationaire, taakgerichte robots

Stationaire, taakgerichte robots komen veelvuldig voor in de maakindustrie. Deze robots zijn ontworpen om één specifieke taak uit te voeren binnen een geautomatiseerde productielijn (zie Figuur 2.3 voor een afbeelding van een stationaire robot binnen een productielijn). Vaak opereren ze in een afgesloten ruimte, waardoor volledige controle over zowel de robot als de werkplek mogelijk is. Een dergelijke afscherming is noodzakelijk, omdat deze robots niet reageren op obstakels; ze voeren hun geprogrammeerde taak altijd met dezelfde kracht uit, ongeacht de omstandigheden.[44] De robot is gespecialiseerd in één taak en voert deze steeds met hoge precisie uit. Vaak maakt de robot deel uit van een productielijn, waarbij geen variatie optreedt. Juist deze eigenschappen maken dergelijke robots bijzonder geschikt voor maakbedrijven die voornamelijk hetzelfde product produceren.

Voorbeelden van stationaire, taakgerichte robots zijn lasrobots, assemblage robots, pick-and-place robots en schilderrobots.[45] De naam van de laatstgenoemde robots toont aan dat dit type robot niet stationair is. Ze vallen echter onder deze categorie, omdat ze worden ingezet voor vaststaande taken als sorteren en transporteren. Daarbij volgen ze een vaste route (magnetische strips, draden, sensoren) en kunnen niet zelfstandig obstakels ontwijken.

Ze passen zich niet actief aan, aam de omgeving, dus ze zijn niet adaptief. Ze worden veel gebruikt in fabrieken voor repeterende transporttaken.

Stationaire, taakgerichte robots kunnen (soms) wel worden gebruikt voor een andere taak. De mate waarin hangt echter af van hun ontwerp en modulariteit. Sommige robots zijn specifiek ontworpen voor één taak, bijvoorbeeld lassen in een autofabriek. Ze hebben vaak een vaste structuur en actuatoren, die niet eenvoudig aan te passen zijn. Een meer modulaire robot, waarbij bijvoorbeeld de grijpers, sensoren of gereedschappen zijn aan te passen zijn flexibeler. Als het hardwarematig mogelijk is, kan softwarematig de robot opnieuw worden geprogrammeerd, soms is dan ook integratie met nieuwe sensoren nodig. Dit vraagt echter wel (veel) tijd. Soms is het goedkoper om een nieuwe robot te kopen dan een bestaande volledig om te bouwen, vooral als de nieuwe taak sterk afwijkt van de oorspronkelijke.

Stationaire, taakgerichte robots brengen veel efficiëntie in maakprocessen. Echter kennen ze weinig flexibiliteit. Ze worden dan ook veel toegepast in bedrijven met veel repeterende taken in de productielijn, zoals in de auto-industrie, waar ze enorme waarde leveren. Ze zijn echter een stuk minder geschikt voor (kleinere) MKB bedrijven met een *high-mix low-volume* strategie.[46]

44 Interview

45 AGV staat voor Automated Guided Vehicle

46 The Modular Revolution: How Robotics Design Is Shaping Industry 4.0

Figuur 2.3 Stationaire robots binnen een productielijn

Adaptieve robots

Adaptieve robots zijn veel flexibeler dan stationaire, taakgerichte robots. Het zijn robots die taken met meer variatie kunnen uitvoeren en zich kunnen aanpassen aan de situatie. Adaptieve robots zijn geschikt voor situaties waarbij vooraf programmeren geen zin heeft omdat de robot moet reageren op de situatie die zich voordoet zoals bijvoorbeeld het geval is voor een sorteerrobot. Voor deze robots is het daarom minder noodzakelijk om ze in een volledig gesloten ruimte te plaatsen dan voor stationaire, taakgerichte robots.

Deze robots hebben meer variatie in de omgeving waarin ze zich bewegen en ten aanzien van de taak. De vraag die komt kijken bij het inzetten van deze robots is: hoe kan de robot op een veilige manier omgaan met variatie in de omgeving en in de taak?[47]

De omsteltijd van adaptieve robots vormt een belangrijk aspect: wanneer een robot de ene dag product A assembleert en de volgende dag product B verwerkt, is het essentieel dat de robot snel kan omschakelen naar een andere taak. Adaptieve robots bieden hiervoor uitkomst. Idealiter leert de robot bovendien van gemaakte fouten, zodat de taak steeds optimaler wordt uitgevoerd.[48] AI maakt verder geavanceerde functies mogelijk, zoals objectherkenning, voorspellend onderhoud en natuurlijke interactie met mensen. Door toepassing van machine learning verbeteren deze robots continu hun prestaties en kunnen ze steeds complexere taken uitvoeren. Steeds meer kennis kan aan zo een robot worden toegevoegd, waardoor deze steeds zelfstandiger taken oppakt. Dit vergroot de inzetbaarheid van dergelijke robots.

Adaptieve robots gelden als de toekomst van de robotmarkt. Voorbeelden hiervan zijn autonome mobiele robots (AMR's), Automated Guided Vehicles (AGV's) (zie Figuur 2.4 voor een afbeelding van een mobiele robot), soft robots, collaboratieve robots en humanoids.[49]

Figuur 2.4 Mobiele plukrobot

47 Interview

48 Interview

49 Future of the Robotics Markets to 2030: Cobots, Humanoid & Soft Robots, Swarm Robotics in Automotive, Smart Cities, Space Exploration, Logistics, Agriculture - ResearchAndMarkets.com

Collaboratieve robots
De collaboratieve robots, ook wel cobots genoemd, worden gedefinieerd als geschikt voor samenwerking met de mens (zie Figuur 2.5 voor een afbeelding van een samenwerking tussen een robot en een mens). Dat betekent niet dat ze per definitie samenwerken met een mens. Het gaat erom dat het een robot is die zodanig ontworpen is dat de robot veilig en direct in nabijheid kan zijn van een mensen of daarmee kan samenwerken, zonder benodigde zware fysieke afscheidingen. Ze hebben ingebouwde veiligheidsfuncties zoals kracht- en snelheidslimieten, sensoren en noodstopmechanismen. Ze kunnen zowel stationair en taakgericht zijn, alsook adaptief.

De flexibiliteit van cobots draagt bij aan een hoger rendement op investering (Return on Investment (ROI)) dankzij de verhoogde productiviteit en de lagere arbeidskosten. Binnen de maakindustrie bestaat de wens om meer cobots in te zetten. Cobots bezitten sensoren die meten hoe hard ze tegen iets aandrukken. Als de kracht die ze meten zodanig hoog is dat het mogelijk schade kan toebrengen aan een mens in een collaboratieve toepassing, of aan de cobot zelf, trekt de robot zich terug.[50] Daarnaast maakt vooruitgang in Natural Language Processing (NLP) betere communicatie tussen mens en robot mogelijk.

De inzet van cobots groeit met name bij kleine en middelgrote ondernemingen.[51] Cobots zijn daar met name aantrekkelijk vanwege:
- lagere kosten dan traditionele industriële robots;
- Eenvoudige installatie en programmering, vaak plug-and-play;
- Kleine voetafdruk en dus ideaal voor beperkte ruimtes;
- Veiligheid en dus ontworpen om naast mensen te werken zonder zware afscherming;
- Flexibiliteit, snel inzetbaar voor verschillende taken zoals assemblage, verpakking, en inspectie.

Cobots worden door het MKB onder meer toegepast voor: machinebediening, lassen, verpakken, pelletiseren, assemblage en kwaliteitscontrole. [52]

50 Torque Sensors for Safety in Cobots | TE Connectivity, interview
51 How collaborative robots are transforming automation for small businesses
52 A New Generation of Robots Can Help Small Manufacturers

Figuur 2.5 Een voorbeeld van samenwerking tussen robot en mens

Digitale/software robots
Software robots onderscheiden zich van andere robots doordat ze geen fysieke vorm hebben. Traditioneel geldt een robot als een fysiek systeem dat autonoom taken uitvoert, maar concepten als softwarerobots en cloudrobots beschikken niet over tastbare hardware of zijn afhankelijk van externe rekenkracht. Toch vallen deze oplossingen vaak onder de bredere definitie van robotica, omdat ze taken uitvoeren op basis van regels, sensordata of AI, zonder menselijke sturing in digitale omgevingen, zoals bijvoorbeeld bij factuurverwerking. Cloudrobotica omvat het gebruik van cloud computing door robots om intelligentie, rekenkracht en dataopslag uit te breiden. In plaats van alle berekeningen en beslissingen lokaal uit te voeren, worden zware taken verplaatst naar servers in de cloud[53], waardoor fysieke robots ondersteund worden met externe intelligentie. Softwarerobots maken gebruik van Robotic Process Automation (RPA), een technologie waarmee repeterende, regelgebaseerde taken in digitale omgevingen worden uitgevoerd, zoals het verwerken van facturen of het overzetten van gegevens tussen systemen. Door toepassing van AI bij software robots en cloudrobots ontstaan steeds meer mogelijkheden; regelgebaseerde automatisering krijgt hierdoor leer- en adaptieve capaciteiten.[54]

Figuur 2.6 Medewerkers maken met hun laptop gebruik van achterliggende cloudrobots

53 Understanding Cloud Robotics: A New Era Of Intelligent Machines
54 Robotic Process Automation vs AI: A Comprehensive Comparison I Scalefocus

Opkomende robots

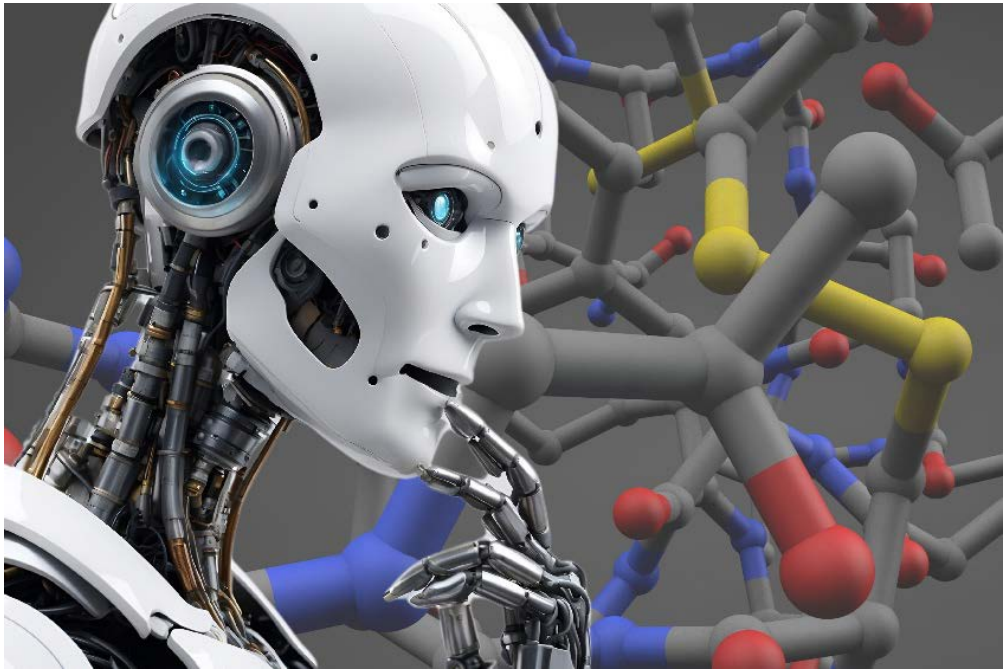
Er zijn ook opkomende robots zoals humanoids en zwermrobots. Dit type robots wordt nog niet algemeen ingezet.

Humanoïde robots

Humanoïde robots, ook wel humanoids genoemd, kenmerken zich door het hebben van een mensachtig uiterlijk en gedrag (zie Figuur 2.7 voor een afbeelding van een Humanoid). Ze hebben een mensachtige vorm, inclusief armen en benen. In onder andere Amerika en Azië wordt volop ingezet op de ontwikkeling van humanoids.[55] Het wordt in deze landen gezien als een strategische pijler om in te investeren. In Europa ligt de focus nog grotendeels op de inzet van 6-assige robots en cobots. Grootschalige toepassing van humanoids blijft vooralsnog uit, hoewel diverse prototypes en demonstrators al beschikbaar zijn. Deze prototypes voldoen momenteel niet aan de eisen op het gebied van betrouwbaarheid, veiligheid en economische haalbaarheid voor grootschalige inzet. Complexe taken die een hoge mate van behendigheid vereisen, kunnen daardoor nog niet worden uitgevoerd. Pilots richten zich vooral op gestructureerde omgevingen en repeterende werkzaamheden.[56]

Binnen het Nederlandse mkb worden humanoids momenteel (nog) niet ingezet. Slechts vijf à zes humanoids functioneren als demonstratiemodel. De interesse vanuit het MKB voor deze technologie is echter groot, aangezien humanoids aanzienlijke toegevoegde waarde kunnen bieden voor de maakindustrie.[57] Investeren in humanoids vraagt om een zorgvuldige afweging van de daadwerkelijke toegevoegde waarde en een grondige analyse van de onderliggende technologie. Online circuleren veel interessante video's van AI-gedreven robots, maar deze geven niet altijd een realistisch beeld van de praktische mogelijkheden en beperkingen van de huidige generatie robots.[58]

