



Position Paper

Kansen voor de Nederlandse robotica

Holland Robotics: Samen investeren
in toepassingsgerichte R&D



Januari 2018

Dit rapport is mogelijk gemaakt door
en samengesteld met medewerking van:

- BOM
- Demcon
- FME
- High Tech NL
- Lely
- NOM
- OOSTNL
- Philips
- RoboValley
- RijksUniversiteit Groningen
- Technische Universiteit Delft
- Technische Universiteit Eindhoven
- TNO
- Universiteit Twente
- VanderLande
- VDLEnablingTechnologies Group
- Vrije Universiteit Amsterdam
- Wageningen University & Research

Onder begeleiding van organisatieadvies-
bureau Berenschot

Berenschot

Brabantse Ontwikkelings Maatschappij



Coverfoto: Oogstrobot, Wageningen
University and Research

Samenvatting

Robots worden onderdeel van ons dagelijks leven. Meer en meer toepassingen lenen zich voor een oplossing met robotica; de samenwerking tussen mens en robot (co-bots) is aan een opmars bezig; en de maatschappelijke meerwaarde van robotica groeit en groeit. Kortom, de robot komt uit zijn kooi.

Met dit document zetten wij de noodzaak uiteen te investeren in robotica. Holland Robotics, een samenwerkingsverband van bedrijven, kennisinstellingen en reeds bestaande clusterorganisaties (zoals High Tech NL en RoboValley), stelt een programma voor waarmee Nederland in 5 à 10 jaar een onderscheidende koppositie inneemt op het gebied van robotica in de maak-industrie, gezondheidszorg, agrarische sector, logistiek & transport en inspectie & onderhoud. Een koppositie waarmee business wordt gegenereerd, banen worden gecreëerd en de topsectoren zich verder ontwikkelen.

De Nederlandse industrie ziet deze kansen en is bereid te investeren in een gezamenlijk ontwikkelprogramma. Holland Robotics stelt een programma voor waarin industrie, eind-gebruiker en onderzoeker samenkomen. Een aanpak waarin de topsectoren met de grootste kansen voor robotica centraal staan. Vijf kroonprojecten, gericht op vijf verschillende sectoren, maar met een breder toepasbare technologische basis zullen de wereldpers bereiken. Vijf roboticasystemen zullen Nederland positioneren. Hiervoor is een ondersteunende basis nodig: een aanjaagprogramma dat de samenwerking versterkt en marktgeneratie versnelt, faciliteiten in (waar mogelijk reeds bestaande) fieldlabs, en een onderzoeksprogramma waarin gericht de kennisvragen worden beantwoord die bijdragen aan de kroonprojecten. Hiervoor is tot 2025 een investering nodig in de ordergrootte van € 100 miljoen. Dit zal een gezamenlijke investering moeten zijn, in evenredigheid door industrie en overheid samen opgebracht en ingezet in PPS-vorm.



Programma voor aansluiting bij maatschappij, onderwijs en bedrijfsleven/human capital

Kroonproject	Kroonproject	Kroonproject	Kroonproject	Kroonproject
Onderzoeks- en ontwikkelings-programma	Onderzoeks- en ontwikkelings-programma	Onderzoeks- en ontwikkelings-programma	Onderzoeks- en ontwikkelings-programma	Onderzoeks- en ontwikkelings-programma
Kennisdeling- en valorisatie en samenwerken met Fieldlab Smart Manufacturing	Kennisdeling- en valorisatie	Kennisdeling- en valorisatie	Kennisdeling- en valorisatie	Kennisdeling- en valorisatie en samenwerking met i-Botics & Sprint

Figuur 1 Opzet programma Holland Robotics

De aanpak bouwt voort op de sterktes die ons land sinds jaren heeft opgebouwd. Systeemdenken, ketensamenwerking, toepassingsgerichte innovatie. Drie sterktes waar Nederland, met een sterke hightech basis en korte lijnen tussen kennisinstellingen en industrie, wereldwijd om gekend is en die de basis vormen voor (de aanpak van) Holland Robotics.

Robotica is niet nieuw. De volgende generatie robots is dat echter wel. Deze robots komen uit hun kooi, werken samen met de mens, maken het leven niet alleen makkelijker, maar ook veiliger en efficiënter. Robots dragen hun steentje bij aan het omgaan met maatschappelijke uitdagingen op het gebied van zorg, veiligheid en transport; en stimuleren de economie in onze topsectoren zoals de agro en logistiek. Wereldmarkten waar de roboticasector de komende jaren miljarden in zal gaan omzetten. Om nog maar te zwijgen van het vliegwieleffect dat robotica zal hebben op deze sectoren an sich.

Robotica kán de wereld niet alleen veranderen; robotica gáát de wereld veranderen. Nederland heeft alles in huis om op roboticagebied koploper te worden, maar om mee te spelen op het wereldtoneel moeten we nú investeren.

Kansen voor de Nederlandse robotica

Holland Robotics: Samen investeren in toepassingsgerichte R&D

Inhoud

Samenvatting	3
Inleiding	7
1. De vraag naar robotica stijgt explosief	10
Wereldmarkt naar miljardengrootte	13
Robotica & Werkgelegenheid	13
EU en Nederlands aandeel	13
2. Robotica biedt met name kansen in een vijftal (top)sectoren	16
De maakindustrie	17
De gezondheidszorg	18
De agrarische sector	19
Logistiek & Transport	19
Inspectie & Onderhoud	19
3. Technologische vraagstukken voor de komende jaren	22
Het belang van technologie per sector	24
4. Nederland kan zich onderscheiden door te richten op toepassing	26
SWOT-analyse	27
De Nederlandse positie in de keten	28
Focus voor de komende jaren: bijzonder én toepassingsgericht	28
5. Vijf kroonprojecten zetten Nederland in 2025 op de kaart	30
Kroonprojecten	31
Sector specifieke onderzoeks- en ontwikkelingsprogramma's	32
Programma voor aansluiting bij maatschappij, onderwijs en bedrijfsleven	32
De toekomst van het ecoysteem	33
Programmaorganisatie	34
Relatie tot Smart Industry	34
Investeringsbehoefte	34
Tot slot	35
Bronnen	35
Bijlage A. Aanwezigen validatiesessie	36
Bijlage B. Geïnterviewde personen	37
Bijlage C. Technologische vraagstukken verder toegelicht	38



Inleiding

Holland Robotics is een samenwerkingsverband waarin alle partijen in Nederland, die zich op welke wijze dan ook bezighouden met de ontwikkeling van roboticatechnologie, de krachten bundelen. Een van de belangrijkste doelen van Holland Robotics is het samen werken aan onderzoeks- en ontwikkelvraagstukken die de gehele roboticagemeenschap verder brengen, alsmede het ondersteunen van de relevante maatschappelijke discussies.

Robotica kan en zal de gehele maatschappij veranderen: processen worden veiliger, efficiënter en slimmer. Bovendien komt een enorme capaciteit vrij. Sectorspecifieke ambities zoals minimaal-invasieve chirurgie en Industrie 4.0 kunnen niet verder komen zonder fundamentele kennis van de robotica als *enabling technology*. Ook maatschappelijke uitdagingen, zoals voedselzekerheid, veiligheid, een sterk groeiende groep zorgbehoevenden en efficiënt gebruik van grondstoffen schreeuwen om robotica-oplossingen.

De doelstelling van Holland Robotics is dan ook drieledig:

- Het bieden van één gezicht voor het promoten van de Nederlandse robotica-propositie.
- Het verbinden van de Nederlandse robotica community met als doel het stimuleren van opleiding, onderzoek, ontwikkeling binnen de roboticagemeenschap en het stimuleren van de maatschappelijke discussie over de rol van robotica in de samenleving.
- Het (periodiek) creëren van een gedeelde visie en roadmap voor ontwikkeling van de robotica in NL. Hierbij wordt een termijn van 5-10 jaar vooruit gekeken.

Deze markt vraag brengt tal van kansen met zich mee, die we niet voorbij mogen laten gaan. BV Nederland heeft, met haar rijke expertise in de mechatronica en machinebouw én sterke domeinkennis in de gedefinieerde topsectoren, de benodigde kennis en kunde in huis om een koploper te worden in de robotisering van onder meer de industrie, de zorg, de agri-food en de logistieke sector.

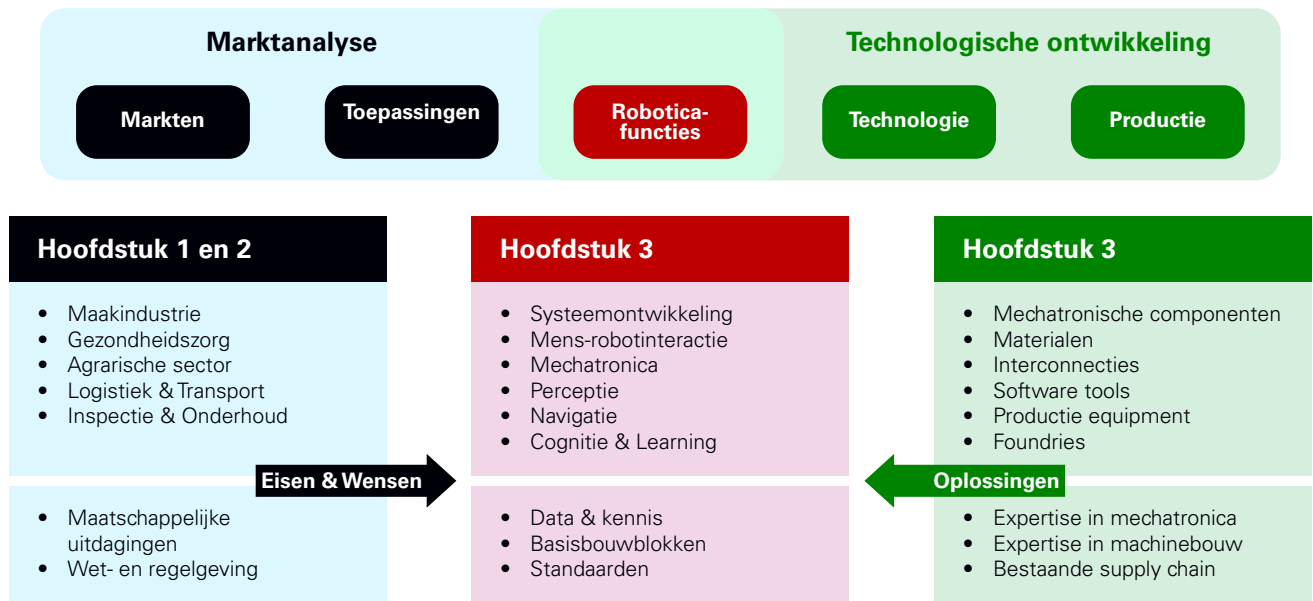
Deze laatste staat centraal in dit document. Holland Robotics stelt een onderzoeksprogramma op, in de vorm van een publiek-privaat samenwerkingsverband. De academische

wereld en de industrie gaan hierin samen aan de slag met de belangrijkste ontwikkelvraagstukken op robotica gebied. Op deze manier kan de kennis die ontwikkeld wordt sneller worden toegepast en gevaloriseerd. Focus, innovatiesnelheid en kritische massa; drie belangrijke elementen die met een gericht programma gewaarborgd worden en die het verschil maken waarmee Nederland haar positie kan pakken. In dit rapport onderbouwen wij het belang van een dergelijk onderzoeksprogramma en zetten wij de eerste stappen uiteen voor de komende jaren.

Leeswijzer

Dit document begint met een analyse van de markt. Hoofdstuk 1 geeft inzicht in de robotica en de economische kansen die deze technologie met zich meebrengt. Ook wordt uitgeweid over de positie die Europa en Nederland op dit moment innemen in de wereldmarkt. In hoofdstuk 2 worden de voornaamste toepassingssectoren voor robotica toegelicht. Duidelijk wordt welke kansen er zijn, maar ook welke technologische ontwikkelingen nodig zijn om meer toepassingen in deze sectoren mogelijk te maken.

Nederland is sterk in de technologieën die onderliggend of verwant zijn aan de robotica, zoals de mechatronica, machinebouw, precisietechnologie en computational intelligence. Aandacht is er in hoofdstuk 3 voor de vertaalslag van deze technologieën naar robotica functies.

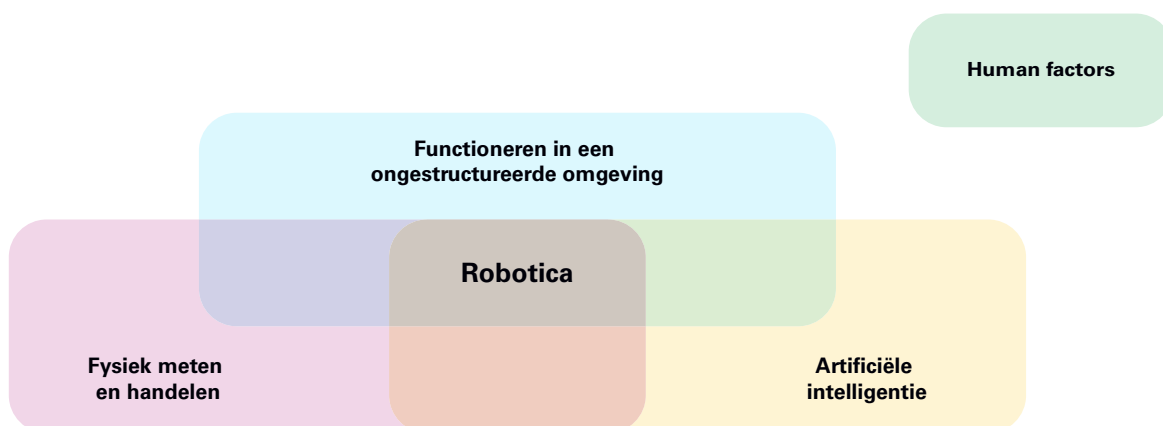


Figuur 2 Leeswijzer

Na deze analyse volgt een blik op de toekomst, met een advies om de beoogde speerpunten te kunnen bereiken. Hoofdstuk 4 beschrijft de positie die Nederland zou kunnen en moeten innemen om zich te onderscheiden van concurrentie op het wereldtoneel. Hoofdstuk 5 geeft een overzicht van de activiteiten en middelen die nodig zijn om dit alles te realiseren.

