

Voorwoord

In onze zoektocht naar nieuwe levensvormen kijken we steeds verder in het heelal en durven daarbij de focus al te leggen op Mars. Technologieën die ruimtebronnen kunnen aanwenden zullen op den duur het zonnestelsel toegankelijk maken voor menselijke exploratie en bewoning. Daarbij zullen we grotendeels afhankelijk zijn van geavanceerde robots die ons helpen bij het bouwen, kwartier maken en overleven op een planeet.

De ontwikkelingen op het gebied van robots en artificiële intelligentie zijn de afgelopen jaren in een enorme stroomversnelling geraakt. Robots bouwen al auto's, maar kunnen er inmiddels zelf ook in rijden. Met hetzelfde gemak kiezen robots het luchtruim, koken ze een maaltijd of bieden ze medische zorg en gezelschap aan de mens. Sommigen nemen daarbij al menselijke vormen aan en communiceren net zo vloeiend met het vleeselijke evenbeeld als met hun gehamerde broeders. Het plafond is daarbij nog lang niet in zicht. Anderzijds robotiseert ook de homo sapiens door de verdergaande toepassing van robotimplantaten in en op het menselijk lichaam. Het is die groeiende combinatie van technologie en intelligentie die me heeft doen afvragen of dit niet tot een nieuwe levensvorm zal leiden die veel dichterbij de aarde kan worden gezocht. Namelijk de met de mens co-existerende intelligente robot die op sommige terreinen de homo sapiens wel eens volledig zou kunnen voorbijstreven of vervangen. Waar gaat deze ontwikkeling naar toe en zal de intelligente robot zich ook kunnen schikken naar de mens?

Daar waar robots relatief eenvoudig kunnen worden ingepast in een blauwdruk voor het ontwerp van een kleine toekomstige ruimte samenleving, is hun technologische opmars op aarde minder makkelijk te integreren in de gevestigde maatschappij. Welke mogelijkheden, uitdagingen en obstakels liggen hier in het verschiet? Krijgen robots daarin bijvoorbeeld net als de mens ook een eigen identiteit? Maar bovenal speelt de vraag: wie zijn nu eigenlijk die robots en hoe kunnen we er mee omgaan?

Dit boek leidt de lezer op een toegankelijke manier door het complexe, maar fascinerende robotlandschap en wisselt daarbij verrassende inzichten af met interessante praktijkvoorbeelden en 'food for thought'. Onderweg naar de gerobotiseerde maatschappij passeren daarbij zowel praktische, sociaalmaat-

schappelijke als juridische aspecten de revue. Gezien de mogelijkheden van kunstmatige intelligentie heb ik erover nagedacht dit voorwoord te laten schrijven door een robot. Waarom hier om voor een robot onbegrijpelijke redenen toch van is afgezien leest u verderop in het boek.

Deventer, maart 2018

Mr. Roderic C. Winkelhorst

1. Inleiding

Een robot als lid van de familie, collega op het werk of als diagnose stellende nanodokter in je lichaam? Op diverse plekken in de wereld wordt er hard aan dit soort nieuwe mogelijkheden gewerkt. Niet in de laatste plaats vanwege de financiële en praktische voordelen die dit vanuit economisch-technologisch perspectief oplevert. Robots zijn altijd fit, online, klagen niet en werken efficiënter en nauwkeuriger. De kundige, maar eenzijdig geschoolde fabrieksrobot heeft de afgelopen jaren flink bijgeleerd en is nu ook op weg naar het servicedomein, ofwel de tertiaire en quartaire sector.¹