Figuur 2.7 Humanoid



55 Wat zijn humanoid robots, wat kunnen ze en wanneer komen ze?

56 McKinsey, oktober 2025 Humanoid robots: Crossing the chasm from concept to commercial reality

57 Interview

58 Interview

Bedrijven als Tesla en Apptronik investeren intensief in de ontwikkeling van humanoids en zien brede toepassingsmogelijkheden binnen de industrie. Dit type robot kan in de toekomst taken overnemen waarvoor steeds minder personeel beschikbaar is. Denk bijvoorbeeld aan uiteenlopende logistieke werkzaamheden, die momenteel bij sommige bedrijven worden geautomatiseerd met een combinatie van een autonome mobiele robot (AMR) en een daarop gemonteerde cobot.[59] Humanoids kunnen ook worden ingezet voor werkzaamheden die werknemers om ARBO-technische redenen niet, of slechts beperkt, kunnen uitvoeren. Denk hierbij aan taken die vies, saai, zwaar of langdurig zijn.[60]

Volgens Fortune Business Insights groeit de markt van humanoids naar een omvang van $66 miljard in 2032.[61] Voor grootschalige en meer adaptieve inzet van humanoids zijn verschillende ontwikkelingen noodzakelijk, waaronder verbeterede Veiligheid, zodat humanoids veilig kunnen functioneren in niet-afgeschermde omgevingen, maar ook:

1. Integratie van ELSA-principes en transparante machine learning, zodat humanoids op een verantwoorde, uitlegbare en maatschappelijk geaccepteerde manier kunnen worden ingezet
2. Batterijen met een grotere capaciteit, kortere oplaadtijd, of eenvoudig te vervangen modules;
3. Geavanceerde menselijke fijne motoriek en sensomotorische integratie wat leidt tot betere mobiliteit en inzetbaarheid in meerdere domeinen;
4. Radicale kostenreductie, bijvoorbeeld modulair ontwerp en standaardisatie.[62,63]

Zwermrobots

Zwermrobotica coördineren grote aantallen relatief eenvoudige robots, die gezamenlijk complexe taken uitvoeren, geïnspireerd op natuurlijke systemen zoals vogelzwermen of mierenkolonies. In tegenstelling tot multi-robot systemen ontbreekt centrale sturing bij echte zwermen; elke robot werkt autonoom en neemt lokale beslissingen en draagt zo bij aan gedecentraliseerde besluitvorming.[64] Binnen een zwerm communiceren de robots onderling en passen hun gedrag aan wanneer dat nodig is.[65] Belangrijke voordelen ten opzichte van klassieke robotsystemen zijn onder andere:

1. Robuustheid en fouttolerantie: uitval van één of enkele robots heeft nauwelijks invloed, omdat andere robots het werk kunnen overnemen.
2. Eenvoudige schaalbaarheid: het systeem kan zonder herontwerp worden opgeschaald van tientallen naar honderden robots.[66]
3. Parallelle taakuitvoering: meerdere taken kunnen gelijktijdig worden uitgevoerd, wat de snelheid en effectiviteit verhoogt.
4. Flexibiliteit en adaptiviteit: zwermrobots kunnen zich snel aanpassen aan veranderende omstandigheden of onverwachte situaties.

Zwermrobots bevinden zich momenteel vooral in de experimentele fase. In Delft is in 2023 het ‘Swarming Lab’ gestart, waar onderzoek plaatsvindt naar samenwerking tussen zwermrobots, zowel in de lucht als op de grond. Dit lab werkt samen met onderzoekers en bedrijven aan de verdere ontwikkeling van deze technologie.[67]

59 Vinden de humanoid robots een weg naar de maakindustrie?
60 Interview
61 Vinden de humanoid robots een weg naar de maakindustrie?
62 McKinsey, oktober 2025 Humanoid robots: Crossing the chasm from concept to commercial reality
63 Interview
64 How Swarm Robotics Work: Principles and Real-World Uses - Engineer Fix
65 Swarm Robotics in Manufacturing: The Future of Part Handling
66 How Swarm Robotics Work: Principles and Real-World Uses - Engineer Fix
67 Robotlab | Ontdek de wereld van robotica bij TU Delft Science Centre

Toepassingen worden al voorbereid in sectoren als automobielproductie (intra-plant logistiek), elektronica (flexibel componenttransport), metaalbewerking (sheet-metal handling) en magazijnen (AMR-picking teams). Grote spelers zoals ABB, KUKA en Boston Dynamics ontwikkelen platforms en algoritmes voor zwermrobots, in samenwerking met instituten als Fraunhofer IPA en ETH Zurich.[68]

Naast technologische uitdagingen vraagt grootschalige inzet van zwermrobotica ook aandacht voor ethische, juridische en maatschappelijke aspecten (ELSA), evenals transparantie en betrouwbaarheid van de onderliggende machine learning-algoritmen. Deze factoren zijn essentieel voor een verantwoorde en maatschappelijk geaccepteerde toepassing van zwermrobots.

Welke robot het beste past vraagt een brede analyse

Om vast te stellen welke robot het beste past voor een specifieke productielijn moeten maakbedrijven voorbij de technologische oplossing kijken. Automatisering of robotisering wordt pas commercieel succesvol als zowel de technologie (wat kan het systeem?), het ecosysteem (wie zijn er nodig?) en het businessmodel (wie betaalt, verdient, neemt risico's? en soortgelijke vragen) tegelijkertijd worden geanalyseerd. Voor bedrijf A kan een stationaire, taakgerichte robot voldoende winst opleveren in een productielijn, waar een adaptieve robot juist te duur is voor wat het zal opleveren. Bedrijf B in een vergelijkbare context heeft mogelijk meer baat bij een oplossing, die in de toekomst juist meer (variabele) taken kan uitvoeren, wat betekent dat een adaptieve robot een betere investering is dan een stationaire, taakgerichte robot.

Het is belangrijk dat de gekozen technologie aansluit bij wat het desbetreffende maakbedrijf en de medewerkers aankunnen. Daarnaast is het voor duurzaamheid van de ontwikkeling belangrijk dat het hele ecosysteem financiële winst genereert. Voor het business model moeten inkomsten, risico's en verantwoordelijkheden eerlijk worden verdeeld. Processen moeten goed geanalyseerd worden en digitale vaardigheden van medewerkers moeten voldoende hoog zijn om met de gekozen robotica toepassingen te kunnen werken.

Een integrale aanpak in robotiseringsvraagstukken is daarom belangrijk.[69] Daarnaast is de kans op succesvolle robotisering groter wanneer het proces stapsgewijs wordt aangepakt. Bedrijven hoeven niet in één stap naar volledige automatiseringsoplossingen over te gaan, maar kunnen dit gefaseerd oppakken.

Er zijn globaal drie niveaus te identificeren[70]:

1. Operator-guided,
2. Semi-autonoom, en
3. Volledig autonoom

Het eerste niveau is de minst geavanceerde en de betrokkenheid van menskracht is hoog. De ontwikkelingen op dit niveau vormen echter een belangrijke basis voor de volgende niveaus. Het tweede niveau van volwassenheid houdt in dat de operator minder direct in de productieprocessen betrokken is, maar juist van een afstand overzicht houdt. Er is een lagere werklast voor operators en de veiligheid is ook beter gewaarborgd. Voor niveau 3 geldt dat robots volledig autonoom acteren, zonder input van menselijke operators. De technologie is zelflerend, kan zichzelf optimaliseren en kan zelfstandig afwijken van standaardprocessen waar dat nodig is. Voor elk van de drie niveaus van

68 Swarm Robotics in Manufacturing: The Future of Part Handling

69 Op basis van expert interviews en literatuur, zoals A maturity framework for autonomous solutions in manufacturing firms: The interplay of technology, ecosystem, and business model | International Entrepreneurship and Management Journal | Springer Nature Link

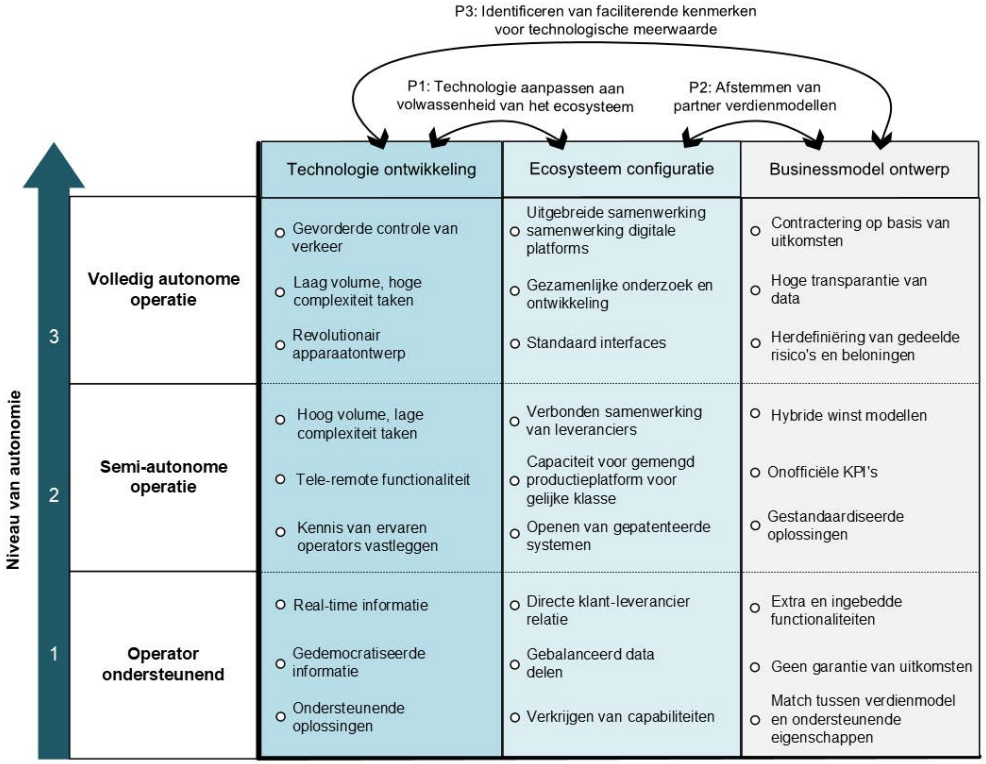
70 A maturity framework for autonomous solutions in manufacturing firms: The interplay of technology, ecosystem, and business model | International Entrepreneurship and Management Journal | Springer Nature Link

volwassenheid van autonome oplossingen staan verschillende taken centraal op het gebied van technologie ontwikkeling, ecosysteem configuratie en business model ontwerp, zoals in Figuur 2.2 staat weergegeven. De complexiteit en integratie van de benodigde taken, systemen en processen is op elk volwassenheidsniveau hoger. Er is daarbij geen standaard proces hoe bedrijven de transitie kunnen maken naar het volgende niveau. Bedrijven moeten zelf de nodige stappen kunnen vertalen naar hun organisatie en processen om daarmee commercieel succesvol te worden.

Om het niveau van volledige autonomie te bereiken, laat Figuur 2.8 zien dat dataverzameling over en digitalisering van processen en uitkomsten belangrijk zijn om de overgang naar een volwassen autonome organisatie mogelijk te maken. Zo kunnen bedrijven relevante inzichten verzamelen zodat er betere beslissingen genomen kunnen worden over het automatiseren van processen en de voorbereiding op systeemintegratie.

Bedrijven kunnen beter niet in één keer de overgang naar niveau 3 proberen te maken. Het advies voor de praktijk is om te focussen op toepassingen waar autonomie echte waarde toevoegt, startend bij eenvoudige, repeterende taken met groot volume; en duidelijke kosten- of efficiëntiewinst. Pas later, wanneer systemen slimmer worden en kunnen leren, kunnen complexere taken worden geautomatiseerd.

Figuur 2.8 Een raamwerk voor het commercialiseren van autonome oplossingen. Overgenomen uit Thomson et al. (2022).[71]



71 A maturity framework for autonomous solutions in manufacturing firms: The interplay of technology, ecosystem, and business model | International Entrepreneurship and Management Journal | Springer Nature Link

3. Robotiseringsgraad, succesfactoren en barrières

Dit hoofdstuk gaat in op de robotiseringsgraad van de maakindustrie in paragraaf 3.1. De succesfactoren en barrières, die deze robotiseringsgraad belemmeren en stimuleren komen aan bod in de paragraven 3.2 en 3.3.

3.1 Robotiseringsgraad van de maakindustrie

De maakindustrie wereldwijd werkt intensief aan het verhogen van de robotiseringsgraad. Volgens het IFR World Robotics Report 2024 steeg het aantal operationele industriële robots in 2023 tot 4,28 miljoen eenheden, met een groei van 10% ten opzichte van het voorgaande jaar. Voor het derde jaar op rij werden meer dan een half miljoen nieuwe eenheden geïnstalleerd. In vergelijking met tien jaar geleden is het aantal industriële robots wereldwijd meer dan verdubbeld.[72] Deze cijfers onderstrepen de snelle wereldwijde adoptie van robotica in productieprocessen. Azië voert de ranglijst aan voor wat betreft robotdichtheid en productiecapaciteit; Aziatische landen zijn samen verantwoordelijk voor 70% van de 4,28 miljoen geïnstalleerde robots. China neemt hierin een leidende positie in.[73] Daarnaast groeit het aantal producenten van humanoids in China explosief, mede gestimuleerd door substantiële overheidssubsidies.[74]

China domineerde in 2023 de markt voor robotinstallaties en was verantwoordelijk voor 51% van het wereldwijde aantal nieuw geïnstalleerde robots, wat neerkomt op ruim een half miljoen eenheden. De operationele robotvoorraad in China groeide met 17%.[75,76] Europa leverde een bijdrage van 17% aan het totaal aantal installaties en kende een groei van 9%. Zuid-Korea voert wereldwijd de ranglijst aan wat betreft robotdichtheid. In de Verenigde Staten werd 9% van het totaal geïnstalleerd, met een groei van 12% in het aantal robotinstallaties. De groei in Amerika bleef echter achter, vooral door het zwakkere presteren van belangrijke sectoren zoals de autoindustrie. Opvallend is de sterke versnelling van de robotmarkt in India. Hoewel India in 2023 slechts 1,7% van het wereldwijde totaal installeerde (8.510 eenheden), realiseerde het land met 59% de hoogste relatieve groei wereldwijd.