Definitie

Over de definitie van robotica zijn vele meningen. In dit document wordt robotica gedefinieerd als systemen die functioneren in een ongestructureerde omgeving, die fysiek meten én handelen en die gebruikmaken van (een zekere mate van) artificiële intelligentie. Eventueel met hulp van de mens, zoals bij exoskeletons het geval is. Of robots op mensen 'lijken' is niet relevant. Slimme computerprogramma's zoals chatbots en bots die financieel handelen worden dus niet gezien als robotica in dit project.



Figuur 3 Definitie Robotica



De vraag naar robotica stijgt explosief

Hoofdstuk 1

Robotica zal de komende jaren een enorme impact hebben; op de korte termijn op de werkomgeving, maar op de langere termijn zeker ook in de thuissituatie. De manier waarop wij gewend zijn dingen te doen, zal door robotica sterk veranderen en wordt efficiënter, veiliger en gemakkelijker. Dit zijn dan ook de drie drijfveren die maken dat de vraag naar robotica explosief zal stijgen.



Efficiëntie, veiligheid en gemak. Het moge duidelijk zijn dat ook in de maatschappelijke uitdagingen waar Europa de komende tijd voor staat, robotica een belangrijke rol kan spelen. De optimalisatie van processen in landbouw en energie draagt bij aan duurzaam gebruik van grondstoffen én veiligheid; sociale robots dragen bij aan inclusie van ouderen; en gerobotiseerde handelingen in de zorg maken dat de groeiende groep zorgbehoevenden de aandacht kan krijgen die nodig is.

Zoals Gene Munster, een belangrijke technologie- en marktanalist, eerder dit jaar stelde staat robotica op het punt zo gewoon te worden als computers. Virtual reality, augmented reality, kunstmatige intelligentie en robotica zullen, gezamenlijk, in de toekomst van grotere invloed zijn dan internet, stelt hij (*ROBO Global*, 2016).

Toename in functies en toepassingen is enorm

Er bestaat een grote verscheidenheid aan robots, die op een aantal manieren kan worden geclassificeerd: werkomgeving, gebruikersinteractie, fysieke vorm en voornaamste functie. Zo zijn er robots voor in de lucht, op het land, onder water, in de ruimte en in het menselijk lichaam. Er zijn robots die autonoom kunnen werken, die op afstand gemonitord worden, en die samenwerken met een andere robot of een mens. Er zijn robotarmen, robotplatforms, robots als verlengstuk van het menselijk lichaam, robots in de vorm van een mens (humanoïden), metamorfe robots en nano- en micro-robots. Er zijn robots die kunnen assembleren, oppervlakten kunnen behandelen, interacteren, onderzoeken, transporteren, inspecteren, oppakken, of manipuleren. En er wordt steeds meer mogelijk.

Robotica is echter niet nieuw. Al jarenlang worden industriële robots gebruikt in maakprocessen, over verschillende sectoren heen (denk bijvoorbeeld de autoproductie en aan de melkrobot). Volgens experts zijn er wereldwijd nu al meer dan 1,5 miljoen robots in gebruik die taken uitvoeren die voorheen gedaan werden door mensen. Dit zal de komende jaren alleen maar toenemen. De laatste jaren is een sterke technologische basis ontwikkeld en is de markt zich beter bewust geworden



Figuur 4 Inspectierobot ROBOSHIP van UTwente, Komkommer-oogstrobot van WUR, Zorgrobot Eva van TUDelft en robotchirurg van TU/e.

van de mogelijkheden van robotica (*ROBO Global*, 2016). Een scala aan toepassingssectoren, zoals de agrarische sector, de zorg, veiligheid en transport, biedt kansen voor een explosieve marktgroei zoals verder toegelicht in hoofdstuk 2.

Van de traditionele robot naar robotics in daily life. De mogelijkheden zijn eindeloos en raken langzaamaan ook bekend bij het grote publiek. De maatschappelijke beeldvorming rondom robotica is lange tijd cartoonesk geweest, mede door de humanoïde robots. Nu dit verandert, en vanuit de markt steeds meer de kracht van de robotica wordt gezien, is hét moment aangebroken om door te pakken.

Waar tot nu toe robots vooral werkte in afgesloten omgevingen, omdat zij niet veilig genoeg waren om vlak naast mensen te opereren, zal dat de komende jaren anders zijn. **Robots komen uit hun kooi!** Steeds meer robots zijn in staat met mensen samen te werken. Robots kunnen mensen aanvoelen en weten wat ze wel en niet moeten doen om veilig met mensen samen te werken. De zogenaamde ‘collabrative robots’ (cobots) zijn dan ook aan een opmars bezig. De komende jaren zal het steeds normaler worden met een robot samen te werken. Dat robots zo nauw betrokken zijn in ons leven, maakt het ook des te belangrijker te zorgen dat iedereen voorbereid is op het samenwerken met robots.

Wereldmarkt naar miljardengrootte

De **roboticamarkt** is veelbelovend. Nu al bedraagt deze markt zo’n € 22 miljard wereldwijd, maar naar verwachting loopt dit in 2020 op tot € 50 á € 60 miljard. Deze groei wordt met name gerealiseerd door de opkomst van dienstverlenende robots, waar een jaarlijkse groei van 25% wordt verwacht, tegenover een jaarlijkse marktgroei van 8-9% voor industriële robots (*euRobotics aisbl*, 2013). Let wel, ook in de industrie is nog volop potentieel. De ‘robotdichtheid’ zal de komende jaren nog zo’n 12-15% per jaar stijgen (*International Federation of Robotics*, 2016).

Ook **gerelateerde diensten** dragen flink bij aan de marktpotentie. Fortune (*Vanian*, 2016) voorspelt een totale marktwaarde van \$ 135 miljard in 2019, voor robotica en gerelateerde diensten. Deze diensten, waaronder bijvoorbeeld softwarediensten, business consulting, opleiding en training, zullen de verkoopcijfers van robotica-hardware snel overschaduwen, stelt Fortune (*Vanian*, 2016).

Het totale potentieel van robotica is bovendien nog groter: het heeft een enorm positief effect op de concurrentiekracht van de maakindustrie, de efficiëntie van de dienstensectoren en de kwaliteit van leven van burgers. Ook aan maatschappelijke uitdagingen, met betrekking tot bijvoorbeeld vergrijzing, (voedsel)

veiligheid en duurzame landbouw, kan robotica bijdragen. Er is sprake van een vliegwieleffect.

Robotica & Werkgelegenheid

Robots zetten de arbeidsmarkt op zijn kop. Zij zijn productiever dan de mens als het gaat om repetitief handwerk: ze maken minder fouten, kunnen langer doorgaan, op een hoger tempo en op den duur wellicht tegen lagere kosten; al is dit laatste nu nog niet het geval. Bovendien kunnen robots ook steeds beter worden ingezet voor andere, meer complexe werkzaamheden, zoals in de journalistiek, de financiële wereld en –binnenkort – het autorijden. Het World Economic Forum verwacht dat in de jaren tot 2020 vijf miljoen banen in de vijftien vooraanstaande landen verloren zullen gaan door disruptieve veranderingen in de arbeidsmarkt, waaronder het groeiende gebruik van robots.

Anders dan velen denken, kan robotica ook een grote bijdrage leveren in het creëren van banen. Zeker wanneer robotica bereikbaar wordt voor het MKB. Waar machines in de eerste industriële revolutie onze fysieke werkkraft vergrootten, vergroten robots nu ook onze mentale werkkraft. Robots zullen banen creëren. Op dit moment is dit al zichtbaar door de groeiende vraag naar programmeurs en engineers om robots te ontwikkelen. Bovendien worden geheel nieuwe functies gecreëerd, veelal in een controlerende rol naast de robot. Jing Bing Zhang, research director worldwide robotics bij IDC, voorspelt dat in 2019 30% van de vooraanstaande bedrijven een functie als ‘robot-manager’ zal hebben (*Violino*, 2016). In hun onderzoek ‘*Stayin’ Alive: Manufacturing in America*’ voorspelt de Bank of America Merrill Lynch dat met elke robot drie banen worden gecreëerd (*ROBO Global*, 2016).

Onze verwachting is dan ook dat, wanneer de komende jaren sterk wordt ingezet op robotica, zoals voorgesteld in dit document, duizenden banen gecreëerd kunnen worden in de jaren tot 2025.

EU en Nederlands aandeel

Vijf landen zijn verantwoordelijk voor 75% van de wereldwijde verkoop van robots: China, Korea, Japan, de VS en Duitsland. (*International Federation of Robotics*, 2016) Europa als geheel is verantwoordelijk voor 32% van de industriële markt en 63% van de niet-militaire servicemarkt (*euRobotics aisbl*, 2013). Nederland blijft vooralsnog achter. Na Duitsland, zijn Italië, Frankrijk en Spanje de sterkste Europese spelers (*International Federation of Robotics*, 2016).

Een vertegenwoordiging van Holland Robotics heeft in de zomer van 2017 een bezoek gebracht aan Japan en vele spelers bezocht en gesproken. Hier werd duidelijk dat er een groot verschil is

Lely startte midden jaren '80 met de ontwikkeling van de melkrobot voor de agrarische sector. Destijds was er nog geen concrete vraag vanuit de markt, maar waren het de technisch georiënteerde kenners vanuit de melkveehouderij die onderkenden dat er technologie beschikbaar kwam die automatisch melken mogelijk zou moeten maken.

Na een intensief ontwikkeltraject van 10 jaar, kwam de melkrobot op de markt. De sector moest hieraan wennen en gaan begrijpen dat door robotisering niet alleen fysieke arbeid vervangen wordt, maar ook het dierwelzijn en voedselveiligheid verbeterd.

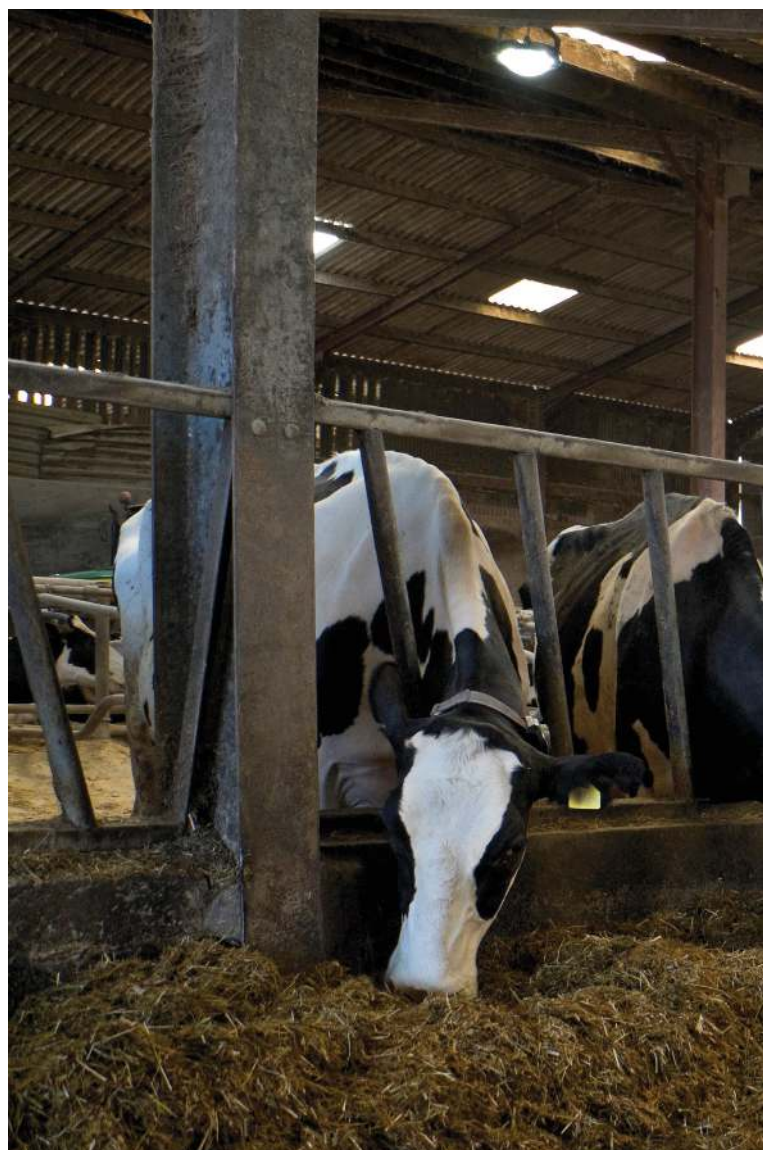
Al snel werd de melkrobot een onmisbaar systeem dat niet alleen automatisch melkt, maar ook voortdurend data verzamelt over de gezondheid van de koeien en over de kenmerken van de melk. Lely is nog continu bezig de melkrobot slimmer en intuïtiever te maken, om zo de bedrijfsvoering van het melkveebedrijf te ondersteunen en te optimaliseren. De hedendaagse technologieën zijn op den duur niet meer voldoende. Verdieping in kunstmatige intelligentie, zelflerende systemen en collaboratief lerende systemen is nodig om te kunnen blijven innoveren.