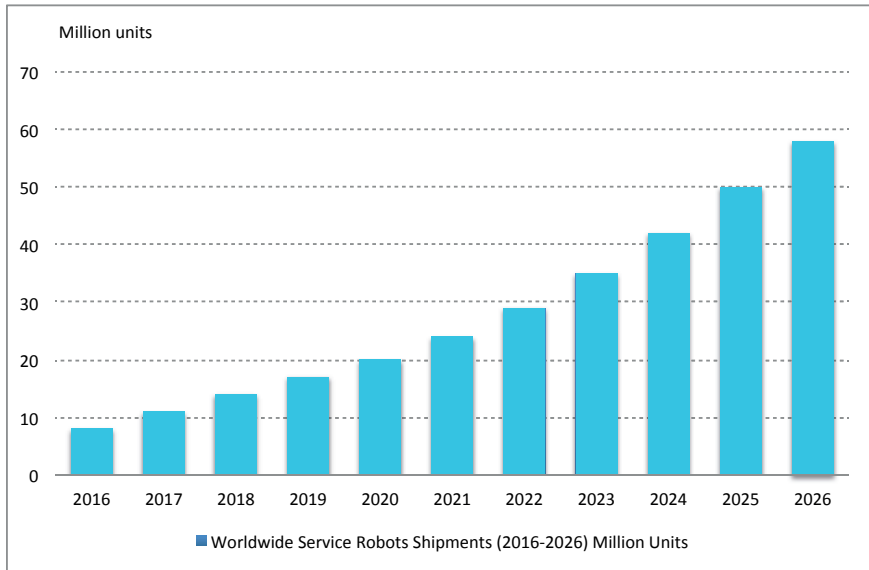
Als men de berichtgeving rondom de opmars van robots mag geloven, dan zou de mens wel eens halverwege deze eeuw grotendeels vervangen kunnen zijn door de robot.² Niet zo vreemd wanneer men bedenkt dat rond 2020 wereldwijd er meer dan drie miljoen industriële robots daadwerkelijk actief zullen zijn.³ Service robots voor zakelijk en particulier gebruik zullen zelfs een veelvoud daarvan bedragen, met een geschat totaal van 264 miljoen actieve robots in 2026.⁴ Bij deze robots kan bijvoorbeeld worden gedacht aan drones, huishoudelijke, medische, ondersteunende en gezelschapsrobots.

1. De tertiaire sector beslaat de commerciële diensten. Niet-commerciële dienstverlening, vooral de (semi-)overheid noemt men de quartaire sector.

2. Vergelijk: Acemoglu, D. & Restrepo, P., 'Robots and Jobs: Evidence from US Labor Markets', Cambridge, Massachusetts: MIT 2017, DOI: 10.3386/w23285; Autor, D., 'Why Are There Still So Many Jobs? The History and Future of Workplace Automation', *Journal of Economic Perspectives* 2015, 29(3), p. 3-30; Sarah Knapton, S., 'Robots will take over most jobs within 30 years, experts warn', *The Telegraph*, 13 februari 2016, <http://www.telegraph.co.uk/>.

3. Bron: IFR World Robotics 2016.

4. Berg Insight (2017), 'The Global Service Robotics Market', M2M Research Series.



Figuur 1. Prognose wereldwijde levering van service robots.⁵

Op het gebied van werkgelegenheid zullen wereldwijd naar verwachting in 2025 al 25 procent van de banen door robotisering (waaronder smart software) zijn vervangen.⁶

De vervanging van de mens vindt in de komende periode echter niet alleen plaats rondom het sociaal-economische leven. Ook in het lichaam van de mens zelf zal de robot steeds verder zijn intrede doen. Hierbij spelen bijvoorbeeld nanorobots met afmetingen die nog kleiner zijn dan een minuscuul stofdeeltje een belangrijke rol. De nu nog enigszins definieerbare grens tussen mens en machine zal hierdoor langzaam vervagen en steeds lastiger te hanteren zijn. Dit is een interessante ontwikkeling die ons er tevens toe dwingt goed na te denken over de veranderende definitie van de term robot en diens positie in de maatschappij.