De wereldwijde robotica-markt bereikte in 2023 een waarde van circa 71,2 miljard dollar, volgens Market Research Future. De groei is indrukwekkend: tegen 2030 wordt een marktvolume van meer dan 200 miljard dollar verwacht, gedreven door een gemiddeld jaarlijks groeipercentage van 18,4% tussen 2023 en 2030. Robotica wordt steeds sneller geïntegreerd in uiteenlopende sectoren, waaronder productie, logistiek, elektronica en gezondheidszorg.

De robotdichtheid wereldwijd

Een belangrijke graadmeter om de vergelijking tussen de werelddelen te maken is de robotdichtheid. De robotdichtheid wordt gedefinieerd als het aantal operationele industriële robots per 10.000 werknemers in de maakindustrie van een land of regio. Het wordt gebruikt als maatstaf voor de automatiseringsgraad.

In 2024 bedroeg de gemiddelde robotdichtheid in de maakindustrie wereldwijd 177 robots per 10.000 werknemers. Azië liet de sterkste groei zien: tussen 2019 en 2024 steeg de robotdichtheid daar met een samengesteld jaarlijks groeipercentage (CAGR) van 12%, tot 204 robots per 10.000 werknemers. Europa volgde met een CAGR van 7%, resulterend in 148 robots per 10.000 werknemers, terwijl Amerika uitkwam op 131 robots per 10.000 werknemers (CAGR van 6%).[77]

Deze toename in robotdichtheid heeft direct bijgedragen aan een hogere productiviteitsgroei in deze regio's. Met name in Azië en Europa is een duidelijke versnelling zichtbaar in de industriële output per werknemer, doordat robots routinematige en repeterende taken overnemen en productieprocessen efficiënter verlopen. Hierdoor kunnen bedrijven sneller inspelen op marktveranderingen, de kwaliteit verhogen en kosten verlagen, wat de internationale concurrentiepositie versterkt.

72 IFR: https://www.nlrobotics.nl/nieuws/robotica-is-geen-toekomstmuziek-het-is-n-de-motor-van-onze-productiviteit-sx35e-nlt2x#:~:text=De%20wereldwijde%20vraag%20naar%20industri%C3%ABle,opzichte%20van%20het%20jaar%20ervoor.

73 Global Robotics Market Surges: Comprehensive Analysis of IFR World Robotics Report 2024

74 Interview

75 2024-SEP-24_IFR_press_release_World_Robotics_2024_-_China.pdf

76 IFR World Robotics report says 4M robots are operating in factories globally - The Robot Report

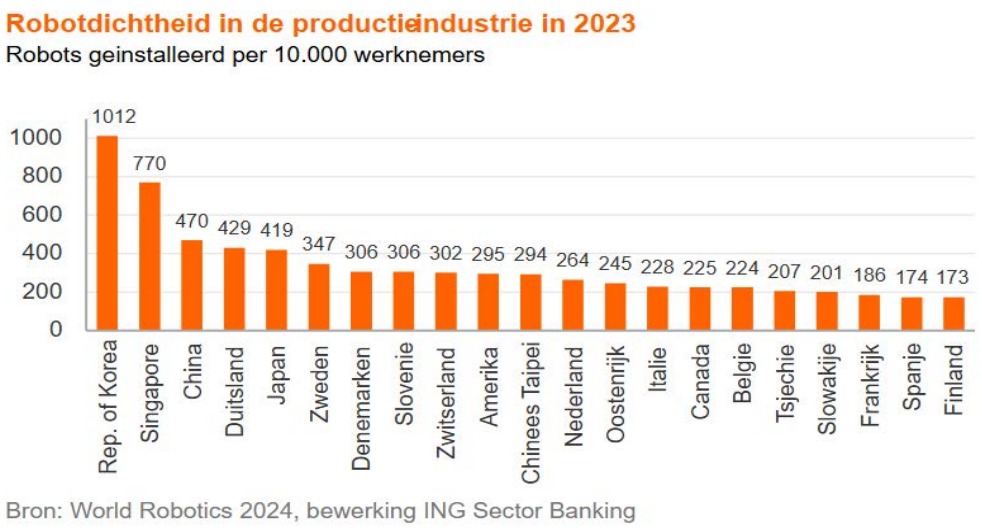
77 Executive_Summary_WR_2025_Industrial_Robots.pdf

Uit gegevens van IFR's *World Robotics* blijkt dat de Europese Unie een gemiddelde robotdichtheid van 219 robots per 10.000 werknemers kent. Binnen Europa behoren Duitsland, Zweden, Denemarken en Slovenië tot de wereldwijde top tien op het gebied van robotdichtheid.[78] Nederland wordt in het IFR rapport van 2025 niet expliciet genoemd, maar in het rapport in 2024, gebaseerd op cijfers uit 2023, stond Nederland wereldwijd op de twaalfde plek met 264 robots per 10.000 werknemers (zie figuur 3.1). In 2021 stond Nederland nog op de dertiende plaats, dat wijst op een lichte stijging in de internationale ranglijst.

China laat een explosieve groei zien in zowel het aantal robotinstallaties als de robotdichtheid en neemt inmiddels wereldwijd de leidende positie in, zowel qua volume als groeitempo. In Europa is sprake van een stabiele, maar minder sterke groei; Duitsland blijft binnen Europa dominant, hoewel het aantal robotinstallaties in de auto-industrie daar sterk is afgenomen. In de Verenigde Staten stagneert de groei licht, met dalende installaties en een toenemende afhankelijkheid van import.

De integratie van cobots in productieprocessen neemt wereldwijd snel toe, mede doordat bedrijven steeds beter de voordelen van collaboratieve robots herkennen. Volgens de International Federation of Robotics (IFR) werden in 2020 wereldwijd 22.000 cobots geïnstalleerd, een stijging van 11.000 ten opzichte van 2017. Sinds 2018 is de wereldwijde verkoop van collaboratieve robots met meer dan 25% gegroeid, ondanks een tijdelijke vertraging in de totale markt voor industriële robots door de pandemie. Voor de Chinese markt wordt verwacht dat de verkoop van cobots de komende vijf jaar met 30% zal toenemen.

Figuur 3.1 Robotdichtheid in de productieindustrie in 2023. Grafiek overgenomen van ING.[79]



Bron: World Robotics 2024, bewerking ING Sector Banking

78 Robotics Research: How Asia, Europe and America Invest

79 Robotisering - ING

Binnen Europa fungeert de auto-industrie niet langer als belangrijkste aanjager van robotisering. Het aantal industriële robotinstallaties in deze sector is afgenomen, onder andere door politieke onzekerheid en verminderde vraag, waardoor investeringen worden uitgesteld. Andere industrieën dragen daarentegen positief bij aan de robotiseringsgraad. De verwachting is dat de robotisering in de auto-industrie vanaf 2027/2028 weer zal aantrekken.

Huidige status van de Nederlandse maakindustrie

Binnen de Nederlandse maakindustrie wordt de huidige staat van robotisering vaak als laag gekwalificeerd.[80] Automatisering is weliswaar breed toegepast, maar veel bedrijven worstelen nog met het digitaliseren van hun basisprocessen. Juist deze digitalisering vormt een essentiële voorwaarde om verdere stappen richting robotisering te kunnen zetten.[81]

De daadwerkelijke inzet van robots blijft vooralsnog beperkt, zeker in vergelijking met de automotive industrie. Binnen de maakindustrie vindt robotisering vooral plaats op het gebied van interne logistiek, bijvoorbeeld met AGV's. Veel bedrijven ervaren hun productieprocessen als te complex voor volledige robotisering, mede door de veelvoorkomende high-mix, low-volume strategie. Stationaire, taakgerichte robots sluiten minder goed aan bij deze variatie, terwijl adaptieve robots juist meer mogelijkheden bieden voor dergelijke bedrijven. In het mkb zijn er wel bedrijven die cobots inzetten of hiermee experimenteren, maar grootschalige toepassing blijft vooralsnog uit.

Uit gesprekken met experts komt een wisselend beeld naar voren over de toekomstige adoptiegraad van (adaptieve) robots. Enerzijds geven sommige experts aan dat veel productieprocessen te complex zijn voor robotisering, terwijl anderen juist wijzen op de relatief hoge adoptie sinds de introductie van cobots en verwachten dat deze groei zich zal voortzetten. De mate van robotisering verschilt bovendien sterk per (sub)sector. Zo is in de Nederlandse hightech-elektronicasector het gebruik van robots de afgelopen jaren aanzienlijk toegenomen. In andere branches blijft de robotiseringsgraad achter, vaak door onvoldoende concurrentiedruk om te investeren in robotisering, zowel vanuit het buitenland als binnen Nederland.

Experts benadrukken daarnaast dat Nederland sterk ontwikkeld is op het gebied van roboticaonderzoek. Er zijn veel demonstrators en pilots, onder andere in fieldlabs. Het ecosysteem is krachtig, met intensieve samenwerking tussen industrie, universiteiten en hogescholen.

Voor een voorbeeld casus van succesvolle robotisering in de beddenproductie, zie Box 4.

80 Interviews
81 Interview

Box 4 Casus: Hoe Auping succesvol robotiseerde

Beddenfabrikant Auping uit Deventer stond voor een grote uitdaging. Het bedrijf had een ambitieus doel: matrassen maken die niet alleen heerlijk liggen, maar ook volledig circulair zijn. Maar circulaire matrassen produceren bleek ingewikkeld. De gebruikte materialen, zoals staal en polyester, moesten heel precies verwerkt worden en dat gebeurde vroeger grotendeels met de hand, langzaam en arbeidsintensief. Auping wist: dit moet anders.

Daarom ging Auping op zoek naar een slimme manier om sneller, flexibeler en duurzamer te produceren. Ze vonden hun antwoord in een samenwerking met Robotize, een joint venture van Machinefabriek Geurtsen en Hollander Techniek.[82] Samen ontwierpen ze een volledig nieuwe, gerobotiseerde productielijn die duizenden verschillende matrasvarianten aankon – in totaal wel 9.600.[83] Een lijn die niet in grote blokken produceert, maar stuk voor stuk, precies op bestelling. Auping heeft momenteel een productiviteit van 1 matras per minuut.[84,85] Voor 2024 werd de productie van matrassen grotendeels met de hand gedaan.[86]

In het nieuwe ontwerp voeren robots complexe taken uit die voorheen zwaar en lastig waren. Ze draaien bijvoorbeeld enorme matrasdelen van 1,80 bij 2,30 meter soepel rond, zonder te haperen. Ze lijmen lagen staal en polyester nauwkeurig op elkaar en bouwen zo elke minuut een unieke matraskern op. De hele lijn wordt aangestuurd door Aupings ERP-systeem, waardoor elke order automatisch wordt vertaald naar robotbewegingen.

Door deze slimme robotisering veranderde de fabriek. Menselijke operators hoefden niet meer zwaar of repeterend werk te verrichten, maar kregen nieuwe rollen in kwaliteitscontrole en procesbewaking. Productie werd sneller, consistenter en schaalbaarder. In plaats van beperkingen door handwerk, ontstond er een productielijn die klaar is voor een toekomst waarin circulair maken de norm wordt.
Auping robotiseerde dus niet zomaar – het deed dat met visie, slimme technologie en partners met dezelfde ambitie. En zo bouwde het bedrijf een fabriek die niet alleen matrassen maakt, maar ook een voorbeeld werd van hoe robotisering, duurzaamheid en flexibiliteit hand in hand kunnen gaan.

82 Auping case: https://www.hollandertechniek.nl/wp-content/uploads/2025/03/De-Innovatie-Circulaire-Revolutie-van-Auping-2.pdf

83 Ibid
84 Ibid
85 Auping opent nieuwe fabriek: https://www.supplychainmagazine.nl/auping-opent-nieuwe-fabriek-voor-productie-van-circulaire-matrassen/
86 Ibid

3.2 Succesfactoren

De succesfactoren zijn gecategoriseerd op basis van acht thema's: 1. technologie, 2. organisatie, 3. mens en cultuur, 3. wet- en regelgeving en 4. randvoorwaarden, 5. ecosysteem, 6. markt en economie, 7. internationaal marktperspectief, en 8. internationaal onderzoeksperspectief. Tabel 3.1 geeft een samenvattend overzicht van de succesfactoren. Tussen de succesfactoren bestaan onderlinge relaties.