Met 25.000 verkochte melkrobots wereldwijd en ruim 15.000 autonome voertuigen voor de stal, heeft Lely een prominente plaats in de gevestigde orde verworven. Lely erkent echter het risico op onverwacht moment door een nieuwkomer verrast te worden. Juist daarom is het van groot belang dat Nederland een sterk programma heeft om robotinnovatie te versnellen en de concurrentiepositie te kunnen behouden of zelfs te versterken.



tussen de aanpak van robotica-ontwikkeling in Azië en Europa. De Japanse overheid en enkele grote bedrijven investeren sterk in zowel R&D als PR. Echter, de voorsprong in technologische kennis en kunde in Japan is nog in te halen. Business-ontwikkeling komt vertraagd op gang. Wanneer wij nú instappen en snelheid maken, kunnen we onze koppositie pakken.

Zoals gezegd zal de komende tijd met name in de dienstensectoren het gebruik van robotica explosief toenemen, en blijft het potentieel in de industrie nog altijd groot. De technologie om te profiteren van deze kansen wordt nu ontwikkeld. Europa heeft



een sterke kennisbasis en waardevolle industriële infrastructuur, van waaruit in deze snel veranderende situatie geïnnoveerd kan worden.

En dit moet ook, want de (verwachte) impact van robotica is dusdanig groot, dat onderzoek alleen niet voldoende is. Er moet gewerkt worden aan de nodige infrastructuur, innovatie moet worden gestimuleerd en een visie moet worden geformuleerd met oog op de vele toepassingssectoren. Alleen door tijdig en in samenwerking te starten met de juiste investeringen, kan Europa een koppositie pakken en behouden (*euRobotics aisbl, 2013*).

Investerings zijn nodig om financieel sterk genoeg te staan om ook op lange termijn de vruchten te kunnen plukken. Ook de Europese Commissie ziet dit. In de op elkaar aansluitende Multi-Annual Roadmap (MAR) (*SPARC, 2016*) en Strategic Research Agenda (SRA) Robotics 2020 (*euRobotics aisbl, 2013*) wordt het belang van investeren in onderzoek en ontwikkeling, door kennisinstellingen maar zeker ook door het bedrijfsleven, veelvuldig onderstreept.



Robotica biedt met name kansen in een vijftal (top)sectoren

Hoofdstuk 2

Robotica kan in vrijwel elke sector, markt of omgeving worden toegepast. Met name wanneer het wenselijk is menselijk handelen te vervangen door gerobotiseerd handelen, omdat het werk gevaarlijk, zwaar of complex is; of omdat er een schaarste is aan arbeidskrachten, zoals voorspeld wordt in de zorg.



In de SRA Robotica 2020 benoemt Europa drie sectoren die nu al sterk zijn als toepassingsmarkt voor robotica, of waarvan een groot potentieel gezien wordt voor de nabije toekomst: de **maakindustrie**, de **gezondheidszorg** en de **agrarische sector** (euRobotics aisbl, 2013).

Bedrijven zullen zich, in elke sector, kunnen onderscheiden door de effectieve inzet van robotica. Nu al geldt dit voor de maakindustrie, maar op korte termijn zal dit ook gelden voor de agrarische sector, de gezondheidszorg, de transportsector, veiligheid, energie en water.

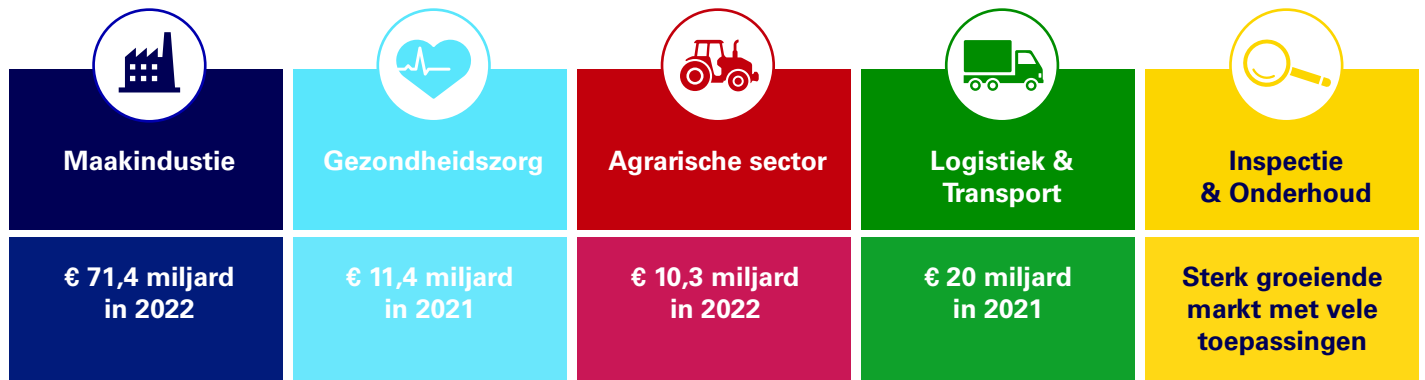
In dit hoofdstuk lichten wij die sectoren uit, waarop robotica de komende 10 jaar de meeste invloed zal hebben.

NB. De agrarische sector wordt vaak in een adem genoemd met de voedingsverwerkende industrie: AgroFood. De voedingsverwerkende industrie is – gezien vanuit het roboticaperspectief – echter sterk vergelijkbaar met de maakindustrie en derhalve daar ondergebracht.

De maakindustrie

De maakindustrie is altijd de grootste toepassingssector geweest voor robotica. Robots worden ingezet voor volumeproductie in onder meer automotive, elektronica, aerospace en witgoedfabricage. Een nieuwe generatie slimme robots volgt nu, waarmee ook kleine volumes kunnen worden geproduceerd. Zonder verdere ontwikkelingen in de robotica zal de beoogde ‘smart industry’ er niet kunnen komen. Blijvende groei van robotica in de maakindustrie is belangrijk voor de Nederlandse economie en werkgelegenheid. Door productiekosten te verlagen en maakprocessen efficiënter in te richten, is het mogelijk productie in Nederland te behouden of zelfs terug te halen naar Nederland (reshoring). Robotica kan zorgdragen voor flexibilisering van productiemiddelen waardoor deze breder inzetbaar zijn en kleinere seriegroottes kunnen produceren, hierdoor neemt de efficiëntie toe en ontstaan kleinere productie-eenheden. Langzaamaan komt robotica binnen bereik van het MKB; een belangrijke stap. Bovendien zal robotica de komende jaren meer en meer worden ingezet in de voedingsindustrie.

Naast economische voordelen, draagt robotica in de maakindustrie middels procesoptimalisatie en continue monitoring ook bij aan een maatschappelijke uitdaging. Grondstoffen worden efficiënter en meer duurzaam gebruikt; processen worden



Figuur 5 de belangrijkste toepassingsmarkten voor robotica

veiliger; en –wanneer toegepast in de voedselverwerkende industrie- voedselveiligheid kan worden verzekerd.

Typische industriële toepassingen vereisen accurate positionering, ook in snel veranderende omgevingen; sensor-gebaseerde veiligheidssystemen; zeer realistische mogelijkheden om het systeem te modelleren en adaptieve regelsystemen.

De gezondheidszorg

Voor sommige functies in de zorgsector wordt robotica al gebruikt. Onderscheid is hier te maken tussen de *cure* en *care*, medische toepassingen (zoals operatierobots) en zorgtoepassingen. Medische robots, die gebruikt worden voor minimaal-invasieve behandelingen, endoscopieën en micromanipulatie vormen een zeer specialistisch vakgebied, waarin hoge kwaliteitseisen de standaard zijn. Exoskeletons, robots die je ‘aan kunt trekken’ vormen een revolutionaire nieuwe generatie van protheses.

De verwachting is dat het aantal toepassingen in de zorgsector de komende jaren fors zal toenemen, met name op het gebied van ziekenhuislogistiek en revalidatiezorg. Hierbij geldt efficiency als voornaamste drijfveer. De huidige vergrijzing van de samenleving en de groeiende groep zorgbehoevenden maken efficiency in de zorg een belangrijke maatschappelijke uitdaging. Recente berekeningen van KPMG tonen aan dat de zorg niet zonder robotica kan (KPMG, 2017). Sociale robots kunnen bovendien bijdragen aan de sociale inclusie van ouderen, gehandicapten en personen die anderszins veel aan huis gebonden zijn.

Waar de maakindustrie als toepassingsmarkt voor robotica veel concurrentie kent vanuit Azië, zijn de Europese landen (waaronder Nederland) sterk als toeleverancier voor equipment

In 2009 begon DEMCON in samenwerking met andere bedrijven, Universiteit Twente en een groep chirurgen aan de ontwikkeling van een chirurgisch telemanipulatiesysteem. Minimaal-invasief opereren, via een ‘sleutelgat’ of natuurlijke lichaamsopening, is minder belastend voor de patiënt: sneller herstel, minder kans op infectie, kleiner of zelfs geen litteken.

Met het systeem kunnen een endoscoop en eventuele instrumenten op afstand worden bestuurd vanuit een ‘cockpit’. DEMCON ontwikkelde met partners een elektromechanische interface voor een slimme besturing van de endoscoop op basis van robotische principes. De besturing is intuïtief en gebruiksvriendelijk en geschikt voor flexibele instrumenten.

Dankzij de innovatieve interface kan de arts in de cockpit de endoscoop met één hand bedienen en heeft hij/zij de andere hand vrij voor het doen van een ingreep. Dit in tegenstelling tot de conventionele besturing van een flexibele endoscoop, die beide handen van de arts vergt. Een eventuele ingreep moet dan door een andere arts worden uitgevoerd.

In 2013 werden drie proof-of-principle modules opgeleverd. Het systeem telt liefst zestien graden van vrijheid; ondanks de benodigde zestien motoren wist DEMCON een compact en vriendelijk ogend systeem te realiseren. Onder de naam Advanced Endoscopy wordt het werk aan de ontwikkelde modules voortgezet.



in de zorg. Nederland heeft bovendien een sterk competitief voordeel: in veel landen is het klinisch testen van innovaties een langdurig en moeizaam proces; in Nederland is op dit vlak een goede samenwerking tussen de academische ziekenhuizen en de industrie. Wanneer we deze verder versterken is dit een waardevolle kracht om onze innovatiesnelheid significant hoger te leggen dan spelers in het buitenland.

Typische zorgtoepassingen vereisen hoge nauwkeurigheid (bijvoorbeeld in operatierobots); goede interactiemogelijkheden (bijvoorbeeld voor revalidatietoepassingen); miniatuuroplossingen (bijvoorbeeld voor draagbare oplossingen); zeer hoge veiligheid en betrouwbaarheid; en monitoring en data-interpretatie gedurende de periode dat de robot actief is.

De agrarische sector

De agrarische sector vormt een belangrijk deel van de Nederlandse economie en is een van de domeinen waarin Nederland internationaal bekend staat om haar expertise. Deze sector zal daarom de grootste kansen bieden voor Nederland om zich te profileren. De afgelopen tijd is het gebruik van robotica in deze sector toegenomen. Zo is bijvoorbeeld de melkrobot niet meer weg te denken uit de melkveehouderij. Meer toepassingen volgen: van gewasmonitoring tot gerobotiseerde oogst. Aan de WUR zijn 60FTE continue op zoek naar oplossingen op de cross-over tussen robotica en de agrarische sector. Efficiency, verhoogde opbrengsten en milieuvriendelijkheid zijn de belangrijkste drijfveren voor het gebruik van robotica in de agrarische sector. Niet alleen om economische redenen, maar ook met oog op voedselveiligheid, voldoende voedselproductie (Feed the World) en duurzaamheid.

Typische agrarische toepassingen vereisen het kunnen monitoren en herkennen van de staat van gewassen of vee; het kunnen herkennen van ongebruikelijke klimaatomstandigheden; voorzichtig maar snel kunnen pakken en verwerken van producten; synchronisatie en samenwerking tussen landbouwvoertuigen en robots; lokalisatie en communicatie. *Smart farming* is een veelgebruikte term.

Logistiek & Transport

Een brede sector met vele toepassingskansen voor robotica, zowel in het goederenvervoer, personenvervoer als in warehousing. Goederenstromen zijn er overal. Nu al wordt robotica toegepast in distributiecentra en grote bedrijfshallen, maar op termijn ook op de openbare weg. Denk hierbij aan (semi-) autonome voertuigen. Robotica zal de transportsector volledig gaan veranderen, met positieve effecten op verkeersveiligheid, efficiëntie en milieubelasting. 'Slim, groen en geïntegreerd transport'

Vanderlande is wereldwijd marktleider op het gebied van waarde-toevoegende logistieke procesautomatisering op vliegtuigen en in de pakketverwerking. Daarnaast is het bedrijf een vooraanstaande speler als het gaat om procesautomatisering in warehousing. Al deze drie segmenten kennen een groeiende vraag naar verdere en slimmere automatisering, die wordt gevoed door een groeiende e-commerce en focus op snelle afhandeling en bezorging. Ook een tekort aan personeel, de wens om 24/7 te kunnen opereren en operationele kosten te verlagen dragen bij aan een groeiende marktvraag.

Robotica is dan ook een van de speerpunten van Vanderlande. In de logistieke sector worden traditionele robots reeds gebruikt voor de handling van goederen. Deze robots zijn echter beperkt in hun functie. Nieuwe roboticatechnieken stellen Vanderlande in staat oplossingen te ontwikkelen voor slimme oplossingen voor het verwerken van een grenzeloze variëteit aan producten, variërend in vorm, gewicht, formaat en breekbaarheid.