De genoemde opmars van de robot brengt namelijk hoe dan ook met zich mee dat de wereld op den duur zal worden bevolkt door honderden miljoenen robots die in meer of minder geavanceerde vorm zowel naast als in de mens zullen leven. De geavanceerde robots zullen door middel van kunstmatige intelligentie in staat zijn om zelf na te denken, gevoelens te herkennen en (autonoom) te handelen. Het niveau waarop zij dit doen zal op een dag dat van de

5. Bron: Berg Insight 2017 (The Global Service Robotics Market).

6. Sirkin H.L., Zinser, M. & Rose, J.R., "The Robotics Revolution: The next great leap in manufacturing", Boston Consulting Group 2015.

2. Wat is een (moderne) robot?

Het begrip robot is onderhevig aan tijdsinvloeden niet in de laatste plaats vanwege de voortschrijdende stand van de techniek. De meeste mensen, van jong tot oud, hebben echter wel een beeld bij het woord robot. Vaak is dit het (stereo) type robot dat we vinden in films, games en boeken zoals Tik-tok uit de bekende Oz-boekenserie van L. Frank Baum of de R2-D2 uit *Star Wars*. Deze robots hebben een eenvoudige menselijke vorm welke bestaat uit een verticale torso, twee armen, benen en een hoofd en worden tegenwoordig ook wel humanoids of humanoid robots genoemd. Dit vanwege hun gelijkenis met de mens. Hiermee onderscheiden ze zich van robots zoals we die bijvoorbeeld tegenkomen in de montagelijnen van autofabrieken of achter de bar in een luxe cruiseschip zoals de *Quantum of the Seas*.⁷ Deze robots hebben een louter voor de taak ontworpen functionele constructie die uiterlijk uit drie of meer bewegende onderdelen bestaat. Voor een robot die bijvoorbeeld zelfstandig moet vliegen zoals een drone, is een menselijke vorm weinig functioneel.

Humanoid robots zijn inmiddels langzaam hun weg aan het vinden in onze samenleving. Een goed voorbeeld is de Japanse robot ASIMO van Honda wat staat voor Advanced Step in Innovative Mobility (zie ook figuur 6).⁸ ASIMO was oorspronkelijk ontworpen om mensen in nood te helpen en kan zich probleemloos begeven in mensenmenigten, maar blijkt ook heel goed in staat om educatieve voorlichting te geven. Omdat dergelijke robots met name actief zijn in de service-industrie, is het voor hen juist wel van belang om een menselijke vorm te hebben. De Europese humanoid robot Roméo van Aldebaran Robotics⁹ is daar een sprekend voorbeeld van. Roméo is een tweede generatie zorgrobot en persoonlijke assistent ontworpen om oude mensen te helpen die zich niet meer goed zelfstandig kunnen redden. Roméo fungeert als huisgenoot voor zijn eigenaar en kan naast het voeren van een gesprek ook huishoudelijk werk verrichten. Door zijn lerend vermogen kan Roméo naar verloop van tijd steeds beter inspelen op de behoefte van zijn eigenaar. Een ander goed

7. Royal Caribbean International, 'Robot Bartenders Shake Things Up At Sea: behind the scenes of the most advanced cruise ship bars', 20 september 2016, <http://www.royalcaribbean.com/connect/robot-bartenders-shake-things-up-at-sea/>.

8. Honda Motor Co., 'ASIMO Technical Information', <http://asimo.honda.com/downloads/pdf/asimo-technical-information.pdf>.

9. Project Roméo (2), <http://projetromeo.com/en/development>.

voorbeeld vinden we in Dubai. Daar worden sinds juni 2017 in enkele winkelcentra en op het vliegveld humanoid politierobots ingezet die onder andere middels gezichtsherkenning criminelen kunnen opsporen, bewijs verzamelen en onbeheerde tassen inspecteren. In 2030 wil Dubai zelfs een kwart van de politiemacht uit robots laten bestaan. De politierobot genaamd REEM, die overigens ooit als eenvoudige service robot begon, is een creatie van de Spaanse firma PAL Robotics.¹⁰ Dat REEM door mensen vooral wordt geassocieerd met de eerste *Robocop*-film uit 1987 zal geen verbazing wekken. Het is niettemin verrassend te zien hoe snel fictie soms realiteit kan worden.