Tabel 3.1 Overzicht van succesfactoren voor robotisering

Categorie	Stimulerende of versnellende factoren
Technologie	• Technologische ontwikkelingen die geschiktheid robots verhogen • Aandacht voor systeemgerichte installatie biedt hogere productiegraad en minder fouten • Opkomst van AI helpt bij (systeem)integratie, maakt nieuwe aanpak mogelijk en vergroot engineeringscapaciteit • Open source aanpak van (enkele) robot producenten opent nieuwe mogelijkheden voor bedrijven • Filmpjes van robots (humanoids) uit China die hype aanjagen
Organisatie	• Aanvullen van bestaand en toekomstig tekort aan personeel • Processen optimaliseren • Durven en doen • Stapsgewijze aanpak ten aanzien van automatisering, eerst laaghangend fruit en starten met procesoptimalisatie
Mens en cultuur	• Aangetoond tekort aan vakbekwaam (technisch opgeleide) menskracht, o.a. door vergrijzing, uitval door zwaar werk, en lager aantal opgeleiden • Robots kunnen assisteren bij fysiek en mentaal belastend, minder leuk of vies werk • Combinatie van robots en digitale werkinstructies om werknemers op ander niveau te laten werken • Inspiratie om mensen op een andere manier inzetten (bijv. om robots te instrueren, corrigeren) • Lange termijn perspectief voor werknemers bij goede introductie van robots • Robotisering aanpak sluit aan bij mensbeeld van bedrijf en maatschappij
Wet-en regelgeving en randvoorwaarden	• Kaders waar binnen gehandeld kan worden • Focus op veiligheid en betrouwbaarheid • Normen en waarden voor Nederland en Europa in technologie en innovatie
Ecosysteem	• Goede voorbeelden in fieldlabs en demo's • Goede kennisdeling en samenwerking tussen partijen uit onderzoek, onderwijs en markt
Markt en economie	• Wens om levenstandaard hoog te houden vraagt om het verhogen productiegraad • Concurrentiedruk en marktpositie • Hoge personeelskosten, e.g., minimum loon en ziekte • Aanschafkosten van robots dalen • Succesvolle robotisering verlaagt kostprijzen en verbetert concurrentiepositie/kracht • Hogere productiviteit, minder uitval • Robotisering biedt mogelijkheden voor nieuwe businessconcepten en nieuwe organisatievormen • Productie wordt consistenter met (goede) integratie van robots • Lager stroomverbruik dan traditionele machines (ongeveer 35% lager)
Internationaal (markt)	• Succesvolle robotisering verlaagt kostprijzen en verbetert concurrentiepositie/kracht
Internationaal (onderzoek)	• Heel goed (sterk en actief) ecosysteem, bestaande onderzoek, onderwijs en markt • Samenwerken is beter voor kennisontwikkeling en innovatie bij lage TRLs • Nederland is goed in het hebben van een systeemblik: techniek én mens

Technologie
Ontwikkelingen op technologisch vlak maken robots geschikt om in te zetten. Goede installatie van robots, met aandacht voor het gehele productieproces waarin robots worden geïntegreerd, zorgt voor een aantoonbaar hogere productiegraad met minder fouten. De opkomst van AI is een belangrijke katalysator voor de integratie van robots en verregaande robotisering. AI wordt steeds meer gemeengoed, rekenkracht van computers wordt ook beter en bereikbaar voor meer bedrijven. Voor toepassingen in de praktijk vormt AI een belangrijke factor voor het ondersteunen van systeemintegratie, bijvoorbeeld om de samenwerking tussen robots te versterken. Daarnaast verwachten experts dat AI ontwikkelingen oplossingen kunnen bieden voor problemen, die traditioneel programmeren en waarnemen via sensoren nog niet op kunnen lossen.

Naast de opkomst van AI is de beweging naar open source ook een stimulans voor robotisering. Er zijn enkele grote robotmerken die hun technologie toegankelijk maken, met open source platformen. Dit geeft bedrijven eigenaarschap over de robot technologie die ze inkopen en maakt integratie met bestaande systemen gemakkelijker. Bedrijven kunnen, mits ze de expertise in huis hebben, nieuwe systemen daardoor beter naar eigen wens inrichten. Het aanpassen en onderhouden van systemen wordt daardoor eenvoudiger, omdat er geen experts bij de leverancier ingehuurd hoeven worden.

Het enthousiasme voor robotisering wordt verder aangewakkerd door beelden die uit China naar buiten komen. Voor humanoids, een van de robottypes die nu veel in de aandacht staat, komen veel opnames van demonstraties naar buiten die aantonen waar de technologie toe in staat is. Dit wekt interesse en leidt tot inspiratie, maar experts wijzen wel naar de noodzaak van een kritische blik op de meerwaarde die humanoids werkelijk kunnen bieden in de praktijk. Het risico bestaat dat de praktische toepassingsmogelijkheden nog niet voldoende volwassen of robuust zijn. Het concrete bewijs uit de praktijk ontbreekt nog, waardoor er nu eerder gesproken kan worden van een hype.

Organisatie
Robotisering wordt gestimuleerd door een aantoonbaar tekort aan personeel, inclusief, maar niet beperkt tot, specialistisch opgeleide mensen. Het tekort aan personeel zal naar verwachting groeien in de toekomst, onder andere door vergrijzing. Robotisering vormt een oplossing om dit tekort aan arbeidskrachten aan te vullen en de productiegraad van Nederland hoog te houden. Experts zien dat een stijgend aantal bedrijven de overstap maakt van verkenning van robotinzet naar werkelijke aanschaf van robots. Volgens experts is durf een belangrijke succesfactor voor robotisering. De durf kan worden ondersteund door relevante inzichten uit organisatieprocessen op te halen. Een stapsgewijze en integrale aanpak maakt de overstap naar robotinzet beheersbaar en haalbaar. Succesvolle robotisering begint met een analyse en optimalisatie van de organisatie en productieprocessen. Vervolgens zijn organisaties beter in staat om inzichtelijk te maken of robotinzet meerwaarde zal bieden. Bedrijven kunnen bijvoorbeeld voldoende winst halen uit procesoptimalisatie met andere automatiseringsoplossingen, dus zonder de inzet van robots. Processen met een hoge standaardiseringsgraad zijn geschikt om robots in te zetten.

Mens en cultuur
Robotisering wordt gestimuleerd door de voordelen van robots voor zowel personeel als bedrijven. Bedrijven worden geconfronteerd met het aantoonbare tekort aan (gespecialiseerd) personeel, met als gevolg dat hetzelfde werk door minder mensen moet worden uitgevoerd. Robot inzet vermindert ook de impact van mentaal of fysiek zwaar werk op mensen die in productielijnen werken, wat de kans op uitval van personeel verkleint. Robotisering is om deze reden aantrekkelijk voor zowel personeel als bedrijven, omdat personeel langer gezond is en bedrijven niet geconfronteerd worden met bijkomende kosten.

De opkomst van robots wordt vergezeld door de verwachting of angst dat er minder werk beschikbaar zal zijn voor mensen. Experts zien dat dit voor weerstand kan zorgen in de praktijk. Cijfers over de arbeidsmarkt geven echter nog geen indicatie dat deze angst werkelijkheid wordt. De verwachting van experts is wel

dat het type werkzaamheden en de invulling van banen gaat veranderen wanneer robotisering verder ontwikkelt.

Een succesfactor voor bedrijven die helpt weerstand te voorkomen, is een goede introductie van robots bij het personeel. Door personeel mee te nemen in het proces en uit te leggen wat de voordelen zijn, kan de angst op baanverlies of verandering van werk worden getemperd. De angst voor het verliezen van banen lijkt op basis van de cijfers ook niet werkelijkheid te worden, al zal het type banen en soort werkzaamheden naar waarschijnlijkheid veranderen. Met de inzet van robots kunnen mensen met andere taken aan de slag, waarbij mens en robot elkaar aanvullen. Door gestandaardiseerd werk over te laten nemen door robots, kunnen mensen bijvoorbeeld ingezet worden voor het instrueren en corrigeren van robots. Daarnaast zijn vernieuwingen in digitalisering, zoals digitale werkinstructies, ook een opkomend hulpmiddel. Door goede werkinstructies op te nemen en te gebruiken bij complexere taken, kunnen mensen breder ingezet worden dan waar ze direct voor opgeleid zijn.

Experts verwachten niet dat mensen volledig uit productieprocessen geautomatiseerd zullen worden, wegens de nog bestaande beperkingen van robots. Robots worden echter wel als goede aanvulling op menskracht gezien. Experts zien dan voornamelijk meerwaarde in het verbeteren van werkomstandigheden, zodat zwaar, vies en minder leuk werk opgepakt kan worden door robots.

Robotisering heeft grotere kansen op succes wanneer de aanpak bij het introduceren van robots aansluit bij die visie van het bedrijf op de integratie van robots en de interactie tussen mens en robot. In de praktijk zien experts twee overkoepelende visies of principes terug. Het eerste principe stelt dat “werk weg geautomatiseerd moet worden” en de tweede principe stelt dat “werk zorgt voor betekenisgeving.” De twee principes hangen samen met motivaties voor robotisering en resulteren in verschillende aanpakken.

Bedrijven die het eerste principe aanhangen zetten in op volledige automatisering en vermindering van menskracht in productieprocessen. Op termijn zullen deze bedrijven minder personeel in dienst hebben. Bedrijven die vanuit het tweede principe handelen, zullen zich meer richten op de ontwikkeling en veranderende rol van mensen. In deze situatie, wordt robotisering gezien als een kans voor mensen om zich op taken te richten die verdere professionele en persoonlijke groei stimuleren.

De twee principes vragen om een andere handelingswijze ten aanzien van mensen en cultuur. Bedrijven die volledig willen automatiseren zullen personeel goed moeten voorbereiden op de veranderingen die zullen komen. Daarnaast is begeleiding naar ander werk van belang als personeel overtallig wordt. Bedrijven die het tweede principe centraal stellen, vinden succes met het introduceren van programma’s zoals “leven lang leren” voor hun personeel.

Welk principe wenselijk is om aan te hangen of tot betere uitkomsten leidt, valt niet binnen de scope van dit onderzoek. De verschillende principes maken inzichtelijk dat onderliggende normen en waarden van bedrijven bepalen welke strategie voor automatisering, digitalisering en robotisering bij hen past en dat beslissingen in deze processen van invloed zijn op de kans op succes.

Voor een casus waarin de arbeidsproductiviteit verhoogd is en waarin de medewerkers een sleutelrol hebben gespeeld zie Box 5.

Box 5 Casus: Hoe Gooskens Hout haar arbeidsproductiviteit verhoogde[87]

Gooskens Hout is één van de grootste vurenhoutleveranciers in de Benelux. Tien jaar geleden verwerkte het bedrijf 90.000 kubieke meter hout met 45 productiemedewerkers. Nu verwerken ze 230.000 kubieke meter met 80 medewerkers. Dat is een toename van 156% in volume, terwijl het personeelsbestand met 78% groeide. Per werknemer stijgt daarmee de output met 44%.

Deze groei kwam door gerichte investeringen in moderne schaafmachines, afkortzagen en een verlijmstraat. Maar ook door digitalisering: kunstmatige intelligentie helpt bij het efficiënter plannen van orders, en een zogenaamde Woodeye draait planken automatisch in de juiste positie voor verdere bewerking.

In Helmond worden prefab-pakketten samengesteld met geautomatiseerde aan- en afvoer. Hiermee maakt handmatig werk steeds meer plaats voor machinebediening binnen dit bedrijf. De medewerkers van Gooskens ontwikkelen zich tot operators, en dat vraagt om andere competenties. Daarom investeert Gooskens ook actief in scholing en betrekt medewerkers bij het bedenken van oplossingen. Het verhogen van arbeidsproductiviteit draait daarbij om machines en slimme routing, maar uiteindelijk is de samenwerking tussen mensen het meest bepalend, aldus het bedrijf.

87 Productiviteit in maakindustrie moet 50% omhoog volgens Rabobank: drie bedrijven laten zien hoe: https://nederlandmaakt.nl/productiviteit-in-maakindustrie-moet-50-omhoog-volgens-rabobank-drie-bedrijven-laten-zien-hoe/

Wet- en regelgeving en randvoorwaarden

Volgens experts is de meerwaarde van wettelijke kaders zichtbaar wanneer aspecten zoals veiligheid centraal staan. Regelgeving zorgt er voor dat ontwikkeling en implementatie van robots veilig gebeurt en dient ter voorkoming van ongevallen. De wettelijke kaders bieden sturing aan zowel Nederlandse als internationale producenten. Ondanks dat de wettelijke randvoorwaarden en kaders voor complexiteit zorgen voor producenten en maakbedrijven, is verantwoord innoveren een belangrijk thema.

Ecosysteem

In Nederland bestaat een sterk en divers ecosysteem rondom robotisering. Volgens de experts is dit een belangrijke succesfactor. In verschillende sub sectoren zijn tal van partijen actief op het gebied van onderzoek, onderwijs en marktontwikkeling. De kracht van dit ecosysteem ligt met name in de onderlinge verbindingen: partijen weten elkaar goed te vinden, waardoor kennisdeling en het uitwisselen van ervaringen en best practices gestimuleerd worden. Dit komt onder meer tot uiting tijdens evenementen, via demonstrators en binnen fieldlabs.

Daarnaast is er sprake van intensieve samenwerking tussen kennisinstellingen, onderwijsinstellingen en en bedrijven. Hoewel verdere ondersteuning en financiering wenselijk zijn, zijn er al vele samenwerkingsvormen waarin deze partijen gezamenlijk optrekken.

Een belangrijke factor in het versterken van relaties tussen organisaties binnen het ecosysteem is tijd. Meerjarige projecten bevorderen wederzijds begrip en vertrouwen, wat de bereidheid vergroot om te experimenteren met robotisering. Langdurige samenwerkingsverbanden blijken doorgaans succesvoller dan projecten waarin partijen voor het eerst in een nieuwe samenstelling met elkaar werken.

Met name bedrijven of instituten die toegang hebben tot een breed scala aan expertises, zoals grotere universiteiten, ondervinden profijt van de samenwerking. Voor deze partijen is het eenvoudiger om relevante specialismen te vinden en te

betrekken in projecten waarin specifieke kennis noodzakelijk is.

Markt en economie
Investeren in robotisering wordt in toenemende mate beschouwd als een noodzakelijke voorwaarde om de levensstandaard in Nederland te behouden en om concurrerend te blijven, zowel nationaal als internationaal, waar arbeids- en productiekosten vaak lager liggen dan in Nederland. Om deze concurrentiepositie te waarborgen, moet de productiviteit stijgen. Gezien het huidige en toekomstige personeelstekort is verdere automatisering en robotisering daarbij van cruciaal belang.