Dergelijke robotoplossingen bestaan uit een groot aantal te integreren componenten (de robotbasis, gripper, cognitie, perceptie, veiligheidsoplossingen). Vanderlande erkent dat het onmogelijk is de hiervoor benodigde expertise allemaal in eigen huis te hebben en werkt daarom nauw samen met leveranciers en kennisinstellingen om de beste oplossingen te kunnen ontwikkelen.



is een van de door Europa gedefinieerde uitdagingen, waaraan robotica in de sector een belangrijke bijdrage kan leveren.

Typische logistieke toepassingen vereisen (betere) interactie-technologie en 3D-omgevingsinterpretatie.

Inspectie & Onderhoud

Een laatste sector waar in het bijzonder kansen zijn weggelegd voor robotica is in onderhoud en inspectie in het civiele domein. Denk hierbij aan onderhoud van de publieke infrastructuur, schoonmaakdiensten, surveillance, of milieudetectie. Werkzaamheden die veelal gevaarlijk zijn voor de mens. Ook

vanuit de lucht of het water zal binnen 5 tot 10 jaar effectieve inspectie mogelijk zijn. Kwaliteitsbehoud of –verbetering, in samenkomst met kostenreductie is een belangrijke drijfveer in deze publieke sector. Onderhoud en kwaliteitsbehoud in het civiele domein zijn bovendien cruciaal voor een veilige samenleving. SprintRobotics is een samenwerkingsverband die de adoptie en ontwikkeling van inspectie & onderhoudsrobots in de olie- en gasindustrie bevordert.

I-Botics, een onafhankelijk onderzoekscentrum van TNO en Universiteit Twente, maakt zich al sterk voor robotica in deze sector (i-Botics, 2017). Betrokkenheid van industriële partijen is cruciaal voor het succes van deze samenwerking, zoals i-Botics zelf stelt. Holland Robotics omarmt i-Botics en zet de ontwikkelingen graag in een breder samenwerkingsverband voort.

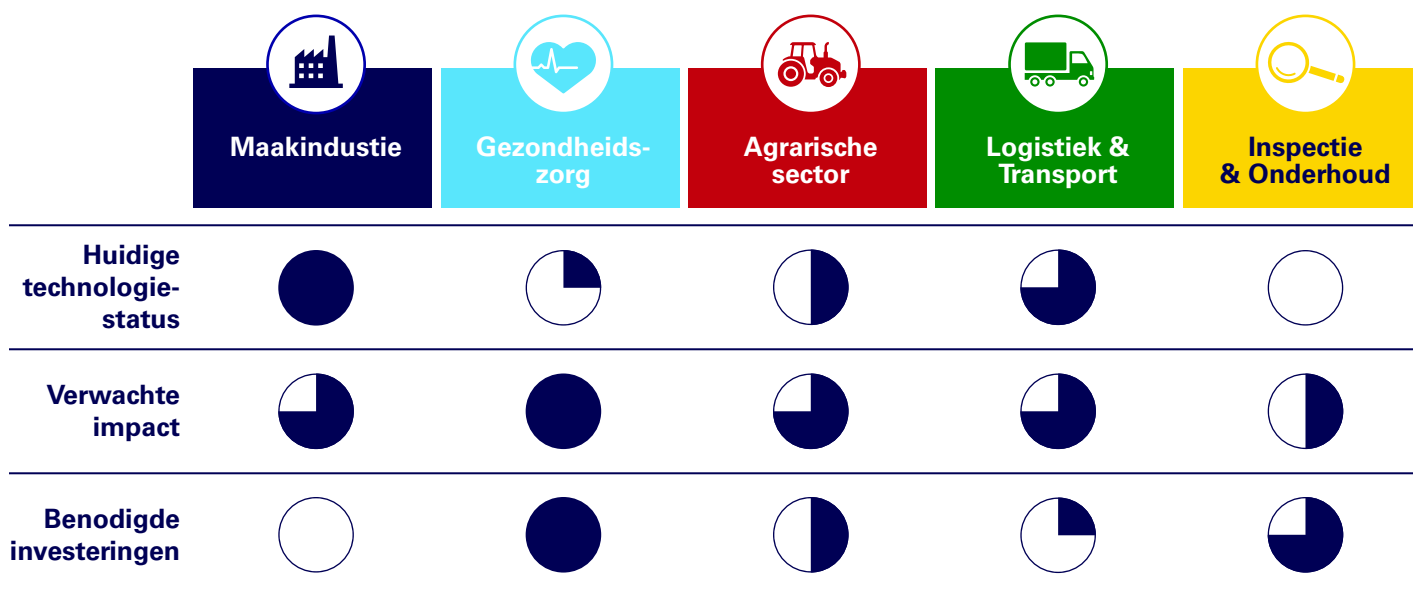
Typische toepassingen in dit domein vereisen taakplanning in een team van samenwerkende robots; cognitieve technologieën voor het meten en interpreteren van bijvoorbeeld milieuwaarden; en de interactie tussen mens en robot.

En de lijst gaat door. Voortbordurend op de genoemde voorbeelden zijn er toepassingen voor elke sector. Robots kunnen werken

in gevaarlijke omstandigheden (denk aan mijnbouw, maar ook aan beveiligingswerk bij chemische fabrieken of douane), grote gebieden in de gaten houden, zowel onder water als vanuit de lucht, en op die manier waardevolle data verzamelen, of het nu gaat om bijvoorbeeld de groei van gewassen of milieuvervuiling. Ook in combinatie met *big data* is robotica dus van grote waarde.

Sommige toepassingsmarkten zijn veel verder ontwikkeld dan andere. Ook de impact van robotica, niet alleen economisch, maar vooral ook in maatschappelijk opzicht, verschilt per toepassingsmarkt. In figuur 6 is weergegeven hoe ver de verschillende toepassingsmarkten al zijn qua technologieontwikkelingen en wat de verwachte impact is van verdere robotisering. De toepassingsmarkten waar het gat het grootst is, hebben de meeste investeringen nodig.

Robotica zet - hetzij nu of over een aantal jaren - elke sector op zijn kop. BV Nederland heeft hierin een rol te spelen. Onderzoek en ontwikkeling op het gebied van robotica zijn niet voldoende; de waarde van robotica ligt in de toepassing. Om daartoe te komen moet de infrastructuur gereed zijn en moeten bedrijven in staat zijn om roboticatechnologie te integreren in onze samenleving.



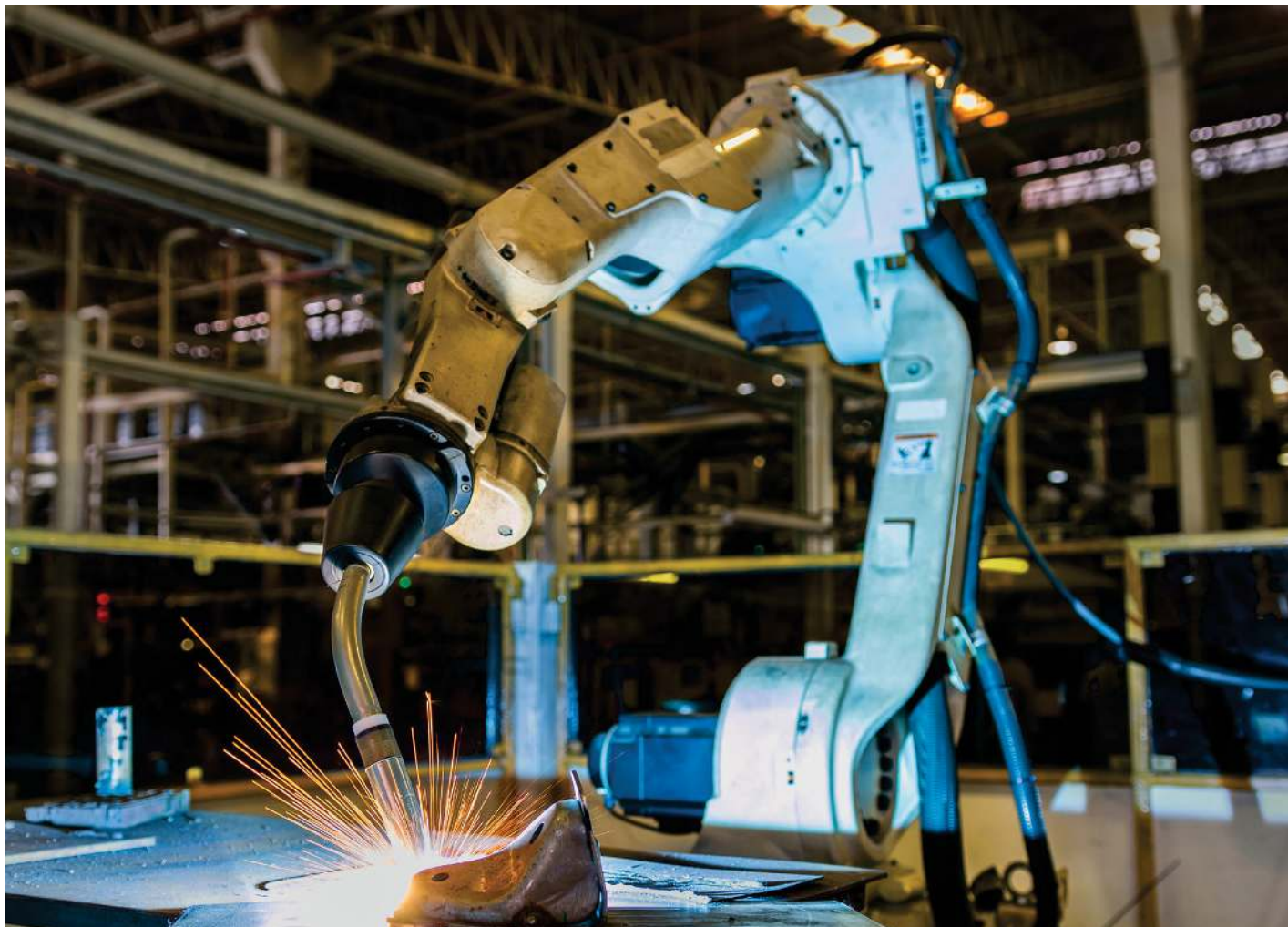
Figuur 6 de huidige technologiestatus, verwachte impact en benodigde investeringen van de verschillende toepassingsmarkten



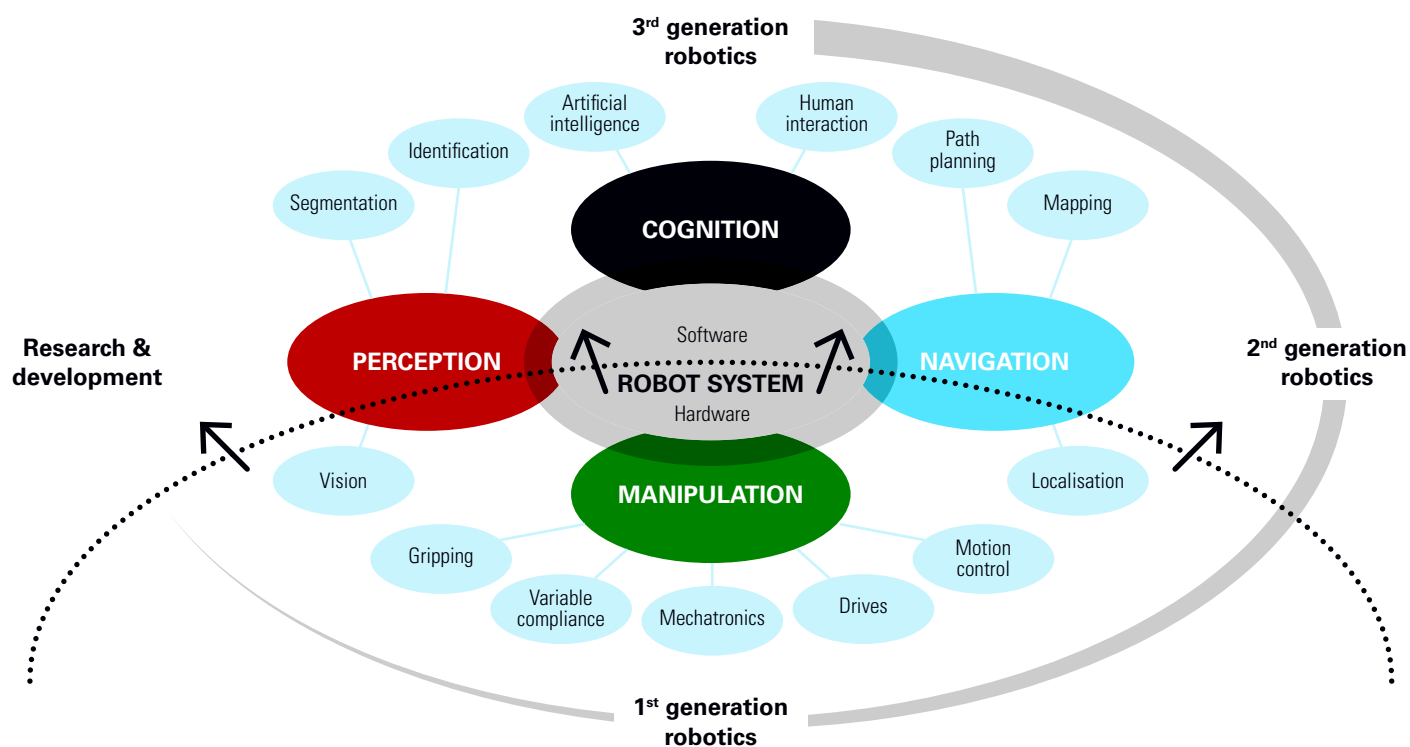
Technologische vraagstukken voor de komende jaren

Hoofdstuk 3

Zoals eerder gesteld gaan de ontwikkelingen binnen de robotica razendsnel. Om maatschappelijke uitdagingen het hoofd te bieden, optimaal gebruik te maken van de mogelijkheden en meer en meer toepassingsgebieden te kunnen bedienen, is echter verdere ontwikkeling nodig. Hoewel de toepassingen per sector verschillen, zit er een grote gemene deler in de onderliggende technologie.