Naast robots en humanoids kunnen we nog een derde en vierde categorie onderscheiden. In de *Blade Runner*-films komen robots voor die niet alleen geheel op mensen lijken, maar zich ook als zodanig kunnen gedragen zonder dat daarbij mechanische onderdelen zichtbaar zijn. Deze categorie noemt men ook wel Androids. Toen de originele film in 1982 verscheen was dit nog slechts een illusie. Alhoewel de laatste *Blade Runner*-film zich afspeelt in 2049 heeft de ontwikkeling van Androids inmiddels een vlucht genomen en is het slechts een kwestie van tijd voordat zij een rol van betekenis zullen gaan spelen in onze maatschappij. Eén van de eerste Androids is de Actroid-F. Een samenwerking tussen de firma Kokoro en het National Institute of Advanced Industrial Science and Technology (AIST) uit Japan.¹¹ Een nauwelijks van een echte mens te onderscheiden robot die tevens menselijk gedrag simuleert door middel van gelaatstrekken, bewegingen en ademhaling. Zowel de mannelijke als vrouwelijke versie van de Actroid-F kan met mensen communiceren. Alhoewel het woord Android eigenlijk genderneutraal is worden vrouwelijke Androids ook wel aangeduid als Gynoids of Femdroids vanwege hun gelijkenis met het vrouwelijke lichaam.

Een aparte vierde categorie wordt gevormd door de lichaamsrobots. Dit zijn robots die extra functionaliteit of gezondheidsbevorderende toepassingen aan en in het lichaam bieden. Microscopisch kleine nanobots die medicatie bij bepaalde cellen in het lichaam brengen of in staat zijn om als rode bloedcel te fungeren zijn daar een voorbeeld van. Het is die ontwikkeling die in feite ook de mens zelf in meer of mindere mate robotiseert.

Binnen deze gekozen vier hoofdcategorieën van robots is ook weer een belangrijke onderverdeling te maken naar taakveld en complexiteit. Dit zal nader worden besproken in hoofdstuk 4. Voor een beter begrip van de term robot zal in de volgende paragrafen eerst dieper worden ingegaan op de betekenis van

10. Pal Robotics, 'Reem technical datasheet', <http://pal-robotics.com/wp-content/uploads/2016/03/REEM-Datasheet.pdf>.

11. www.kokoro-dreams.co.jp/english/; www.aist.go.jp/index_en.html.

3. Het ontstaan van de robot

In het voorgaande hoofdstuk werd duidelijk wat in de kern een robot tot een moderne robot maakt en hoe het zich verhoudt tot machines en het IoT. In dit hoofdstuk gaan we dieper in op het ontstaan van de robot en zijn ontwikkeling in de tijd. Dat doen we aan de hand van enkele belangrijke historische gebeurtenissen op het gebied van robottechnologie. Uiteraard kan dit niet zonder een stukje (robot)theologische duiding. Religies willen daarbij nogal eens van elkaar verschillen, maar soms vertonen ze ook verrassende overeenkomsten. Zo wordt in zowel het christendom als de islam het ontstaan van de mens herleid naar een almachtige schepper. Tussen deze religies zijn er uiteraard wel uiteenlopende opvattingen over de schepping, maar het principe van een schepper van het leven is een mooie gedachte en tevens vertrekpunt voor dit hoofdstuk, dat ons leidt van religie naar mythologie en van fictie naar concrete feiten en robotwetenschap.

3.1 Van schepping tot kunstmatig brein

Net als de eerste mensen, waren er natuurlijk ook ooit de eerste robots. Lang geleden kwamen zij echter nog niet voor op het lijstje van de Schepper van al het bestaan. De Almachtige maakte de mens naar zijn evenbeeld en stelde slechts één voorwaarde:

‘Van alle bomen in de tuin mag je eten, maar niet van de boom van de kennis van goed en kwaad; wanneer je daarvan eet, zul je onherroepelijk sterven.’