De overstap naar robottoepassingen wordt bovendien vergemakkelijkt door de dalende aanschafkosten van robots. Hierdoor is de instapdrempel voor organisaties aanzienlijk lager dan in het verleden. Naast kostenreductie spelen potentiële marktvoordelen een belangrijke rol in de beslissing om te investeren in robotisering. Verder biedt de beschikbaarheid van robot-as-a-service-modellen organisaties een flexibel alternatief voor directe kapitaalinvesteringen.

Investeringen in robotisering kunnen leiden tot lagere kostprijzen en een verbeterde concurrentiepositie voor maakbedrijven doordat de productiviteit toeneemt. In sommige gevallen kunnen verkoopprijzen van producten daardoor 10%–20% lager liggen dan die van concurrenten.[88]

De kostenreductie ontstaat met name door minder productuitval en een hogere mate van productieconsistentie. Daarnaast verbruiken moderne machines aanzienlijk minder energie dan traditionele apparatuur, soms tot 35% minder, wat eveneens resulteert in lagere operationele kosten voor maakbedrijven.[89]

Internationaal marktperspectief
Op internationaal niveau ondervinden Nederlandse maakbedrijven vergelijkbare uitdagingen op het gebied van concurrentiekracht, met name in vergelijking met landen waar de arbeidskosten aanzienlijk lager liggen en producten tegen scherpere prijzen kunnen worden aangeboden. Robotisering kan bijdragen aan het verlagen van productiekosten en daarmee het versterken van de internationale positie van Nederlandse bedrijven.

Uit gesprekken met experts blijkt dat zowel China als de Verenigde Staten, naast hun hoge adoptiegraad van robotica, een steeds dominantere rol spelen in de verdere ontwikkeling van robots. China is momenteel zeer actief op het gebied van humanoïde robots, terwijl de Verenigde Staten voorop lopen in de ontwikkeling en toepassing van kunstmatige intelligentie. Beide technologische richtingen staan internationaal sterk in de belangstelling en versterken de interesse in robots.

Om de internationale positie van Nederland te behouden of juist te versterken, is het van belang dat Nederlandse bedrijven minimaal meebewegen met het tempo van technologische ontwikkelingen in concurrerende landen. Tegelijkertijd beschikken Nederlandse maakbedrijven volgens experts over onderscheidende sterke punten. Vooral de hoogwaardige systeemintegratiecapaciteiten en de nadruk op kwaliteit en stabiliteit dragen eraan bij dat Nederlandse producten internationaal gewaardeerd en gewild blijven.

Internationaal onderzoeksperspectief
Binnen de onderzoekswereld in Nederland wordt geïnvesteerd in robotisering gedreven door kunstmatige intelligentie. Tevens wordt ook gewerkt aan alternatieve ontwikkelpaden. In plaats van het narratief te volgen dat Nederland achterloopt of kansen heeft gemist, zijn experts ook van mening dat de positie van Nederland versterkt kan worden door een eigen filosofie en niche te ontwikkelen. Voorbeelden hiervan zijn de focus op de “high-mix-low volume” productie in Nederland en de eerder genoemde “lazy robotics” als alternatief voor AI-gedreven oplossingen met hoge databehoefte. Door dergelijke niches verder uit te bouwen ontstaat een vernieuwende route waarop Nederlands robotiseringsonderzoek zich kan onderscheiden en waarop Nederland internationaal concurrerend kan worden meegedaan.

88 Op basis van expert input.
89 Ibid

3.3 Barrières

De barrières zijn gecategoriseerd op basis van de acht thema's: 1. technologie, 2. organisatie, 3. mens en cultuur, 3. wet- en regelgeving en 4. randvoorwaarden, 5. ecosysteem, 6. markt en economie, 7. internationaal marktperspectief, en 8. internationaal onderzoeksperspectief. Tabel 3.2 geeft een samenvattend overzicht van de barrières. Tussen de barrières bestaan onderlinge relaties.

Tabel 3.2 Barrières die robotisering remmen of zelfs tegenhouden

Categorie	Stimulerende of versnellende factoren
Technologie	• Beperkte stabiliteit, robuustheid en flexibiliteit van de robots • Reparaties en onderhoud kan niet (altijd) in-house worden gedaan • Beperkingen om (impliciete) kennis van mensen in robots te integreren • Beperkte volwassenheid van innovaties om in te gaan zetten in de praktijk • Noodzaak tot hogere investering in bijvoorbeeld cybersecurity bij integratie van slimme systemen
Organisatie	• Gebrek aan awareness en niet weten waar te beginnen bij bedrijven • Teveel zoeken naar een kant-en-klare of bewezen oplossing die niet bestaan • Geen risico durven nemen • Gebrek aansluiting personeel op nieuwe technologie • Aandacht voor procesinnovatie afgenomen afgelopen 10 jaar • Te weinig (kundig) personeel om automatisering en robotisering goed te organiseren • Complexiteit van implementatie en integratie van robots, o.a. door sterke samenhang verschillende componenten binnen een organisatie • Gekozen robot sluit niet aan bij processen • Gekozen processen om te automatiseren leent zich niet of minder goed voor robotisering • Vendor lock-in • Tekort aan nodige data voor procesanalyse en verduidelijking kosten-baten
Mens en cultuur	• Weerstand, angst, onzekerheid, vooral bij oudere (50+) medewerkers en beperkte buy in van medewerkers • Tekort aan digitaal vaardige en gespecialiseerde mensen • Flexibiliteit van en snelheid van leren door mensen wordt nog niet geëvenaard door robots • Effect op Nederland en bredere context wanneer het bespaarde geld alleen naar het management team gaat
Wet-en regelgeving en randvoorwaarden	• Hoge regeldruk • Veiligheidseisen voor implementatie van robots • Beperkte standaardisatie waardoor niet aan randvoorwaarden kan worden voldaan • Nieuwe complexe machinerichtlijn waar ook cobots aan moeten aan voldoen
Ecosysteem	• Het is niet duidelijk wanneer partijen beter met elkaar kunnen samenwerken of elkaar als concurrentie kunnen zien. Inzichten hierover verschillen, zeker met betrekking tot partijen uit China of de VS. • De wil is er niet altijd om samen te werken binnen de waardeketen • Communicatie en outreach rondom bijvoorbeeld fieldlabs kan worden versterkt

Categorie	Stimulerende of versnellende factoren
Markt en economie	• Nederlandse markt wordt gekarakteriseerd als “High Mix, Low Volume,” wat uitdagingen biedt voor robots • Hoge instapkosten ondanks dalende prijzen voor robots • Goedkopere arbeidskrachten zijn (nog) verleidelijk • Kleine afzetmarkt resulteert in schaaluitdagingen • Instabiliteit van de markt en regelmatig veranderend beleid geven geen vertrouwen in mogelijkheden om investeringen terug te verdienen • Onzekerheden over ROI en kosten-baten maken dat banken niet zullen investeren • Bedrijven in nichemarkten ervaren minder druk om te robotiseren
Internationaal (markt)	• Hoge concurrentie met landen die producten voor lagere tarieven kunnen aanbieden • Afhankelijkheid van o.a. China in de aanschaf van robotonderdelen • Vragen rondom veiligheid en (bedrijfs-)spionage bij bijv. robots uit China
Internationaal (onderzoek)	• Financiering voor onderzoek is versplinterd • Concurrentie met ander, aantrekkelijker type onderzoek (zoals stamcelonderzoek) omdat er geen thematische splitsing is • Connecties maken binnen het ecosysteem kan verder versterkt worden • Meer ondersteuning nodig bij innovatie op het gebied van midden TRL niveau • Beperkte ondersteuning bij het in de praktijk brengen van wetenschappelijke uitkomsten • Vragen over meerwaarde van investeren in eigen visie of niche, of juist meegaan met innovaties uit andere landen

Technologie
Hoewel de ontwikkeling van robottechnologie de afgelopen jaren duidelijke vooruitgang heeft geboekt, ervaren maakbedrijven nog regelmatig problemen met uitval van robots, veelal door een gebrek aan robuustheid. Robots kunnen langdurig stil komen te staan, zeker wanneer reparaties niet intern kunnen worden uitgevoerd en een externe leverancier opgeroepen moet worden. Daarnaast geldt dat veel innovaties op het gebied van robotisering nog niet voldoende volwassen zijn voor grootschalige inzet. Beperkingen rond stabiliteit en robuustheid maken het voor bedrijven minder aantrekkelijk om te investeren in robots, ondanks de sterke aandacht en verwachtingen die rondom robotisering bestaan.

Een bijkomende barrière is de vaak nog beperkte flexibiliteit van robots. Robots functioneren het meest efficiënt wanneer zij repeterende taken uitvoeren met weinig productvariatie. De Nederlandse maakindustrie wordt echter gekenmerkt door een high-mix, low-volume productie: een grote variatie in producten in relatief kleine oplages. Om in dergelijke omstandigheden effectief inzetbaar te zijn, moeten robots regelmatig opnieuw worden geprogrammeerd. Dit kan tijdrovend zijn omdat de nieuwe instellingen in veel gevallen door een programmeur van de leverancier moet worden uitgevoerd. Experts verwachten dat verdere ontwikkelingen in AI dit proces zal versnellen, doordat het opnieuw instellen of zelfs trainen van robots en AI-modellen eenvoudiger wordt en sneller gaat.

Nieuwe technologieën brengen aanvullende risico's met zich mee die barrières kunnen vormen voor robotisering. De toenemende integratie van slimme systemen en cloud-gebaseerde oplossingen stelt hogere eisen aan cybersecurity voor zowel robotleveranciers als productiebedrijven. Zo werd in 2025 de fabriek van Jaguar Land Rover getroffen door een ernstige hack, waardoor meerdere productielocaties langdurig stil kwamen te liggen.[90] Dit leidde tot aanzienlijke kosten en bracht zelfs risico's op faillissement met zich mee, niet alleen voor Jaguar Land Rover zelf maar ook voor leveranciers in de keten. Deze casus illustreert dat moderne robotiseringsoplossingen zonder adequate beveiliging een kwetsbaarheid vormen in plaats van een bron van efficiëntie en betrouwbaarheid, en dat deze risico's zich kunnen uitstrekken over een groot deel van het ecosysteem.

Organisatie
Binnen organisaties bestaan diverse barrières die de implementatie van robotisering bemoeilijken. Een eerste uitdaging voor organisaties is het identificeren van geschikte toepassingsmogelijkheden. Volgens experts komt dit vaak voort uit een beperkt bewustzijn van de beschikbare robottechnologieën, de wijze waarop robots geïntegreerd kunnen worden in bestaande processen en de potentiële economische meerwaarde. Soms is er wel een duidelijke wens tot robotisering over te gaan, maar wordt gekozen voor een oplossing die onvoldoende aansluit bij de operationele processen, bijvoorbeeld door vendor lock-in of doordat een proces wordt geautomatiseerd dat daarvoor in essentie niet geschikt is.

Veel bedrijven zoeken naar kant-en-klare of bewezen oplossingen, terwijl deze in veel gevallen niet bestaan. Er bestaat geen generiek implementatiemodel dat eenvoudig overgenomen kan worden. Hoewel er succesverhalen zijn die aantonen dat robotisering waarde kan toevoegen en op welke manier, betekent dit niet dat er een generiek implementatiemodel beschikbaar is dat eenvoudig kan worden overgenomen. Daar komt bij dat data over productieprocessen vaak ontbreekt of van onvoldoende kwaliteit is (bijvoorbeeld incompleet of niet gestructureerd), waardoor het lastig is om onderbouwde analyses of simulaties uit te voeren. Dit belemmert het maken van gedegen kosten-batenanalyses en daarmee het nemen van goed geïnformeerde investeringsbeslissingen.

Wanneer organisaties daadwerkelijk overgaan tot implementatie, is het essentieel dat het proces goed wordt georganiseerd en dat medewerkers tijdig en zorgvuldig worden meegenomen in de verandering. In de praktijk gebeurt dit volgens experts niet altijd of niet in voldoende mate. Daarnaast vormt het

90 Inside the Jaguar Land Rover hack: stalled smart factories, outsourced cybersecurity and supply chain woes | Jaguar Land Rover | The Guardian

eerder genoemde personeelstekort ook een barrière voor de implementatie van robots. De borging van kennis vormt hierbij een belangrijk aandachtspunt: zowel proceskennis binnen de organisatie als technische kennis van medewerkers is vaak impliciet en wordt niet automatisch op een gestructureerde manier vastgelegd, waardoor waardevolle informatie verloren kan gaan.

De sterke verwevenheid van bedrijfsprocessen en de noodzaak om medewerkers nauw te betrekken maken robotisering tot een complex optimalisatievraagstuk. Deze complexiteit wordt verder zichtbaar bij het introduceren van een robot en toont de noodzaak voor maatwerk bij robotimplementatie. Variabiliteit die voortkomt uit specifieke contextuele factoren verkleint de voorspelbaarheid van succes, waardoor er geen garantie bestaat dat investeringen daadwerkelijk worden terugverdiend. Door de afwezigheid van garanties, kan terughoudendheid ontstaan om te kiezen voor robotisering.

Mens en cultuur

Zoals eerder gesteld, kan de introductie van robots leiden tot weerstand, angst en onzekerheid bij medewerkers. Dit effect komt volgens experts vaker voor onder oudere werknemers. De wijze waarop organisaties medewerkers meenemen in het implementatieproces is van groot belang. Door werknemers tijdig, zorgvuldig en op transparante wijze te betrekken, kunnen zorgen worden weggenomen of in ieder geval verminderd. Desondanks kan de vrees dat automatisering en robotisering tot baanverlies leidt, bij sommige medewerkers blijven bestaan, en kunnen negatieve beelden over robotisering een barrière vormen.