Dit hoofdstuk geeft een overzicht van de status quo én de ontwikkelingsvraagstukken voor de komende jaren. Ook wordt duidelijk hoe deze ontwikkelingsvraagstukken van belang zijn voor de verschillende toepassingssectoren.



Figuur 7 Technologiedomeinen binnen de robotica (bron: BOM, 2015)

In 2015 onderscheidde de BOM in haar marktverkenning ‘Robotics – Ondersteunen, Assisteren en Samenwerken’ de vier bovenstaande technologiedomeinen binnen de robotica. Aangegeven werd dan een belangrijke nadrukverschuiving zichtbaar was van de mechatronische aspecten naar de softwarecomponenten, die zorgdragen voor perceptie, navigatie en cognitie. Met oog op de komende jaren benadrukken wij het belang van cognitie; en zien we mens-robotinteractie als separaat aandachtsgebied. Daaraan voegen wij toe het belang van systeemontwikkeling, nu robottechnologie meer en meer multidisciplinair van aard wordt.

In bijlage C wordt in meer detail toegelicht welke technologische vraagstukken van belang zijn. In het kort zijn dit:

- **Systeemontwikkeling**

Er is behoefte aan systematische ontwerpprocessen voor de ontwikkeling en validatie van roboticasystemen en standaarden. Dit omdat in robotica vele technologievelden bij elkaar worden gebracht.

- **Mens-robotinteractie**

Veiligheid staat voorop bij de samenwerking tussen mens en robot. Nederland loopt hierin voorop, maar er is nog veel onderzoek nodig op het gebied van modelleren en valideren. Dit omdat menselijke bewegingen en reflexen, met name in de fijne motoriek, zeer complex zijn.

- **Mechatronica**

De integratie van mechanismen, actuatoren, sensortechnologie, besturingstechnieken en embedded software, moet naar een hoger plan worden getild. Aandachtspunten zijn flexibiliteit en nauwkeurigheid.

- **Perceptie**

Robots moeten in staat zijn ruwe sensordata te verwerken en interpreteren, ook onder moeilijke of dynamische omstandigheden, en met beperkte lokale reken capaciteit.

- **Navigatie**

Plaatsbepaling en routeplanning zijn essentiële vaardigheden voor een robotsysteem. Met name in dynamische omgevingen, of in situaties waarin een hoge nauwkeurigheid van belang is, is dit met de huidige technologie nog niet mogelijk.

- **Cognitie & Leren**

Nederland kan het verschil maken door in te zetten op slimme robots, die leren van wat er gebeurt en hun gedrag hierop aanpassen. Zeker in de omgang met mensen is dit een belangrijk aspect. Kunstmatige intelligentie is het sleutelwoord.

Het belang van technologie per sector

Wanneer we naar de verschillende technologieën kijken, zien we dat systems development en mechatronica in alle uitgelichte toepassingssectoren van belang zijn. Dit zijn generieke technologieën die voor alle robots worden gebruikt.

Mens-robotinteractie is vooral relevant voor sectoren waarbij veel met mensen wordt gewerkt, zoals in de zorg. Maar ook voor inspectierobots, die in het veld opereren en daardoor ook veel in contact komen met mensen.

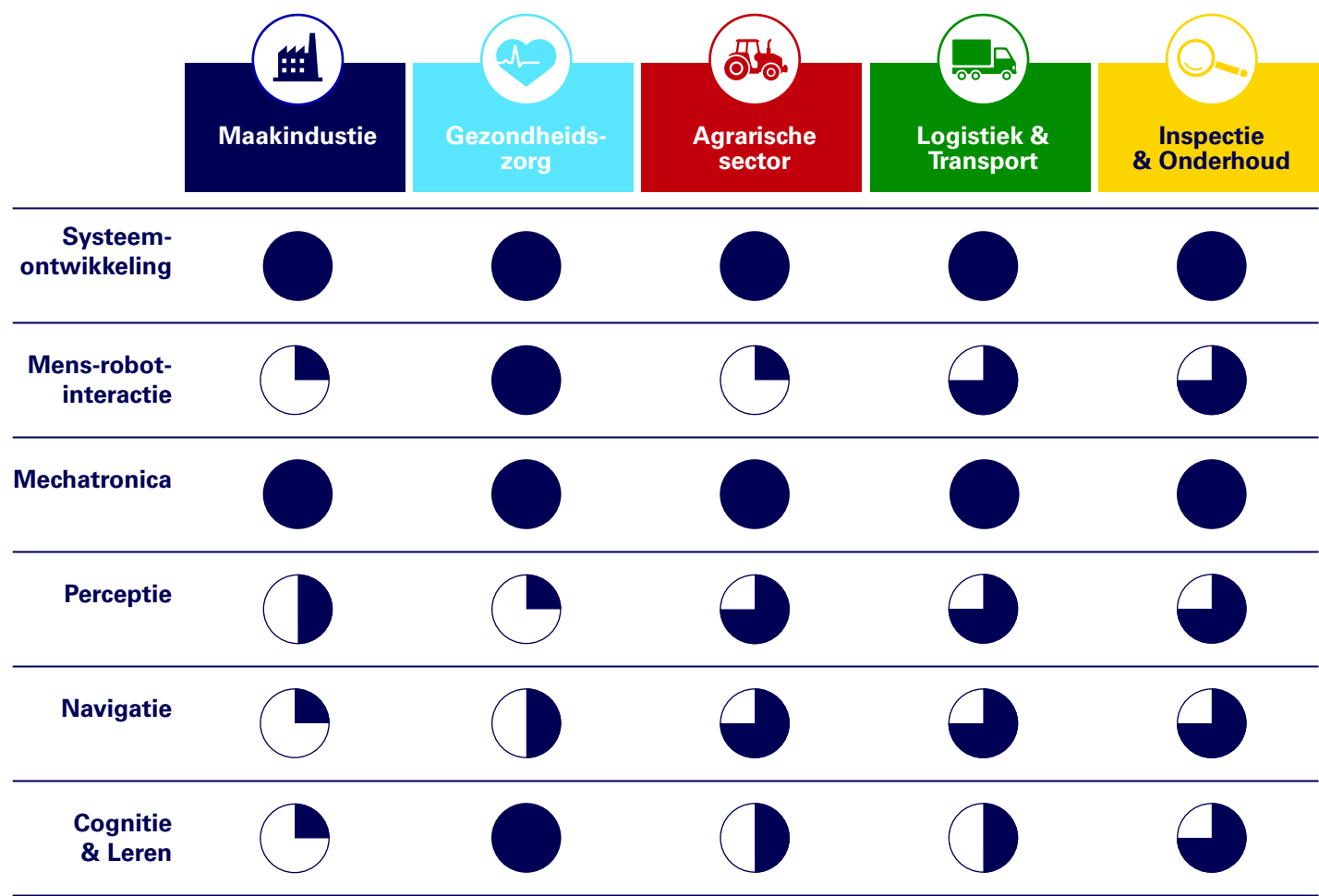
Het herkennen van objecten (paprika's e.d.) is van groot belang voor de agrarische sector. Ook voor de in-field inspectie en maintenance robots is het herkennen en interpreteren van de omgeving van groot belang.

Navigatie is het meest relevant voor de logistiek en automotive. Ook robots in de agrifood, industrie en inspectie & onderhoud maken gebruik van navigatiefuncties.

Cognitie, tot slot, is belangrijk voor alle zelfstandig opererende robots in een dynamische omgeving, dus ook in contact met mensen. is het belangrijkste binnen de zorg; bijvoorbeeld voor het herkennen van gezichtsuitdrukkingen e.d. Deze vinden we in elk geval veel binnen de gezondheidszorg, maar ook in de automotive sector.

Hoewel het belang van technologische ontwikkelingen per sector verschilt, is het belangrijk te beseffen dat technologische ontwikkelingen ten behoeve van een specifieke toepassing, als basis dienen voor robotica-systemen voor andere toepassingen in alle sectoren. Een herkenbaar feit. Veel van de huidige producten die wij kennen zijn immers gebaseerd op technologische ontwikkelingen vanuit geavanceerde toepassingssectoren, zoals de ruimtevaart of defensie.

Deze gedachte maakt kruisbestuiving en sector-overstijgende samenwerking, zoals Holland Robotics streeft te stimuleren, essentieel.

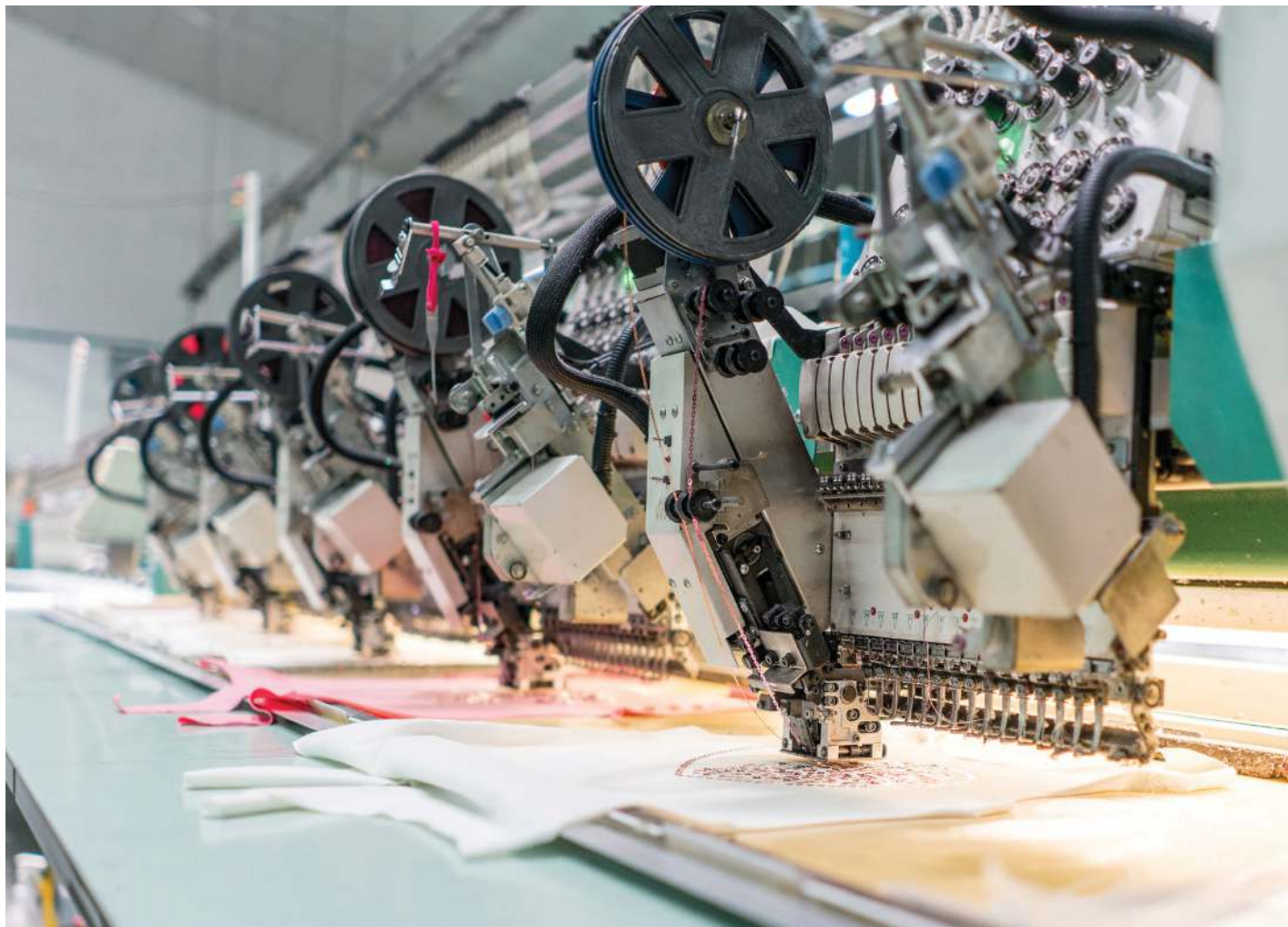


Figuur 8 Belang van technologie per sector (Bron: Berenschot)

Nederland kan zich onderscheiden door te richten op toepassing

Hoofdstuk 4

Om kansen te pakken is een strategische aanpak nodig. Op basis van een SWOT-analyse, een analyse van de waardeketen en uitvoerige gesprekken met de betrokken partijen, hebben wij kunnen bepalen hoe Nederland de komende jaren een onderscheidende positie in kan nemen in de roboticawereld.



SWOT-analyse

Nederland staat bekend als koploper op het gebied van systeemdenken. Wij zijn in staat het overzicht te behouden en systemen te creëren waarbij verschillende componenten in synergie opereren. Daarnaast heeft Nederland een sterke positie in de high-tech sector. Met name op het gebied van mechatronica excelleert Nederland. Ook een sterke domeinkennis is aanwezig binnen de topsectoren. Met name onze kennis van de agrarische sector is van wereldklasse. Bovendien is Nederland goed in ketensamenwerking.

Nederland heeft wel moeite gericht te investeren in de onderdelen waar we goed in zijn. Niet alleen zijn de investeringen laag, maar ze zijn ook nog eens wijdverspreid, waardoor ze een beperkt effect hebben. Een andere zwakte van Nederland is het regio-denken. De regio's binnen Nederland zijn te klein om grote innovaties van de grond te krijgen: samenwerking op nationaal niveau is nodig.