– NBV, Gen. 2:16-17

Het menselijk brein wilde Hij echter niet voorprogrammeren. Daardoor kon het gebeuren, zoals de overlevering ons doet geloven, dat Eva werd verleid door een duivelse slang – en Adam op zijn beurt door Eva – tot het eten van de ‘de boom van kennis van goed en kwaad’. De teleurgestelde Schepper ontnam de mens daarna het eeuwige leven en verdreef hen uit het paradijs. Op de Ladder van de natuur was de mens voor altijd een aantal treden gezakt.

De kans is vrij klein dat de menselijke Eva een ‘robot Adam’ had kunnen verleiden tot het eten van de ‘boom van kennis van goed en kwaad’, hetgeen het begin van de zondeval had kunnen voorkomen. Alhoewel de mens na de zondeval geen toegang meer had tot ‘de boom van kennis van goed en kwaad’, viel vele jaren later de appel niet ver van de boom toen deze op zijn beurt de robot bedacht. Anders dan de Schepper bij de mens voor ogen had, stond bij het creëren van de robot het programmeerbare brein voorop. De eerste voorlopers van de hedendaagse robot werden sterke menselijke en dierlijke lichamen of zelfs een combinatie hiervan toegedacht. In de Griekse mythologie kende men enige honderden jaren voor Christus reeds een reusachtige bronzen gevleugelde vechter genaamd Talos die voorgeprogrammeerde instructies uitvoerde. Talos cirkelde driemaal daags rond de Griekse eilanden om deze te beschermen tegen indringers en piraten. Talos zou, meer nog dan de slang, zeker in staat zijn geweest om Eva te verleiden tot het eten van de verboden vrucht, maar hij was daartoe niet geprogrammeerd. Talos evenaarde de verfijnde bouw van de mens, maar bleef uiteindelijk een mythe die voor ons niet tastbaar werd. Ook was er 400 jaar v.Chr. de eveneens uit Griekenland afkomstige mechanische duif van de wiskundige Archytas van Tarentum welke werd aangedreven door stoom. De duif kon naar verluidt zo’n 200 meter vliegen op eigen kracht. Archytas was daarmee de eerste die kunstmatige technologie daadwerkelijk tot toepassing bracht.

3.1.1 De Hoge- en Late Middeleeuwen

Tussen 913 en 959 toen keizer Constantijn VII de scepter zwaaide over het Byzantijnse Rijk, zagen aan het hof diverse robotachtige creaties het levenslicht. Constantijn dacht door middel van magie rondom zijn troon de Bijbelse figuur van Koning Salomon te kunnen belichamen die vroeger magische krachten werd toegedicht. Constantijns troon in Constantinopel was een indrukwekkende creatie die door middel van hydraulica op en neer kon bewegen en werd bewaakt door met goud afgewerkte mechanische leeuwen die ten overstaan van bezoekers hun staarten bewogen en luid brulden met hun muilen waarin zelfs de tongen bewogen.²⁶ Dit schouwspel ging vergezeld met een harmonieus fluitconcert van bronzen eveneens mechanische vogels die zich bevonden in een voor de troon staande bronzen boom. Iedere vogelsoort had daarbij zijn eigen geluid. Dit alles leidde uiteraard tot groot ontzag van zijn bezoekers die zich in een surrealistische wereld waanden.²⁷

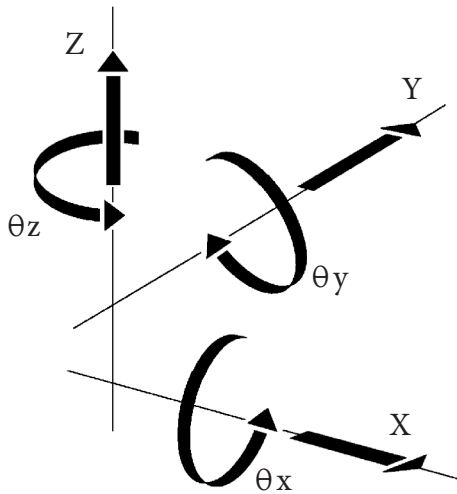
26. Brett, G., ‘The Automata in the Byzantine “Throne of Solomon”’, *Speculum* 1954, 29, no. 3.