Experts verwachten echter niet dat mensen volledig uit productieprocessen zullen verdwijnen. Robots leren minder snel dan mensen en beschikken nog niet over dezelfde mate van flexibiliteit. In een van de interviews werd benadrukt dat het programmeren van een robot in sommige gevallen meer tijd en middelen kost dan het inzetten van een medewerker. Operators zijn adaptiever dan robots, waardoor zij beter functioneren in productieomgevingen die flexibiliteit vraagt, een kenmerk dat in veel Nederlandse maakbedrijven sterk aanwezig is.

Samenwerking tussen mens en robot blijft een essentieel aandachtspunt voor organisaties die robotisering toepassen. Het aantrekken en behouden van personeel met relevante kennis en specialistische vaardigheden vormt in dat licht een blijvende uitdaging.

Daarnaast houden veel bedrijven rekening met hun maatschappelijke rol en belangen van mensen, wat een barrière kan vormen voor verdere investeringen in robotisering. Sommige organisaties zien zichzelf als belangrijke pijlers in de lokale gemeenschap en voelen een verantwoordelijkheid om werkgelegenheid te behouden. Het aanbod van werk en banen vormt een cruciale factoren voor de welvaart van bijvoorbeeld gemeenten, waardoor de keuze voor verregaande robotisering ertoe kan leiden dat bedrijven negatief worden beoordeeld door de omgeving. Een mogelijke oplossingsrichting is het heroverwegen van beloningsstructuren wanneer robotisering leidt tot hogere winstgevendheid, zodat voordelen breder worden gedeeld en niet alleen bestaan voor de directie van een bedrijf. Dergelijke initiatieven zijn echter nog niet breed opgezet.

Wet- en regelgeving en randvoorwaarden

Hoewel uit de gesprekken blijkt dat de waarde van wet- en regelgeving wordt onderkend, geven bedrijven tegelijkertijd aan een hoge regeldruk te ervaren. Het kost aanzienlijk veel tijd en inspanning om relevante voorschriften op het gebied van bedrijfsvoering, veiligheid en overige relevante kaders correct toe te passen. De omvang en complexiteit van deze regelgeving maken dat organisaties minder ruimte overhouden om zich te verdiepen in robotisering.

Een voorbeeld dat het bedrijfsleven momenteel bezighoudt is de nieuwe Machinerichtlijn[91], waaraan ook cobots moeten voldoen. Volgens experts is deze richtlijn bijzonder complex en impactvol.[92]

91 Verordening (EU) 2023/ van het Europees Parlement en de Raad van 14 juni 2023 betreffende machines en tot intrekking van Richtlijn 2006/42/EG van het Europees Parlement en de Raad en Richtlijn 73/361/EEG van de Raad

92 De impact van de Machineverordening op Nederlandse bedrijven

Daarnaast hebben cobots niet eerder aan een dergelijke normering hoeven voldoen, waardoor onduidelijkheid bestaat welke praktische gevolgen de nieuwe richtlijn met zich mee zal brengen.

Beperkte standaardisatie binnen het robotiseringsdomein is een belangrijke barrière volgens experts. Het ontbreken van uniforme standaarden leidt tot hogere kosten, omdat technologieën vaak verschillende interfaces, componenten en onderhoudsprocessen kennen. Integratie en beheer wordt hierdoor aanzienlijk bemoeilijkt en beperkt flexibiliteit. Elke wijziging of vernieuwing in het productieproces vereist aanpassingen in de integratie van robots en systemen. Ook wordt het overstappen naar andere leveranciers lastiger, waardoor het risico op vendor lock-in toeneemt.

Ecosysteem

Zoals beschreven onder succesfactoren, weten organisaties en bedrijven binnen het Nederlandse robotiseringsecosysteem elkaar goed te vinden, wordt er actief samengewerkt en wordt kennis en ervaring onderling gedeeld. Tegelijkertijd geven experts aan dat het ecosysteem ook versterking en ondersteuning nodig heeft. Veel bedrijven maken onvoldoende tijd vrij om evenementen, demonstrators of fieldlabs te bezoeken, terwijl dergelijke activiteiten waardevolle inzichten en inspiratie kunnen opleveren. Volgens experts is intensievere communicatie- en een disseminatiestrategie vanuit fieldlabs en demonstrator faciliteiten wenselijk om deelname door de praktijk te vergroten.

Hoewel praktijkinzichten van grote waarde kunnen zijn voor bedrijven die met robotisering aan de slag willen, ervaren organisaties hierin ook drempels. Om concurrerend te blijven, moeten bedrijven zorgvuldig afwegen wanneer samenwerking voordelen biedt en wanneer het delen van kennis hun concurrentiepositie mogelijk verzwakt. Deze spanning, in combinatie met tijdsgebrek, zorgt ervoor dat de bereidheid tot samenwerking binnen het ecosysteem niet uniform aanwezig is.

Markt en economie

Een sterke barrière op het gebied van markt en economie is volgens experts de onzekerheid rondom de werkelijke Return on Investment (ROI). Deze onzekerheid wordt versterkt door de onvoorspelbaarheid van de markt, mede als gevolg van beleidswijzigingen (bijvoorbeeld op het gebied van energieprijzen) en bredere maatschappelijke ontwikkelingen. Het terugverdienen van een robot kan tot drie jaar duren, wat voor veel bedrijven een relatief lange investeringshorizon vormt.[93] Bovendien is het vaak moeilijk vooraf vast te stellen wat de uiteindelijke ROI zal zijn. Volgens experts is deze onzekerheid ook een belangrijke reden waarom banken terughoudend zijn met het verstrekken van leningen aan bedrijven die willen investeren in robotisering.

Eigenschappen van de Nederlandse markt vormen eveneens een barrière voor verdere versterking van robotisering. Zoals eerder benoemd, kenmerkt de Nederlandse maakindustrie zich door een high-mix, low-volume productiestructuur, wat aanzienlijke technische uitdagingen met zich meebrengt. Daarnaast leidt de relatief kleine afzetmarkt in Nederland en Europa tot schaalnadelen. Voor rendabele robotisering is doorgaans een hogere productiegraad noodzakelijk, maar de beperkte marktgrootte maakt schaalvergroting lastiger. Dit contrasteert sterk met landen als de Verenigde Staten en China, waar de grotere binnenlandse markten het mogelijk maken om substantieel hogere volumes te produceren. Hierdoor kunnen bedrijven uit deze landen hun producten internationaal tegen lagere prijzen aanbieden, wat hun concurrentiekracht vergroot.

De stap om tot investeringen in robotisering over te gaan wordt nog vaak uitgesteld. Hoewel de aanschafkosten van robots dalen, blijven de instap- en implementatiekosten hoog. Voor sommige organisaties is het momenteel economisch aantrekkelijker om arbeidskrachten uit lageloonlanden in te zetten, wat de prikkel om te automatiseren en robotiseren verder verlaagt. Daarnaast opereren sommige Nederlandse bedrijven in nichemarkten met beperkte concurrentiedruk, waardoor de urgentie om te robotiseren minder sterk is.

93 Interview

Internationaal marktperspectief
Ontwikkelingen op de internationale markt hebben een sterke impact of de Nederlandse maakindustrie. Nederlandse bedrijven ervaren concurrentiedruk vanuit de Verenigde Staten en China, waar schaalvoordelen mogelijk zijn door hogere robotiseringsgraden en grotere binnenlandse markten.

Naast de internationale concurrentiedynamiek spelen ook zorgen rondom strategische afhankelijkheden een rol. Veel robotonderdelen zijn niet in Nederland verkrijgbaar, waardoor zowel de aanschaf van componenten als het uitvoeren van onderhoud sterk afhankelijk is van buitenlandse leveranciers, bijvoorbeeld uit Azië. Deze afhankelijkheid vormt op zichzelf al een uitdaging en krijgt door geopolitieke en economische ontwikkelingen steeds meer aandacht.

Daarbovenop komen zorgen rondom (bedrijfs-)spionage en sabotage. Tijdens de gesprekken met experts werd besproken dat geïntegreerde sensoren en camera's in robots potentieel gebruikt kunnen worden om informatie te verzamelen over Nederlandse bedrijven. Dit roept bij bedrijven vragen op over de veiligheid van technologieën die zijn ontwikkeld of gefabriceerd in landen waarmee geopolitieke spanningen bestaan. Dergelijke risico's kunnen de bereidheid van bedrijven om robots aan te schaffen uit deze landen verkleinen.

Internationaal onderzoeksperspectief
Op het gebied van onderzoek en innovatie van robotica, bestaan ook enkele barrières. Een fundamentele uitdaging voor onderzoekers is volgens de experts het vinden van een niche waar hun onderzoeksgroepen en Nederland zich in kunnen onderscheiden. Hoewel Nederland bekend staat om expertise in systeemgericht onderzoek, bestaan er zorgen dat een achterstand is ontstaan op onderwerpen zoals AI. Tegelijkertijd werken diverse onderzoeksgroepen aan de ontwikkeling van een eigen perspectief en benadering van AI, om te voorkomen dat Nederland en Europa in een positie van technologische afhankelijkheid terechtkomen of blijven.

Daarnaast vormen investeringen en subsidiëring van onderzoek een praktische uitdaging. Financieringsbronnen zijn sterk versnipperd, waardoor onderzoekers veel tijd kwijt zijn aan het identificeren van geschikte programma's. Grote subsidie-instrumenten die omvangrijke projecten ondersteunen, zijn aantrekkelijk maar tegelijkertijd zeer competitief. Daarbij komt dat de thematische focus breed is, waardoor voorstellen voor industriële automatisering concurreren met aanvragen op geheel andere terreinen, zoals stamcelonderzoek. Omdat beschikbare middelen beperkt zijn en maatschappelijk aantrekkelijke onderzoeksrichtingen vaak prioriteit krijgen, is de kans op financiering middels dergelijke subsidies laag voor robotica-onderzoek.

Experts van kennisinstellingen geven ook aan dat er in Nederland momenteel weinig financiële ondersteuning is voor onderzoek dat zich richt op de middelste Technology Readiness Levels (TRL).[94] Op deze TRL niveaus gaat het voornamelijk om testen, validatie, demonstratie en implementatie van prototypes. Er zijn in Nederland diverse voorbeelden te onderscheiden van fieldlabs en demo's op het gebied van robotica. Dat neemt niet weg dat geïnvesteerd zal moeten blijven worden in onderzoek naar robots en robotisering. Dat vraagt subsidiering van fundamenteel en grootschalig onderzoek.

Voor de commerciële haalbaarheid is het Market Readiness Level (MRL) van robots ook van belang. Hiervoor zijn de onderzoekers ook op zoek naar mogelijkheden om hun onderzoeksresultaten in de praktijk te toetsen en toe te passen (MRL 6-7). Hier zijn maar beperkte middelen voor en de kosten kunnen ook niet (alleen) gedragen worden door bedrijven uit de praktijk. Om robotisering aantrekkelijker te stimuleren en te versnellen, zullen financiële bronnen voor dit soort doelen nodig zijn.

94 Technology Readiness Levels (TRL) | RVO.nl

4. Stimuleren van robotisering

In dit hoofdstuk worden diverse aanbevelingen gedaan om de robotiseringsgraad van de Nederlandse maakindustrie te verhogen en de rol van Nederland in robot innovatie te versterken. De aanbevelingen zijn onderverdeeld in drie categorieën:

1. Technologische oplossingen,
2. Organisatorische maatregelen en
3. Beleid en investeringen.

Tussen deze categorieën bestaat een sterke onderlinge samenhang, aangezien innovatie en transitieprocessen niet vanuit één enkele invalshoek effectief kunnen worden gerealiseerd.

4.1 Technologische oplossingen

Van incrementele robot adoptie naar Dark Factories

Een van de uitdagingen voor maakbedrijven is het vaststellen waar en hoe te starten met robotisering. Voor maakbedrijven is het raadzaam te beginnen met een herbeoordeling van productieprocessen vanuit een breed perspectief op automatisering. Dit vormt de basis voor een geleidelijke, incrementele aanpak die zowel haalbaar als beheersbaar is. Door de gehele organisatie in dit proces te betrekken, wordt snel zichtbaar waar de eerste efficiëntiewinsten te behalen zijn. Daarmee kunnen maakbedrijven het vertrouwen binnen de organisatie vergroten, waardoor maakbedrijven vervolgens beter in staat zijn om grotere en complexere digitaliserings- en robotiseringstrajecten te omarmen.

Maakbedrijven die verder gevorderd zijn in hun automatiseringsproces kunnen een volgende stap zetten door hun bedrijfsvoering en onderliggende aannames opnieuw te evalueren. De continue technologische ontwikkelingen in het robotica domein bieden namelijk ruimte voor nieuwe verdienmodellen en vernieuwende organisatievormen. Ook voor deze koplopers geldt echter dat een transitie niet in één keer hoeft plaats te vinden. Hoewel de visies op volledig geautomatiseerde ‘Dark Factories’ (volledig geautomatiseerde fabrieken) uiteenlopen, kunnen dergelijke fabrieken aanzienlijke kansen bieden. Hierbij is het wel noodzakelijk om zorgvuldig te beoordelen of zowel het productieproces als de afzetmarkt voldoende geschikt zijn om de benodigde investeringen rendabel te maken.

Kies voor Europese oplossingen waar mogelijk

Uit dit onderzoek blijkt dat robots en hun componenten grotendeels uit het buitenland worden geïmporteerd.[95] Hoewel het maakbedrijven financieel aantrekkelijk kan zijn om onderdelen of complete robots uit landen zoals China of de Verenigde Staten in te voeren, creëert dit ook een afhankelijkheid en kwetsbaarheid. Om die reden wordt maakbedrijven waar mogelijk aangeraden om te kiezen voor Europese robots en robotonderdelen, waarvan de kosten mogelijk hoger liggen, maar de lange termijn gevolgen vanuit onder meer autonomie perspectief voordeliger kunnen uitpakken.