Voor Nederland bestaan er grote kansen. Zo wordt er gebouwd aan de fabriek van de toekomst op de Brainport Industries Campus, dit biedt grote kansen op robotica gebied voor de sector. Daarnaast beschikt Nederland over een groot internationaal netwerk dat benut kan worden. Ook de steeds hechter

samenwerking tussen de technische universiteiten, TNO en andere kennisinstellingen biedt grote kansen voor grote ontwikkelingen op robotica gebied. Zeker wanneer hier nog sterker op wordt ingezet.

Een aantal zaken bedreigen de robotica sector in Nederland. Dat gaat met name over talent. Het aantal bètastudenten in Nederland is relatief laag en goede robotica studenten vertrekken naar het buitenland. Het gebrek aan aandacht aan robotica binnen het onderwijs is daarvan deels de oorzaak. Daarnaast zorgt dit gebrek aan aandacht ook voor een bedreiging voor de inzet van robots: in de toekomst moet iedereen er op voorbereid zijn met robots samen te werken en dat dreigt onderbelicht te blijven in het onderwijs.

De genoemde sterktes, zwaktes, kansen en bedreigingen zijn hieronder weergegeven.

Sterktes	Zwaktes
• Systeemdenken • Expertise in mechatronica, machinebouw, HTSM en human factors • Sterke domeinkennis in de topsectoren, met name Agro • Ketensamenwerking	• Versnippering in investeringsvermogen • Focus is lastig: meerdere sterke toepassingssectoren • Regio-denken: nationale samenwerking is mogelijk en nodig
Kansen	Bedreigingen
• Hernieuwd alignment in Nederland en momentum in Holland Robotics • Groot internationaal netwerk dat moet worden benut (RoboValley en EU contacten) • Intensievere samenwerking 4TU, TNO en andere kennisinstellingen	• Lokale innovatiehubs werken versnippering in de hand • Behoud en doorontwikkeling talent • Onvoldoende aandacht in onderwijs (basis, VO, MBO, HBO, WO)

Figuur 9 SWOT-analyse

De Nederlandse positie in de keten

Nederland is een klein land. Roboticasystemen worden dan ook gekocht en verkocht in een internationale markt. Om kansen te kunnen pakken in een sterk concurrerende wereldmarkt is het belangrijk te focussen op die aspecten waarin Nederland van oudsher sterk is.

Wanneer we kijken naar de waardeketen (figuur 10) zijn daarin vier stappen te onderscheiden voordat het roboticasysteem bij de eindgebruiker belandt. Vanuit (mechatronische) componenten worden modules samengesteld. Deze worden gekoppeld tot een robotsysteem. Nederland kenmerkt zich door een zeer sterke positie op het gebied van mechatronica. Mechatronica in Nederland is van hoogwaardige kwaliteit en er bestaat rond mechatronica al een *actief ecosysteem*. Ook bij de integratie van mechatronische componenten tot modules heeft Nederland een goede positie. Dit komt met name door de enorme supply chain die zich in Nederland bevindt van grote high tech machinebouwers.

Op het gebied van het bouwen van roboticasystemen loopt Nederland achter ten opzichte van Duitsland (Kuka) en Aziatische landen (Toyota, Yamaha). Deze landen zijn echter met name sterk in het bouwen van *standaardrobots*, met name voor industriële toepassingen. Dergelijke robots zijn dan ook

volop commercieel verkrijgbaar. Geavanceerde toepassingsspecifieke robotsystemen zijn echter nog minder goed ontwikkeld.

Een volgende stap in de waardeketen kan worden gezet wanneer standaard robotsystemen worden uitgebreid om ingezet te kunnen worden. Commercieel verkrijgbare standaardrobots kunnen meestal niet direct worden ingezet. Een robot met grijpparm is niet direct geschikt om paprika's in een kas te plukken, bijvoorbeeld. De robot moet dan worden aangepast en voorbereid op de gewenste applicatie. Vaak is een robot maar onderdeel van een groter systeem om een bepaalde taak te verrichten. Applicatiebouwers zorgen dat een gebruiker ook echt iets met een robot kan. Nederland is hierin zeer sterk. Systeemdenken wordt gezien als een typisch Nederlands vakgebied. Bovendien komt ook hierbij de sterke sector kennis van pas. Een mooie kans dus voor Nederland om zich hierin sterker te onderscheiden.

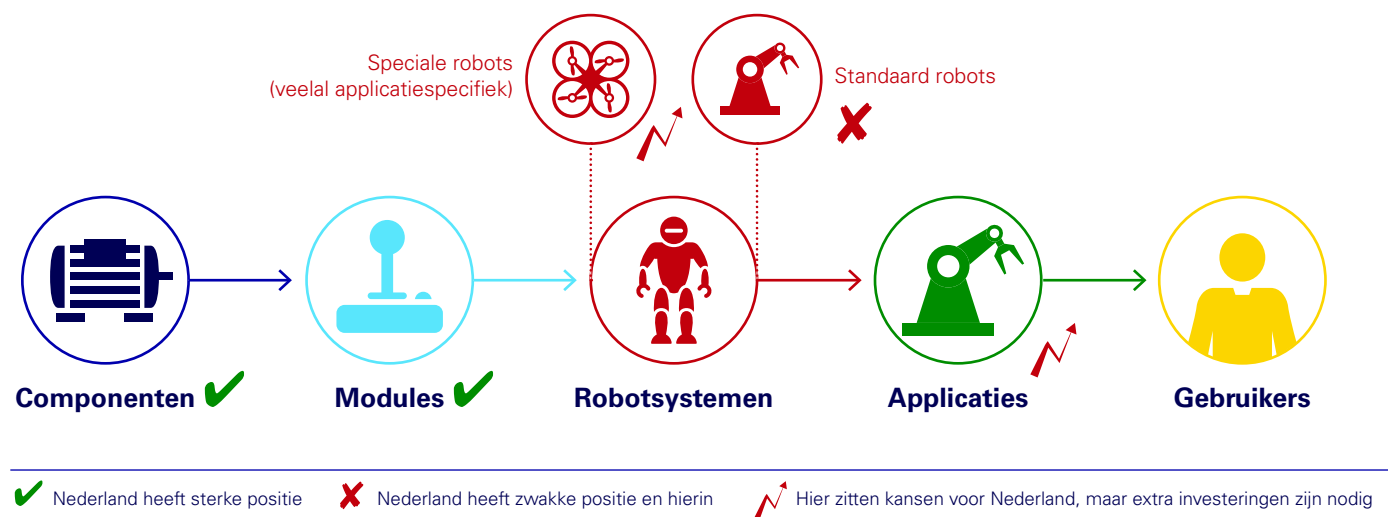
Binnen de waardeketen spelen onderzoeksinstellingen natuurlijk ook een belangrijke rol. In Nederland wordt hoogwaardig onderzoek verricht op alle gebieden van de keten. Zo zijn universiteiten bezig met onderzoek naar robotapplicaties, robotsystemen, componenten en modules.

Focus voor de komende jaren: bijzonder én toepassingsgericht

De grootste marktpotentie voor Nederland zit in de *robotapplicaties*. Dit combineert de Nederlandse sector kennis met de expertise rond systeemdenken: de twee belangrijkste krachten.

Nederland vooral sterk op de cross overs met domeinkennis

De **sterke domeinkennis** die Nederland heeft in bijvoorbeeld de agrarische sector, maar ook in zorgtechnologie (denk aan Philips), biedt kansen voor Nederland zich te onderscheiden door de ontwikkeling van meer **speciale robots**: toepassingsspecifieke robots waarin gebruik wordt gemaakt van geavanceerde cognitieve- en leeralgoritmen. Nederland loopt op dit gebied voorop met hoogstaande onderzoeksgroepen zoals de Evolutionary Robotics groep van de VU. Daarnaast is Nederland al drie maal wereldkampioen geweest met de voetbalrobots (RoboCup) en was Nederland de winnaar van de Amazon Pick Challenge. Ook roboticasystemen die in vorm afwijken van de 'traditionele' industriële robots zijn interessant voor Nederland. Hierbij kan men denken aan bijvoorbeeld swarm robots en drones op de korte termijn en nano-robots en software-robots op de langere termijn (>10 jaar van nu). Investerings zijn echter nodig om de positie van Nederland te versterken.



Figuur 10 De waardeketen van robotica

Nederland heeft een prima positie in de toelevering van componenten en modules: het is zaak deze vast te houden. Hiervoor is een continue stroom van innovatie nodig, om niet op achterstand te raken ten opzichte van concurrentie uit o.a. Azië. Daarnaast is het zaak te zorgen dat de componentenleveranciers worden voorbereid op specifieke robotica-toepassingen. Momenteel wordt de mechatronica supply chain nog sterk gedomineerd door de semi-conductor industrie.

Nederland is minder sterk in het bouwen van standaard robotsystemen. Door de lage kosten van arbeid zal het ook in de toekomst lastig zijn op dit gebied te concurreren met Aziatische landen. Daarnaast hebben deze landen inmiddels een enorme voorsprong op Nederland door hun productie-ervaring. Het is dan ook niet verstandig extra te investeren in het bouwen van generieke robotsystemen. Gegeven de enorme Nederlandse kennis op het gebied van geavanceerde cognitieve- en leeralgoritmen, is het wel verstandig te focussen op het bouwen van geavanceerde en speciale robotsystemen. Hierbij valt bijvoorbeeld te denken aan de bouw van drones, autonome systemen en robotsystemen voor chirurgie. De marges bij de bouw van deze speciale robotsystemen zijn over het algemeen ook groter dan de marges rond generieke robotsystemen.

Om optimaal te kunnen samenwerken wordt complementariteit nagestreefd. De Nederlandse kennisinstellingen in Holland Robotics hebben elk een brede kennis op het gebied van robotica, maar ook elk hun specialisaties. Onderstaande tabel geeft dit weer.

	TECHNOLOGIE- FOCUS	TOEPASSINGS- FOCUS
TU Delft	Swarm robotica, mens-robotinteractie	Gezondheidszorg (care) & maakindustrie
TU Eindhoven	Mechatronica, cognitie	Gezondheidszorg (cure) & mobiliteit (AGV)
Universiteit Twente	Systeemintegratie, mechatronica perceptie	Inspectie & Onderhoud
TNO	Motorische intelligentie & human factors	Alle toepassingen
WUR	Perceptie, navigatie	Agrarische sector
VU	Cognitie & Leren	Gezondheidszorg (care)
RUG	Mechatronica, Cognitie & Leren	Gezondheidszorg

Tabel 1 Specialisaties kennisinstellingen, technologiegericht en toepassingsgericht

Vijf kroon- projecten zetten Nederland in 2025 op de kaart

Hoofdstuk 5

Nederland moet haar domeinkennis benutten, de industrie in de lead zetten en zich richten op toepassingsspecifieke robots. Om dit te bewerkstelligen én direct zichtbaarheid te creëren op internationaal niveau, stellen wij voor het roboticasysteem sectorspecifiek te versterken, maar met een generieke verbinding.



Om te komen tot de gewenste marktpositie is de rol van het bedrijfsleven cruciaal, weet ook Holland Robotics. Een applicatiegerichte aanpak sluit hierbij goed aan en zorgt dat naast aan *Kennis* en *Kunde* ook voldoende aandacht aan *Kassa* wordt besteed.

Het voorgestelde programma is gericht op de middellange termijn: van nu tot 2025. Fundamenteel onderzoek op de lange termijn dient meer technologie- in plaats van applicatiedreven te worden aangestuurd en valt dan ook buiten de scope van dit programma. Het programma is schematisch weergegeven in figuur 11.

Het programma is gefocust op experimentele ontwikkeling. Ook met implementatie van robots kan geëxperimenteerd worden, maar het, op grote schaal, in productie nemen van robots valt nadrukkelijk niet binnen het programma, dat stopt bij TRL 4-5. Daarna komt de industrie zelf aan bod.

In onderstaande paragrafen wordt een korte toelichting gegeven op de beoogde componenten: kroonprojecten, sectorspecifieke onderzoek- en ontwikkelingsprogramma's en een generiek aanjaagprogramma voor het verbinden, verdiepen, versnellen en versterken van de sector. Naast dit programma bestaat reeds

een aantal fieldlabs die gerelateerd zijn aan de thema's waar Holland Robotics zich op richt. Waar passend zal zoveel mogelijk aansluiting worden gezocht bij deze initiatieven. Op deze manier kunnen de initiatieven elkaar versterken en verrijken; bovendien worden dubbele investeringen vermeden.

Kroonprojecten

Een vijftal kroonprojecten waarin Nederland laat zien wat het kan op het gebied van robotica in een sector is essentieel om Nederland wereldwijd op de kaart te zetten als hét land dat weet hoe robots nuttig kunnen worden ingezet. Voor iedere cross-over tussen hightech robotica en toepassingsmarkt wordt een innovatief project opgetuigd van het niveau van een kroonproject. De kroonprojecten zijn zeer ambitieus van aard: er wordt fundamenteel onderzoek gedaan naar een bepaalde technologie en die technologie wordt direct in een applicatie toegepast. Zo zetten we ons fundamenteel onderzoek en onze sterke punten op het gebied van systeemintegratie in één keer op de kaart.

Komend jaar is het zaak een concrete roadmap op te zetten om te kunnen vaststellen wat de meest kansrijke kroonprojecten zijn en hiermee te starten.



Programma voor aansluiting bij maatschappij, onderwijs en bedrijfsleven/human capital

Kroonproject	Kroonproject	Kroonproject	Kroonproject	Kroonproject
Onderzoeks- en ontwikkelings-programma	Onderzoeks- en ontwikkelings-programma	Onderzoeks- en ontwikkelings-programma	Onderzoeks- en ontwikkelings-programma	Onderzoeks- en ontwikkelings-programma
Kennisdeling- en valorisatie en samenwerken met Fieldlab Smart Manufacturing	Kennisdeling- en valorisatie	Kennisdeling- en valorisatie	Kennisdeling- en valorisatie	Kennisdeling- en valorisatie en samenwerking met i-Botics & Sprint

Figuur 11 Voorgesteld programma voor het Robotica-ecosysteem

Sectorspecifieke onderzoeks- en ontwikkelingsprogramma's

De sectorspecifieke onderzoeks- en ontwikkelingsprogramma's dienen vraag gedreven te zijn. Deze onderzoeksprogramma's trachten zo veel mogelijk aan te sluiten bij de Nationale Wetenschapsagenda (NWA) en de daarin gedefinieerde onderzoeksvragen. Binnen de Nationale Wetenschapsagenda zijn sectorspecifieke vragen die doormiddel van robotica-ontwikkelingen kunnen worden opgelost, maar ook robotica specifieke vragen. Bij het opzetten van de onderzoeks- en ontwikkelingsprogramma's dient te worden begonnen vanuit de NWA en dienen de sectorspecifieke en robotica specifieke vragen zo veel mogelijk gecombineerd te worden.

Binnen de onderzoeks- en ontwikkelingsprogramma's moet nadrukkelijk aandacht worden besteed aan de zachte kant van de robotica: alfa- en gamma-wetenschappen dienen in de programma's een prominente rol te krijgen. Men kan dan denken aan onderzoeken op het gebied van human-robot interaction of ethiek.

Programma voor aansluiting bij maatschappij, onderwijs en bedrijfsleven

Daarnaast zijn er een aantal randvoorwaarden om het robotica ecosysteem in Nederland van de grond te krijgen. Het is belangrijk één organisatie centraal deze facetten te laten ontwikkelen zodat de synergie tussen de verschillende activiteiten aansluit. De activiteiten kunnen worden gevat in vier onderdelen: Verbinden, Versterken, Versnellen en Verdiepen.

Verbinden

Verbinden is gericht op het verbinden van de deelnemende partijen binnen het ecosysteem onderling én het verbinden van het ecosysteem als geheel aan partijen van buitenaf. PR vormt dus een belangrijke taak binnen dit werkpakket.

Binnen dit werkpakket worden dus interne en externe events georganiseerd:

- crosstalk- en netwerkevents om samenwerking binnen het ecosysteem te stimuleren;
- conferenties om grotere externe bekendheid te krijgen.

Daarnaast is het erg belangrijk de verbinding tussen alfa-, beta- en gamma vakgebieden te stimuleren. Steeds meer vraagstukken over robots in de samenleving kunnen alleen beantwoord

worden door de technische en sociale kant te belichten. Binnen het verbinden programma wordt samenwerking tussen de verschillende gebieden gestimuleerd en gefaciliteerd.

Versterken

De kerntaak van *versterken* is het stimuleren van open innovatie. Om synergie te brengen in het ecosysteem zal open innovatie gestimuleerd worden, om krachten optimaal te bundelen en de innovatiekracht van het ecosysteem te versterken. In de praktijk komt dit neer op het inrichten en van platforms voor kennisdeling en het houden van events om kennis uit te werken.

Versnellen

Teneinde het aanjagen van business worden nieuwe projecten opgestart. Een belangrijke taak binnen *versnellen* is het zoeken en activeren van passende financieringsinstrumenten om deze projecten te kunnen realiseren. Naast het opzetten van private financiering is de publieke financiering, vaak aanvullend op de private financiering, van groot belang. De financiering van innovatie- en researchprojecten zal via de gangbare subsidie-instrumenten van de nationale, regionale en internationale fondsen worden gezocht.

Verdiepen

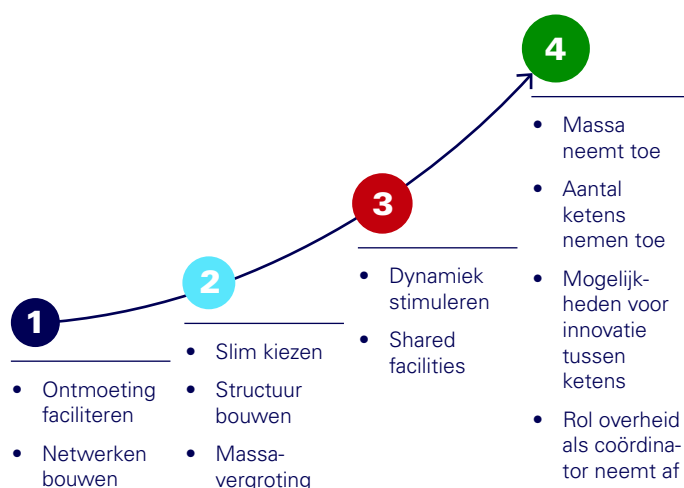
Verdiepen richt zich op de Human Capital agenda van robotica. Met de opkomst van robotica is een andere set van kennis en vaardigheden nodig. Mensen zullen anders opgeleid, of omgeschoold moeten worden. Het gebrek aan voldoende geschikt personeel voor het ontwerp en de productie van robots is een nijpend probleem. Binnen het onderdeel verdiepen wordt geïnvesteerd in het beter laten aansluiten van bestaande opleidingen bij de robotica-sector. Gelet op de doorlooptijd van opleidingen,

moet op deze aansluiting al in een vroeg stadium worden ingezet. De mogelijkheden worden onderzocht om een gezamenlijke (universitaire) specifieke robotica-opleiding te starten of de bestaande activiteiten beter op elkaar af te stemmen.

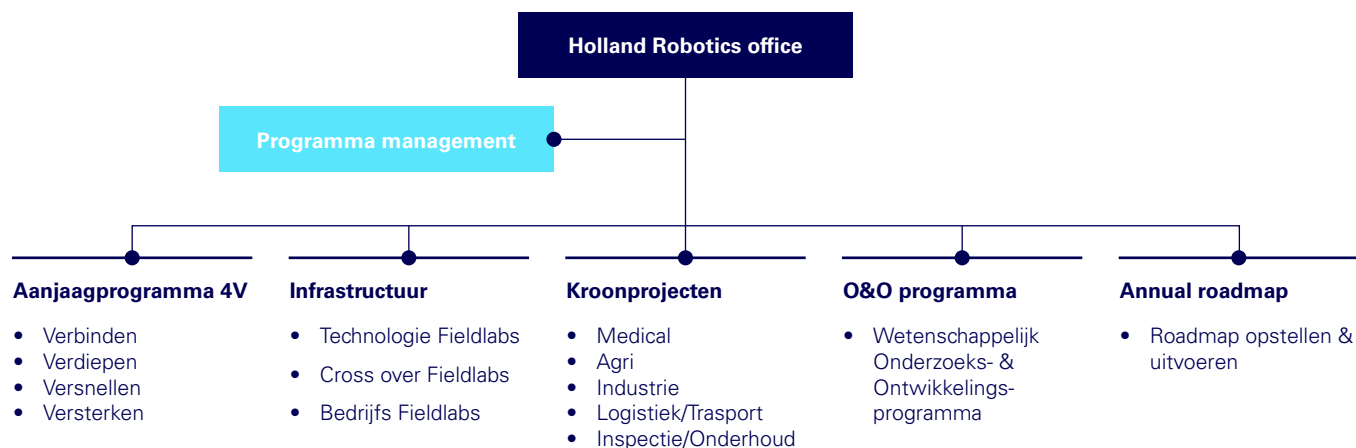
De toekomst van het ecosysteem

Ecosystemen ontwikkelen zich in verschillende fases (figuur 12). Het robotica ecosysteem in Nederland is al een eind op weg en de netwerken rond robotica zijn reeds opgebouwd. In onderstaande figuur is de fase van het robotica ecosysteem te typeren als fase 2.

Nu is het zaak slim te kiezen, een structuur te bouwen en de massa te vergroten. Wanneer de hier beschreven acties in gang worden gezet, kan in 2025, na het initiële programma de sector zonder (veel) overheidsinvesteringen verder kan en het ecosysteem zich in fase vier bevindt en duurzaam voort kan bestaan.



Figuur 12 De groei van het ecosysteem



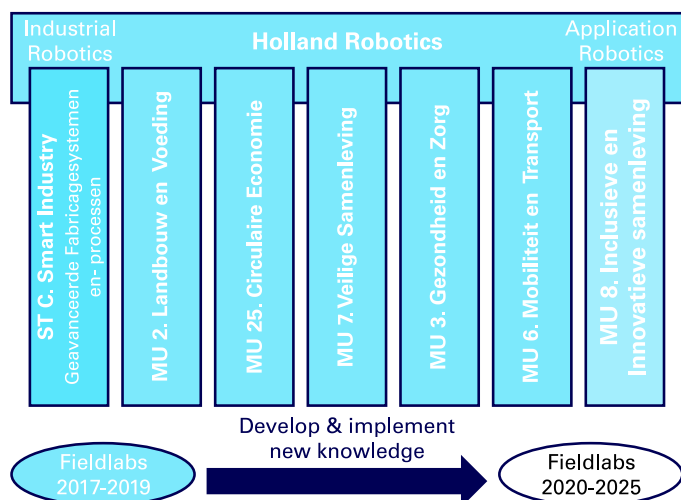
Figuur 13 Voorgestelde programmaorganisatie

Programmaorganisatie

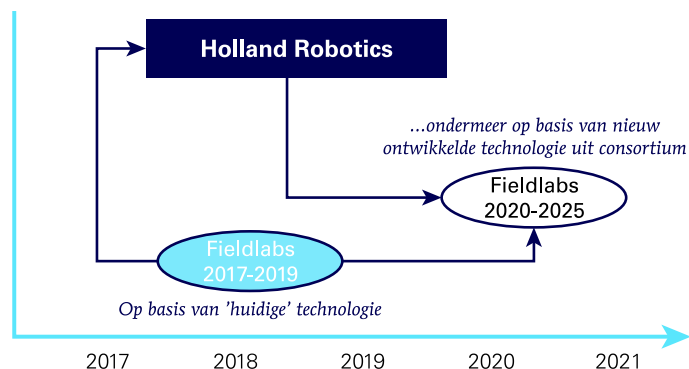
Het gehele programma dat door Holland Robotics wordt uitgevoerd bevat verschillende pijlers zoals het Aanjaagprogramma, de coördinatie en invulling van de infrastructuur, de 5 kroonprojecten, de O&O programmering en de opzet en uitvoering van de jaarlijks bijgewerkte roadmap voor robotica, gekoppeld aan de topsector HTSM. Het programma wordt professioneel gemanaged vanuit Holland Robotics.

Relatie tot Smart Industry

De relatie tussen Holland Robotics en Smart Industry is helder. Holland Robotics is een nationaal onderzoeksprogramma voor robotica, waarin basistechnologie ontwikkeld wordt voor een variëteit aan toepassingen en daarmee duidelijk breder en omvangrijker is dan alleen de huidige HTSM topsector. Initieel voortgekomen uit, onder andere, de Smart Industry roadmap, zal dit Robotica programma een aantal technologieën ontwikkelen die van waarde zullen zijn in ondermeer **smart industry**. Robotica strekt zich inmiddels echter ook uit tot andere applicatiegebieden als AgroFood en de medische wereld. Vice versa worden in het Smart Industry-programma oplossingen ontwikkeld op basis van een variëteit aan sleuteltechnologieën. Robotica zal een van de sleuteltechnologieën zijn die worden gebruikt. Het nationale Robotica-programma heeft tot doel de industrie (ook MKB) te voorzien van nieuwe sleuteltechnologieën voor de komende aantal jaren. In die zin heeft Holland Robotics een gedeeltelijke overlap met de aankomende fieldlabs en zal zich met name richten op de lange termijn en er voor zorgen dat de toekomstige fieldlabs zich, op langere termijn, verder kunnen ontwikkelen en opnieuw voorzien zullen worden van baanbrekende roboticatechnologie. Holland Robotics richt zich voor een groot deel op onderwerpen met een lagere TRL dan in de huidige fieldlabs, maar is desalniettemin industrie-gedreven tot het niveau van demonstrator-projecten op het midden TRL-niveau om daarmee ook de MKB bedrijven goed te kunnen aansluiten. De focus ligt echter op de langere termijn.



Figuur 14 Relatie Holland Robotics en het Nederlandse innovatielandschap



Figuur 15 Interactie tussen Holland Robotics en de Smart Industry Fieldlabs

De beide initiatieven sluiten goed bij elkaar aan. In sommige fieldlabs kan worden samengewerkt en kunnen de programma's elkaar versterken en verrijken.

Investeringsbehoefte

De ambities in de robotica zijn te groot om door één bedrijf te worden opgepakt. Holland Robotics stelt daarom het eerder beschreven, op gezamenlijk gebaseerde, vraag-gestuurd programma voor, waarin de basistechnologie wordt ontwikkeld om meer en meer toepassingsmarkten te kunnen bedienen. Hiervoor zal een budget nodig zijn in de ordegrootte van € 100 miljoen, verspreid over 5 tot 10 jaren. Meerdere bedrijven zijn op dit moment bereid gezamenlijk te investeren. Om innovatiesnelheid te verhogen en risico te delen zullen wij vragen om een co-investering vanuit de overheid. Een investering, in evenredigheid door industrie en overheid samen opgebracht en ingezet in PPS-vorm. Wij verwachten medio 2018 bij u terug te komen met een verzoek om cofinanciering voor het Holland Robotics-programma.