Stimuleer standaardisatie en open source om vendor lock-in te voorkomen

De implementatie en integratie van robots wordt belemmerd door een gebrek aan standaardisatie in het domein. Hierdoor ontstaan uitdagingen voor systeem integratie. Daarnaast kan er vendor lock-in ontstaan door de afhankelijkheid vaneen of enkele leveranciers van de robot of robot componenten.

Door als maakbedrijf bewust te kiezen voor leveranciers die open-sourceoplossingen aanbieden, behouden bedrijven meer flexibiliteit en kunnen zij het risico op vendor lock-in aanzienlijk verkleinen. Wel vraagt deze keuze om voldoende expertise: organisaties moeten beschikken over de juiste gespecialiseerde professionals die in staat zijn om de integratie, configuratie en het onderhoud van robots op een duurzame en veilige manier te realiseren. Indien ze deze mensen niet in huis hebben moeten ze die extern inhuren door bijvoorbeeld een systemintegrator te betrekken.

95 Rapport Wennink (2025)

4.2 Organisatorische maatregelen

Durf te doen
Een belangrijke voorwaarde voor robotisering is dat maakbedrijven de stap durven zetten om daadwerkelijk met robottechnologie aan de slag te gaan. Een zorgvuldige voorbereiding is daarbij essentieel. Maakbedrijven kunnen hiervoor inzichten ophalen en versterken via evenementen, fieldlabs, demonstrators of onafhankelijke adviseurs. Daarnaast is het van belang om een gedegen kosten-batenanalyse op te stellen, waarbij zowel de korte- als langetermijneffecten worden meegenomen. Dit helpt bedrijven om weloverwogen beslissingen te nemen en de verwachte opbrengsten van robotisering in relatie tot de benodigde investeringen realistisch in te schatten en af te wegen.

Om maakbedrijven te ondersteunen bij de stap naar robotisering, kunnen succesverhalen en instrumenten onder de aandacht worden gebracht via een landelijke campagne. Door ondernemers en werknemers als doelgroep te nemen, kunnen de noodzaak én kansen van robotisering voor beide groepen toegelicht worden. In een dergelijke campagne kunnen verschillende succesverhalen centraal gezet worden, bijvoorbeeld van maakbedrijven die dankzij robotisering hun concurrentiekracht hebben behouden of juist vergroot of verhalen van werknemers die zich verder hebben kunnen ontwikkelen.

Dataficeren van het maakbedrijf
Voor het ophalen van inzichten over bedrijfs- en productieprocessen en om ROI analyses uit te kunnen voeren is het essentieel dat bedrijven de juiste data voorhanden hebben. Een grondige analyse van interne processen wordt mogelijk door het systematisch verzamelen en verwerken van relevante operationele data. Deze informatie vormt de basis om kwantitatief te onderbouwen welke potentiële voordelen en risico's robotisering met zich meebrengt, om kosten en baten transparant te maken en om simulaties uit te voeren van mogelijke toekomstige scenario's. Op basis van deze inzichten kunnen bedrijven weloverwogen keuzes maken rondom automatisering, digitalisering en robotisering.

Zie Box 6 voor voorbeelden van ROI tools, die op de markt worden aangeboden.

Box 6 Voorbeelden van ROI tools
Diverse partijen bieden tools aan en proberen de ROI inzichtelijk te maken, enkele voorbeelden zijn:

- De Robot ROI calculator: Cobot ROI Calculator | Bereken Terugverdientijd Robot | Proces360
- Machine efficiëntie: OEE Calculator | Bereken Financiële Impact OEE Verhoging | Proces360
- Robot system value calculator: ROI Calculator for Robotics System Value
- Omron ROI calculator: ROI-calculator | OMRON, Nederland

Tegelijkertijd vertegenwoordigt deze data een waardevol strategisch bezit, dat in handen van concurrenten aanzienlijke gevolgen kan hebben. Een robuuste beveiliging van bedrijfs- en procesdata is daarom noodzakelijk. Daar komt bij dat de toenemende verwevenheid van slimme, verbonden systemen het risico op cyberdreigingen vergroot. Dit betekent dat investeringen in robotisering altijd gepaard moeten gaan met evenredige investeringen in informatiebeveiliging en cybersecurity, zodat de betrouwbaarheid, continuïteit en veiligheid van de systemen gewaarborgd blijven.

Investeren in mensen
In veel productieomgevingen blijven medewerkers een cruciale rol spelen, met name daar waar mensen samenwerken met robots. Het is daarom essentieel voor maakbedrijven om inzichten uit verandermanagement op te halen, toe te passen en actief aandacht te besteden aan het verminderen van weerstand of zorgen onder werknemers.

Bij de introductie van robotica is het van belang om medewerkers al in een vroeg stadium bij het veranderproces te betrekken. Hierdoor krijgen zij de gelegenheid om te wennen aan de nieuwe werkwijze, vragen te stellen en mee te denken over een effectieve en veilige integratie. Daarnaast biedt robotisering kansen voor medewerkers om zich te ontwikkelen richting meer technische of ondersteunende functies,

bijvoorbeeld door middel van scholing in programmering, onderhoud of systeem-diagnostiek. Programma's die "leven lang leren" stimuleren, zijn voor zowel het maakbedrijf als het personeel waardevol. Daarnaast kunnen maakbedrijven de samenwerking met mbo, hbo en wo-onderwijsinstellingen versterken om de aansluiting van het onderwijs en de praktijk verder te versterken.

Wanneer er desondanks medewerkers vertrekken, bijvoorbeeld doordat taken vervallen of op eigen initiatief, is het cruciaal dat bedrijven zorgen voor adequate kennisborging.

4.3 Beleid en investeringen

Stel een nationale robotiserings-agenda op

Er is een duidelijke behoefte aan richting-gevend beleid en een eenduidige strategie voor robotisering, zowel vanuit de markt als vanuit kennisinstellingen. Dit is essentieel omdat robotisering bijdraagt aan een breder maatschappelijk doel: het verhogen van de robotiseringsgraad om de concur-rentiepositie van de Nederlandse maak-industrie te versterken.

Een nationale robotiseringsagenda kan helder maken wat de lange termijndoelen zijn en welke investeringen noodzakelijk zijn om de robotiseringsgraad structureel te verhogen. Dit biedt maakbedrijven handelingsperspectief bij het afstemmen van strategische keuzes op het gebied van investeringen, technologische ontwikkeling en organisatorische innovaties. Ook onder-zoeksinstellingen kunnen hun onderzoeks-programma's doelgericht vormgeven wanneer zij zich kunnen baseren op een nationale strategie of agenda. Mogelijke aandachtspunten voor een nationale robotstrategie of agenda zijn:

- Positionering van Nederland
- Standaardisatie en vermindering van regeldruk
- Aandacht voor multidisciplinariteit[96]
- Subsidies voor startbudgetten om robot adoptie te stimuleren
- Stimulering van toegepast onderzoek en bijbehorende subsidies
- Robotica onderwijs en omscholings-trajecten
- Bevorderen van strategische autonomie in het robotica domein

Naast de noodzaak voor een nationale robotiseringsagenda bestaan in Nederland al meerdere strategische initiatieven die als essentieel fundament kunnen dienen voor versnelling (zie Box 7). Het expliciet verbinden van deze lopende programma's binnen één nationale agenda creëert samenhang, schaalgrootte en strategische autonomie. Door deze initiatieven te positioneren als bouwstenen onder de nationale robotstrategie kan Nederland sneller de stap zetten van pilots naar industriële implementaties op grote schaal.

96 Rapport Wennink (2025)

Box 7 – Lopende nationale robotica-initiatieven[97] (bron: rapport Wennink, 2025)
Nederland beschikt al over meerdere strategische initiatieven die het fundament vormen voor een nationale robotiseringsagenda. Deze programma's richten zich op onderzoek, innovatie, talentontwikkeling en sectorale doorbraken en kunnen direct worden gekoppeld aan de aanbevelingen in dit rapport.

1. **Foundational Robotics Lab (FRL)**
   Het Foundational Robotics Lab richt zich op de ontwikkeling van generieke robotica bouwstenen die breed toepasbaar zijn in zowel de industrie als voor de diensten sector. Het gaat om fundamentele vooruitgang in robotperceptie, manipulatie, besluitvorming en veilige samenwerking tussen mens en robot. Het FRL fungeert als nationaal kennisfundament voor de volgende generaties industriële automatisering, waaronder adaptieve robots, AIgedreven aansturing en deeptech robotica voor highmixlowvolume productie.
2. **Robotica Centre of Excellence (RCoE)**
   Het Robotica Centre of Excellence brengt industrie, kennisinstellingen en overheid samen in één nationaal knooppunt voor praktijkgerichte roboticainnovatie. De focus ligt op systeemintegratie, industriële implementatie, standaardisatie en validatie van roboticaoplossingen. Het RCoE fungeert als versnellende infrastructuur waar bedrijven prototypes kunnen testen, operators kunnen trainen en waar opschaalbare oplossingen worden ontwikkeld voor mkb en grootbedrijf.
3. **Robotisering Wind op Zee**
   Het programma Robotisering Wind op Zee ontwikkelt en demonstreert robotica en AItoepassingen voor inspectie, onderhoud en offshore-operaties voor Wind op Zee. De nadruk ligt op autonome of semi-autonome robots voor risicovolle, repetitieve en weersafhankelijke taken, zoals turbineinspecties, reparaties, kabelmonitoring en remote operations. Door robotisering van offshoreinfra te versnellen, draagt dit programma bij aan veiligheid, efficiëntie en strategische autonomie in een kritieke energievoorziening.
4. **AIgedreven robotica in land- en tuinbouw**
   In dit nationale initiatief worden AItechnieken en robotica ingezet om productieprocessen in de land en tuinbouw te automatiseren. Denk aan autonome oogstrobots, visiongestuurde kwaliteitscontrole, robotisering van kaslogistiek en precisielandbouw. De technologie helpt arbeidskrapte te reduceren, productie te optimaliseren en duurzaamheidsdoelen te realiseren. Nederland heeft hier door kennis in agrofood, sensortechnologie en mechatronica al een sterke uitgangspositie.

97 Ibid

Startsubsidies voor de praktijk
Om robotisering bij maakbedrijven te stimuleren, kunnen startsubsidies een effectief beleidsinstrument vormen. Dergelijke regelingen kunnen bedrijven ondersteunen in de opstartfase van robotisering, het aantrekken van gespecialiseerd personeel, of het opleiden van huidig personeel. Een vergelijkbare aanpak is de SLIM-regeling.[98] De ervaring leert dat er tractie in de markt ontstaat door dit soort regelingen en ondernemers helpt de eerste stap richting robotisering te nemen. Ook subsidies zoals Klikopmorgen[99] en 'subsidie datamaturiteit MKB voor dataficeren van je mkb-bedrijf'[100] zijn voorbeelden van regelingen die aantonen dat laagdrempelige financieringsinstrumenten bedrijven stimuleren om te experimenteren met digitalisering van hun organisatie. Voor veel organisaties is de administratieve belasting relatief beperkt, terwijl de subsidie hen de mogelijkheid biedt om bijvoorbeeld een externe verkenning te laten uitvoeren of advies in te winnen over geschikte robotiseringsoplossingen.

98 SLIM-regeling | Leven Lang Ontwikkelen | Rijksoverheid.nl
99 Klik op morgen
100 Subsidie Datamaturiteit MKB voor dataficeren van je mkb-bedrijf - Midpoint Brabant

Een belangrijk element in dit type stimuleringsregelingen is de vrijheid voor bedrijven om zelf een leverancier of kennispartner te kiezen. Deze keuzevrijheid voorkomt afhankelijkheid van vooraf geselecteerde partijen, zoals specifieke leveranciers of fieldlabs, en zorgt ervoor dat de subsidie optimaal aansluit bij de behoeften en context van het individuele bedrijf. Startsubsidies kunnen verschillende vormen aannemen. Een voucher- of fieldlab-programma kan een laagdrempelige vorm zijn voor mkb- bedrijven, doordat het snel toegang geeft tot advies, pilots en financiering (test before invest). Regelingen die het mogelijk maken om robots tijdelijk te leasen of huren (robotics-as-a-service), waar ook overheidsgarantie aan verbonden is, geeft maakbedrijven de mogelijkheid om te toetsen wat de meerwaarde van een robot kan zijn in de werkelijke context.

Toegewijde subsidies voor toegepast onderzoek

Om de brug tussen innovatie en praktijk te versterken, is het van groot belang te investeren in toegepast onderzoek dat is toegespitst op automatisering en robotisering in de maakindustrie. De vertaalslag van innovatieve concepten naar prototypes en praktisch inzetbare toepassingen ontstaat niet vanzelf. Hoewel ondezoeksinstellingen en marktpartijen elkaar in grote mate weten te vinden, ontbreken vaak de financiële middelen om op eigen initiatief zulke ontwikkeltrajecten te starten. Door een specifieke stimuleringsregeling te creëren, waar (multidisciplinaire) consortia van onderzoeksinstellingen en bedrijven gezamenlijke aanvragen kunnen indienen, kan de samenwerking binnen de innovatieketen aanzienlijk worden versterkt. Dergelijke programma's bieden ruimte voor risicodragend onderzoek, kennisuitwisseling en het versneld ontwikkelen van technologieën die daadwerkelijk toepasbaar zijn in de praktijk. Uiteindelijk draagt dit niet alleen bij aan een robuustere innovatie-infrastructuur, maar versterkt het tevens de concurrentiepositie en kennisbasis van Nederland op het gebied van automatisering en robotica.