Nu is het zaak de onderzoeksagenda op te stellen en het voorgestelde programma in meer detail uit te werken. Holland Robotics wil het initiatief nemen in een serie toepassingssector-specifieke roadmapsessies, om de behoeften vanuit de industrie in het vizier te krijgen. Hiertoe is € 100 duizend organiserend vermogen nodig. Wij vragen met dit rapport om uw mede-investering van 50% hierin; de industrie is reeds bereid bevonden de overige 50% te financieren.

Met deze investeringen positioneren we Nederland in een dynamische markt met een enorme potentie én creëren we de komende jaar duizenden extra banen.

Tot slot

Wij danken u voor het lezen van dit rapport en hopen te hebben duidelijk gemaakt dat Nederland moet investeren in robotica om de vele kansen die hier liggen te kunnen grijpen. Nederland kent een aantal unieke sterktes op zowel technologiegebied als toepassingsgebied en kan een koppositie pakken wanneer die worden gecombineerd.

Dit gaat echter niet zonder slag of stoot, en om straks voorop te lopen moet nú worden geacteerd. Via Holland Robotics vragen kennisinstellingen, bedrijven en netwerkorganisaties uw hulp om Nederland hét land te maken met een toekomstbestendige robotica-sector die vooroploopt in toepassingsspecifieke robotica.

Bronnen

1. euRobotics aisbl. (2013). *Strategic Research Agenda 2014-2020*.
2. i-Botics. (2017, Juli 7). Opgehaald van i-Botics: <http://i-botics.com/>
3. International Federation of Robotics. (2016). *World Robotics 2016 Industrial Robots*.
4. KPMG (2017, Augustus 22). Inzet zorgrobot essentieel voor toekomstige ouderenzorg. Opgehaald van <https://home.kpmg.com/nl/nl/home/media/press-releases/2017/08/inzet-zorgrobot-essentieel-voor-toekomstige-ouderenzorg.html>
5. ROBO Global. (2016). *Robotics & Automation Market Outlook 2017*.
6. SPARC. (2016). *Robotics 2020 Multi-Annual Roadmap*.
7. Vanian, J. (2016, Februari 24). *The Multi-Billion Dollar Robotics Market Is About to Boom*. Opgehaald van Fortune.com: <http://fortune.com/2016/02/24/robotics-market-multi-billion-boom/>
8. Violino, B. (2016, December 22). *The future of robotics: 10 predictions for 2017 and beyond*. Opgehaald van ZDNet: <http://www.zdnet.com/article/the-future-of-robotics/>

Bijlage A. Aanwezigen validatiesessie

Op vrijdag 30 juni organiseerden wij een bijeenkomst waarin wij het gesprek aan gingen met bedrijven en kennisinstellingen die actief zijn op het gebied van robotica. Gedurende deze sessie werd de inhoud van dit document gevalideerd, aangevuld en verder vorm gegeven.

NAAM	ORGANISATIE	NAAM	ORGANISATIE
Bart van Dartel	Vanderlande	Jesse Scholtes	TU/e
Bert Korsten	Vanderlande	Gert Kootstra	WUR
Serge Loosveld	Lely	Gusztai Eiben	VU
Gustaaf Stavenije	VDL-ETG	Randy Kertjens	Fontys
Heico Sandee	Smart Robotics	Arjen de Jong	TNO
Rudolf Essel	Sprint Robotics	Alex van Geldrop	Oost NL
Jan Post	Philips	Arthur de Crook	Robovalley
Willem Endhoven	High Tech NL	Thijs Dorssers	High Tech NL

Tabel 3 Aanwezigen validatiesessie

Bijlage B. Geïnterviewde personen

Een aantal personen dat niet aanwezig kon zijn bij de validatiesessie is individueel geïnterviewd. Dit heeft het document verrijkt; bovendien zijn een groot aantal bevindingen bevestigd.

NAAM	ORGANISATIE	NAAM	ORGANISATIE
Maarten Steinbuch	TU/e	Peter Werkhoven	TNO
Stefano Stramigioli	Universiteit Twente	Sandy Kalisingh	Shadana
Dennis Schipper	DEMCON	Emmaly Sibbes	Fokker

Tabel 4 Geïnterviewde belanghebbenden



Bijlage C. Technologische vraagstukken verder toegelicht

Per onderwerp sommen we de belangrijkste technologische vraagstukken voor de komende jaren op in deze bijlage.

Systeemontwikkeling

In robotcatoepassingen komen vele technologievelden bij elkaar. Om volledige roboticasystemen te ontwikkelen is het dan ook belangrijk gebruik te maken van een systematische geïntegreerde aanpak: dit wordt ook wel systeemkunde of systems development genoemd. In de praktijk bestaat systems development uit een set systematische processen, tools en modellen.

Hoewel systems development al veel wordt gebruikt voor het ontwikkelen van informatiesystemen, is dit binnen de robotica nog in het beginstadium. Toch wordt systems development gezien als de bepalende succesfactor. Momenteel zijn er vrijwel geen systematische ontwerpprocessen voor robots beschikbaar. In de praktijk betekent dit dat veel robots ad-hoc worden gebouwd en dat er veel ambachtswerk nodig is bij het bouwen en implementeren van robots.

Een aantal zaken zouden binnen Systems development verder kunnen en moeten worden ontwikkeld:

- Een systematische aanpak, waarbij het mogelijk is met verschillende rollen te werken (ontwikkeling, uitrol en productie)
- Modelgedreven ontwerptools gericht op robots die het tevens mogelijk maken te valideren dat een ontwerp voldoet aan alle systeemvereisten
- Digital Twins die de ontwikkeling en het gebruik en inpassing van robots virtueel onderzoeken en een onderdeel kunnen vormen van control en *predictive maintenance*
- Standaarden om uitwisselbare componenten te beschrijven
- Formele methoden en tools om het systeemgedrag van robots te beschrijven

Mens-robotinteractie

Om robots te integreren in onze samenleving is het belangrijk dat robots veilig kunnen samenwerken met mensen. De afgelopen decennia is er dan ook veel aandacht voor soft robots:

flexibele robots die intelligentie bezitten, zodat zij kunnen samenwerken met een mens. Zo zijn er de afgelopen jaren grote stappen gemaakt op het gebied van *human-centred design*, waarbij bij het ontwerp direct wordt gedacht aan menselijk contact. Ook zijn nieuwe actuatoren ontwikkeld en onderzocht en is software voor het interpreteren van sensordata verbeterd.

Europa loopt voorop als het gaat om het ontwikkelen van veilige robots. Nederland speelt een prominente rol waar het gaat om mens-robotinteractie. TNO is op dit gebied een belangrijke partij, met het Human factors instituut in Soesterberg. Ook onderzoeksgroepen aan de TU Delft, TU Eindhoven, Universiteit Tilburg en de Universiteit Twente zijn op dit onderwerp gericht.

Toch lukt het nog niet om robots die nauw samenwerken met mensen grootschalig van de grond te krijgen: de huidige technologie voor mens-machine interactie (sensoren en actuatoren) is te duur. Daarnaast bestaan er relatief weinig standaarden, testprocedures en validatietools om veiligheid van robots in een omgeving met mensen te garanderen.

Een aantal technologieën zouden op het gebied van mens-robotinteractie verder ontwikkeld moeten worden:

- De mogelijkheid om real time de omgeving te modelleren en de beslissingen van een robot zich hierop te laten aanpassen
- Ontwikkeltools om veiligheid te kunnen garanderen van een robot. (Denk hierbij aan tools om de afhankelijkheid van het falen van componenten te valideren, testmethodes om de numerieke stabiliteit van de gebruikte programmatuur te testen en modelgebaseerde verificatietools).
- Software om bewegingen te plannen¹⁾ waarbij rekening wordt gehouden met aanwezige mensen in de omgeving en ergonomische factoren
- Actie en interactie-algoritmen die zorgen voor natuurlijke reflexen van robots

1) Engelse term: Motion and trajectory planning

Mechatronica

Mechatronica gaat over de integratie van mechanica en elektronica, de kern van roboticatechnologie. Hierbij horen ook mechanismes, actuatoren, sensoren en besturingstechnieken, alsmede embedded software. Nederland is één van de meest vooraanstaande spelers op het gebied van mechatronica, van onderzoek en ontwikkeling tot productie.

De prestaties binnen de mechatronica moeten nog verder verbeterd worden om taken van mensen over te kunnen nemen. De aanpasbaarheid, demping en flexibiliteit van onderdelen van het menselijk lichaam is nu nog vele mate beter dan mechatronische equivalenten. Het is een belangrijke uitdaging om te zorgen dat de mechatronische componenten de prestatie hebben die vergelijkbaar zijn met de mens. Dit zal leiden tot dynamische robots die bestand zijn tegen “klappen” en in staat zijn mechanische energie op te slaan, zodat ze snel en soepel kunnen bewegen, in tegenstelling tot de huidige statische robots. Concreet moet er binnen de mechatronica gefocust worden op de volgende ontwikkelingen:

- Het ontwerpen van complete mechanische systemen voor robots, in plaats van het ontwikkelen van mechanische systemen voor onderdelen van de robot.
- Nieuwe sensortechnologie, in het bijzonder netwerken van sensoren waarbij de informatie uit verschillende sensoren wordt gecombineerd
- Standaardisatie van communicatie tussen robots onderling met behulp van het internet of things, en tussen sensoren, actuatoren en besturingssystemen binnen robots.
- Regelalgoritmen die in staat is om te gaan met steeds kinematisch-complexer wordende robots. Met name onderzoek naar robuuste en adaptieve regeltechniek is hiervoor essentieel.

Perceptie

Perceptie gaat over het verwerken en interpreteren van informatie over de omgeving van een robot. Dat betekent dat ruwe sensordata verwerkt moet worden tot bruikbare informatie.

- Het verwerken van sensordata is vaak nog lastig onder moeilijke omstandigheden; denk aan zware weersomstandigheden of het herkennen van glimmende objecten. De komende jaren moeten deze verwerkingstechnieken verder worden verbeterd.
- Daarnaast moet worden gekeken of het verwerken van sensordata direct bij de sensor kan gebeuren, in plaats van dat alle signalen worden doorgestuurd naar een centrale processor. Deze laatste ontwikkeling is ook voor sensornetwerken van enorm belang.
- Binnen het vakgebied van interpretatie zijn er met name uitdagingen voor het herkennen van ‘active agents’ (denk aan mensen). Het herkennen van losse objecten is in een vergevorderd stadium, maar het herkennen van complete scenes of landschappen verdient nog veel aandacht.
- Tot slot zijn er ook voor het actief herkennen van patronen over de tijd nog een fors aantal uitdagingen.

Navigatie

Binnen navigatie worden drie verschillende technieken verstaan: het bepalen van de locatie van een robot, het bouwen en interpreteren van kaarten en het plannen en uitvoeren van routes. Veel technieken binnen navigatie zijn al uitvoerig getest, zowel binnen een onderzoeksomgeving als in de praktijk: denk bijvoorbeeld aan het verwerken van GPS-data. De belangrijkste uitdagingen zitten hem vooral in:

- Het integreren van indoor- en outdoor-navigatie: zowel indoor als outdoor bestaan marktklare technieken, maar hoe moeten deze technieken gecombineerd worden om tot accurate plaatsbepaling te komen wanneer een robot zich van buiten naar binnen verplaatst of omgekeerd
- De kosten van goede plaatsbepaling zijn te hoog. Technieken zijn nodig om nauwkeurige plaatsbepaling ook mogelijk te maken met onnauwkeurige sensoren die goedkoper zijn.
- Tot slot dient er onderzoek te worden gedaan naar locatiebepaling en het bepalen van routes binnen (snel) veranderende omgevingen.

Cognitie & Leren

Bij cognitie gaat het erom dat de robot leert uit wat er gebeurt en zijn gedrag hierop aanpast. Cognitie is feitelijk de kunstmatige intelligentie die een robot bezit. Binnen cognitie kunnen we vier belangrijke deelgebieden onderscheiden: knowledge representation and reasoning (KR&R), action planning, leren en menselijke interactie.

Knowledge representation and reasoning omvat het maken van logische beslissingen op basis van nieuw opgedane ervaringen en eerder verkregen kennis. Action planning gaat over het beredeneren welke acties wanneer moeten worden uitgevoerd. Als derde deelgebied onderscheiden we leren. Leren gaat over het aanpassen en verbeteren op basis van ervaringen. Tot slot menselijke interactie. Zeker voor robots die binnenshuis worden gebruikt is het belangrijk dat zij mensen kunnen begrijpen.

Concreet zijn er de volgende uitdagingen op het gebied van cognitie:

- De belangrijkste uitdagingen op het gebied van Knowledge representation and reasoning zijn het omgaan met onzekerheid en het vastleggen en gebruiken van algemene kennis en kennis die contextspecifiek is.
- Er bestaan binnen action planning heel veel technieken om trajectories te plannen en om taken te plannen, maar de beste resultaten zijn te bepalen als al deze planningen worden gemaakt door één geïntegreerd systeem: een hybride systeem. De grootste uitdaging hierbij is het beteugelen van de rekenkracht die hiervoor is vereist.
- Ontwikkelingen op het gebied van leren gaan zeer hard, maar zijn vaak te algemeen om direct voor robotica toegepast te worden. De belangrijkste ontwikkeling die dient plaats te vinden is het geschikt maken en verder uitwerken van de generieke machine learning technieken voor robots.
- Op het gebied van menselijke interactie zijn er nog veel uitdagingen, met name rond het begrijpen van emoties (bijvoorbeeld gezichtsuitdrukkingen) en het begrijpen van verbale communicatie in rumoerige omstandigheden.
- Motorische intelligentie: het kunnen maken van complexe bewegingen voor eenvoudige handelingen, zoals het draaien aan een wiel. Hierbij komen perceptie, biomechanica en mechatronica samen met cognitie.