Aandachtspunten voor een dergelijke regeling kunnen zijn:

- Richt specifieke subsidiering in voor automatisering in de maakindustrie, zodat er niet geconcurreerd hoeft te worden met andere (en vaak meer aantrekkelijke) onderwerpen.
- Voorkom versplintering en zet in op minder of kleine initiatieven, zodat er meer budget is voor projecten met kans op duurzame resultaten.
- Stel subsidies beschikbaar voor een vervolg op succesvolle projecten zodat consortia kunnen bouwen op productieve en langdurige samenwerkingsverbanden.
- Maak standaardisatie een harde randvoorwaarde voor overheidssteun en subsidies

Versterk de kracht van het Nederlands ecosysteem door meer strategische onafhankelijkheid voor industrie en onderzoek

De ontwikkelingen op het gebied van robotisering gaan razendsnel, en volgens sommige experts dreigt de Nederland achter de internationale koplopers aan te lopen. Andere deskundigen benadrukken echter dat Nederland nog steeds in een gunstige positie verkeert en juist kansen heeft om zich strategisch te positioneren binnen het mondiale roboticalandschap. Volledige ontkoppeling van buitenlandse producenten of leveranciers is daarbij niet wenselijk. Nederlandse maakbedrijven zijn in aanzienlijke mate afhankelijk van de import van robots, componenten en grondstoffen uit diverse landen. Om wel een sterke strategische positie voor Nederland te realiseren in de waardeketen voor robotisering, is het noodzakelijk om te identificeren waar de Nederlandse kracht ligt binnen de (internationale) markt en wetenschap, welke niches verder ontwikkeld kunnen worden en welke voordelen benut kunnen worden.

Een mogelijke route is het investeren in de ontwikkeling van eigen varianten van opkomende robottechnologieën. Zo wordt er al gewerkt aan een Europese variant van een humanoïde robot, waarbij verschillende Europese partijen betrokken zijn. Ook binnen Nederland vinden gesprekken plaats met onder meer ASML en MKB-bedrijven over mogelijke bijdragen aan deze ontwikkeling.

Een tweede route is het versterken van domeinen waarin de Nederlandse markt en wetenschap al excelleren. Zo biedt de

onderzoeksrichting ‘lazy robotics’ een alternatief voor bestaande benaderingen van zelflerende robots op basis van AI. Daarnaast beschikken Nederlandse onderzoekers en kennisinstellingen over een sterke positie op het gebied van systeeminnovatie, wat een cruciale pijler is voor automatiseringstrajecten en de integratie van robots in complexe productiesystemen.

Naast het versterken van de eigen concurrentiepositie, blijft samenwerking een essentiële factor voor de concurrentiepositie van Nederland. Vanuit marktperspectief onderscheidt Nederland zich door een sterke focus op kwaliteit, betrouwbaarheid, service en garantie. Deze kenmerken kunnen worden versterkt om Nederlandse partijen nog sterker te positioneren als aantrekkelijke samenwerkingspartners binnen het internationale robotica-ecosysteem, en bieden mogelijkheden om via samenwerking een invloedrijke rol te vervullen.

Binnen de wetenschap is samenwerking onmisbaar voor fundamenteel onderzoek en projecten met een laag TRL niveau. Internationale samenwerkingsverbanden zijn hierbij cruciaal voor kennis ontwikkeling en het creëren van doorbraken op lange termijn.

Waar investeringen in bredere internationale consortia de voorkeur verdienen voor fundamenteel onderzoek, ligt dit voor toegepast onderzoek anders. De meerwaarde van de resultaten uit fundamenteel onderzoek wordt concreet en zichtbaar door toegepast onderzoek en de doorontwikkeling van innovaties naar hogere TRLs. Gelet op de internationale dynamiek is het wenselijk om kennisontwikkeling te verankeren binnen strategische partnerschappen met landen die vergelijkbare waarden en standaarden hanteren op het gebied van innovatie, veiligheid en ethiek.

Daarnaast heeft robotica een sterk dual use karakter. Veel van de technologische bouwstenen die worden ontwikkeld en toegepast binnen de Nederlandse maakindustrie zoals autonome navigatie, edgeAI, visionsystemen, mechatronica, digitale tweelingen en remote operating zijn direct inzetbaar in het defensie domein. Wereldwijd worden AMR’s, inspectierobots, zwermrobotica en opkomende humanoids steeds vaker gebruikt voor taken zoals explosievenruiming, logistieke ondersteuning, schade-inspectie, onderhoud op afstand en operaties in hoogrisicogebieden. Voor Nederland biedt dit belangrijke strategische kansen. Door civiele robotisering en defensieinnovatie sterker met elkaar te verbinden, kan het Nederlandse ecosysteem schaal opbouwen, kan strategische autonomie worden vergroot en kunnen bestaande sterktes in hightech mechatronica, maritieme technologie en AIrobotics beter worden benut. De dual use component fungeert daarmee als hefboom: investeringen in civiele robotica versterken automatisch de defensieve capaciteiten, terwijl defensietoepassingen op hun beurt bijdragen aan een bredere industriële basis en snellere innovatie.

Een nationale robotiseringsagenda kan deze kruisbestuiving expliciet faciliteren, bijvoorbeeld door gezamenlijke onderzoeksprogramma’s, gedeelde testomgevingen, standaardisatie-inspanningen en demonstrators op te zetten gericht op autonome voertuigen (UGV’s), inspectie- en onderhoudsrobots, humanoid maintenancerobots, en AIgedreven robotica voor offshore infrastructuren zoals Wind op Zee. Hierdoor kunnen zowel de civiele maakindustrie als de Nederlandse veiligheidsketen profiteren van gedeelde innovaties en robuuste technologische ontwikkeling.

5. Samenvattende conclusie

De Nederlandse maakindustrie bevindt zich op een strategisch kruispunt. Hoewel Nederland nu internationaal nog sterk presteert binnen de maakindustrie, blijft de daadwerkelijke inzet van robots achter bij koplopers zoals Zuid-Korea, China en Duitsland. Daar moet zo snel mogelijk verandering in komen. Robotisering biedt een aanzienlijk potentieel om de concurrentiekracht te behouden en te versterken in het licht van structurele uitdagingen zoals vergrijzing, een aanhoudend tekort aan technisch personeel en relatief hoge loonkosten. Concreet betekent dit dat de robotisering in de Nederlandse maakindustrie aanzienlijk omhoog moet in de komende 10 jaar.[101] Om dat te bereiken worden een aantal aanbevelingen gedaan:

1. **Ontwikkel een nationale robotiseringsagenda**
- Ontwikkel als branche organisaties, bedrijven, kennisinstellingen en onderwijsinstellingen, in nauwe samenwerking met de overheid, een heldere robotiseringsagenda en concrete lange termijn doelen voor robotisering. Dit biedt bedrijven en kennisinstellingen de noodzakelijke richting en zekerheid om hun investeringen, onderzoeksagenda's en innovatieactiviteiten hierop af te stemmen. Bouw daarbij voort op bestaande initiatieven zoals de Nationale Technologie Strategie, met de actie agenda Mechatronica en Optomechatronica, met innovatieprogramma 4 gericht op robotica.[102]
- Stel een taskforce in die verantwoordelijk is voor de coördinatie, uitvoering en monitoring van de bijbehorende activiteiten. Deze taskforce fungeert als centraal aanspreekpunt, bewaakt de voortgang en borgt dat maatregelen consistent en effectief worden geïmplementeerd.

2. **Zorg voor communicatie en bewustwording**
- Start als taskforce een landelijke voorlichtingscampagne voor ondernemers en werknemers die de noodzaak én de kansen van robotisering benadrukt. Gebruik aansprekende succesverhalen van maakbedrijven, die dankzij robotisering hun concurrentiekracht hebben behouden of versterkt, om de meerwaarde concreet en herkenbaar te maken.
- Bied daarbij transparante inzichten in de Return on Investment (ROI) en de belangrijkste kosten-batenaspecten van robottoepassingen. Hierdoor kunnen bedrijven weloverwogen investeringsbeslissingen nemen.
- Maak als taskforce duidelijk waar ondernemers het beste kunnen starten met robotisering. Ontwikkel praktische, sectorgerichte handreikingen of stappenplannen, die helpen bij het identificeren van kansrijke processen en eerste toepassingen.

3. **Versnel standaardisatie en open source**
- Stimuleer als overheidsinstellingen binnen de roboticasector de ontwikkeling en toepassing van gestandaardiseerde hardware- en softwareoplossingen. Maakbedrijven worden daarbij aangemoedigd te kiezen voor open-source technologieën om vendor lock-in te voorkomen en de flexibiliteit en schaalbaarheid van hun automatiseringsoplossingen te vergroten.
- Hanteer standaardisatie als expliciete randvoorwaarde voor overheidssteun en subsidieregelingen. Dit zorgt voor interoperabiliteit, versnelt adoptie en voorkomt versnippering van technologie.
- Bevorder de ontwikkeling en toepassing van open-source platforms en faciliteer de actieve uitwisseling van best practices via een nationaal kennisplatform. Hiermee wordt kennisdeling gestimuleerd en innovatie binnen de sector versterkt.

101 Productiviteitsverbetering bepaalt de toekomst van de maakindustrie (2025): https://www.rabobank.nl/kennis/d011499170-productiviteitsverbetering-bepaalt-de-toekomst-van-de-maakindustrie

102 Action Agenda Mechatronics & Optomechatronics: https://www.kia-st.nl/en/kia-key-enabling-technologies/actionagendas-nts/action-agenda-mechatronics-optomechatronics

4. Versterk het Nederlandse ecosysteem en strategische onafhankelijkheid

- Investeer als bedrijven, kennisinstellingen en overheden gericht in Nederlandse niches binnen de roboticasector gebaseerd op systeemdenken en 'high-mix-low volume' toepassingen. Door deze strategische specialisaties verder te ontwikkelen en samenwerking te intensiveren, kan de Nederlandse industrie haar concurrentiepositie duurzaam versterken.
- Bundel als brancheorganisaties en maakbedrijven gezamenlijk de vraag naar robotica-implementaties. Door deze vraag per (sub)sector te concentreren ontstaat voldoende schaalgrootte, waardoor het voor system integrators aantrekkelijker wordt om hoogwaardige inhoudelijke ondersteuning en implementatieservices aan de (sub)sector te bieden.

5. Versterk de koppeling met de arbeidsmarkt en het onderwijs

- Investeer in structurele samenwerking tussen maakbedrijven en mbo-, hbo- en wo-instellingen voor toekomstbestendig robotica-onderwijs en gerichte omscholingstrajecten. Hiermee wordt een doorlopende leerlijn geborgd en sluit het aanbod beter aan op de behoeften van de industrie.
- Maak robotica-competenties een verplicht en integraal onderdeel van technische opleidingen. Dit versterkt de arbeidsmarktinstroom van vakbekwame professionals en bevordert de adoptie van robotica binnen de maakindustrie.

6. Versterk de internationale positionering

- Positioneer Nederland als een toonaangevende proeftuin voor 'high-mix, low-volume' robotisering, een domein waarin Nederland wereldwijd een onderscheidende en competitieve positie inneemt. Door deze niche expliciet te profileren, kan Nederland zich internationaler sterker positioneren en innovatieve bedrijvigheid aantrekken.
- Intensiveer de samenwerking met Europese partners om de strategische autonomie in robotica te vergroten. Dit omvat onder meer gezamenlijke inkoopstrategieën, gecoördineerde R&D-inspanningen en het ontwikkelen van geharmoniseerde standaarden, waarmee zowel de Europese concurrentiekracht als de technologische onafhankelijkheid wordt versterkt.

7. Versnel adoptie bij het mkb

- Stimuleer robotadoptie door sector brede samenwerking in plaats van individuele initiatieven. Door binnen deelsectoren gezamenlijk uitdagingen op te pakken rondom het implementeren van robots in het productieproces, kunnen bedrijven kennis, kosten en risico's delen en zo de adoptie versnellen. Brancheorganisaties zoals de FME en metaalunie kunnen hierin een centrale rol spelen als coördinator, en verbinder tussen bedrijven, leveranciers en kennisinstellingen.
- Introduceer een laagdrempelig voucher- of fieldlab programma speciaal gericht op mkb-bedrijven, waarmee zij snel toegang krijgen tot deskundig advies, toepassingsgerichte pilots en passende financieringsmogelijkheden ('test before invest'). Dit verlaagt de drempel voor eerste stappen in robotisering en bevordert praktijkgerichte innovatie.
- Maak tijdelijke lease- of huurmogelijkheden voor robots mogelijk via een 'Robotics-as-a-Service'-model, ondersteund door een overheidsgarantie. Dit vermindert investeringsrisico's voor mkb-bedrijven en versnelt de adoptie van robotica in productieomgevingen.

Dankwoord
Wij willen de volgende experts bedanken voor hun input: Peter Chemweno, Steven Dhondt, Thijs Dorssers, Frank Krause, Steve Morel Kountchou Ghomsi, Rowen Potma, Gu van Rhijn, Jordi Senden en Shun Yang.

Alle rechten voorbehouden

Niets uit deze uitgave mag worden verveelvoudigd en/of openbaar gemaakt door middel van druk, fotokopie, microfilm of op welke andere wijze dan ook zonder voorafgaande schriftelijke toestemming van TNO.

© 2026 TNO

Contact
Claire Stolwijk

Principal consultant

claire.stolwijk@tno.nl

TNO Vector
Centre for Societal Innovation and Strategy

tnovector.nl