27. Maguire, H., *Byzantine Court Culture from 829 to 1204*, Washington, D.C.: Dumbarton Oaks Research Library and Collection 1997; Truitt, E.R., *Medieval Robots: Mechanism, Magic, Nature, and Art*, Philadelphia: University of Pennsylvania Press 2015.

4. Robots in praktisch perspectief

Aan het begin van hoofdstuk 2 hebben we vier verschillende hoofdcategorieën robots onderscheiden: de robot, de humanoid, de android en de lichaamsrobot. Na in het vorige hoofdstuk een beeld te hebben geschetst van wat een robot in de kern is en welke ontwikkeling deze heeft doorgemaakt is het nu tijd om dieper in te gaan op de verschillende soorten robots. Dit is met name van belang om enigszins een beeld te schetsen van hoe de wereldpopulatie eruitziet, hoe het een en ander functioneert en de mogelijkheden en uitdagingen die dit biedt. Welke soorten robots er zijn is geen academische kwestie, maar wordt met name bepaald door fysieke kenmerken, functies, sectoren waarin de robot actief is en het doel van de robottoepassing. Afhankelijk van de waardering die men aan deze kenmerken afzonderlijk, of in combinatie toekent, ontstaat er een (andere) indeling waarbij grote overlappen kunnen optreden. De meest overzichtelijke indeling kan niettemin worden gemaakt door de fysieke kenmerken als uitgangspunt te nemen en daarbij de manier van (voort)bewegen.

Voordat we deze soorten afzonderlijk zullen bespreken is het belangrijk eerst iets op te merken over de bewegingsdynamiek van een robot. Daarbij kunnen twee manieren van bewegen worden onderscheiden: roteren en transleren. Wanneer we spreken over de bewegingen die een voorwerp maakt dan kunnen we deze visualiseren in een 3-dimensionale ruimte met drie richtingen ook wel assen genoemd: de X-, de Y- en de Z-as. Een voorwerp kan langs de drie assen bewegen (transleren) en erom draaien (rotieren), zoals in figuur 10 goed is te zien. Dit levert in totaal zes bewegingsmogelijkheden (getallen) op die men vrijheidsgraden (of DOF's (degrees of freedom)) noemt.



Figuur 10. Transleren en roteren.

De configuratie van de robot wordt gedefinieerd door deze zes assen of vrijheidsgraden. Omdat er een minimum van drie assen nodig is om van de ene naar de andere positie te kunnen komen in een 3-dimensionale ruimte, moet een lichaam ten minste drie vrijheidsgraden hebben, maar dan ontbreekt wel de mogelijkheid om bijvoorbeeld dingen op te pakken vanuit verschillende hoeken of richtingen. Een robot die mechanismen heeft om alle zes fysieke DOF's te regelen, wordt holonomisch genoemd. In de praktijk komen we ook robots tegen die meer vrijheidsgraden kennen en met een hogere DOF dan 6 worden aangeduid. Echter, een lichaam kan maximaal zes vrijheidsgraden hebben omdat er slechts zes vrijheidsgraden (zes onafhankelijke variabelen) bestaan in een 3D-ruimte. Boven de 6 dient dit getal dan ook een nuancering. Het gaat hier dan bijvoorbeeld om gecombineerde lichamen in een systeem. Denk bijvoorbeeld aan een complete humanoid robot die gecombineerde vrijheidsgraden voor het hoofd, de armen en de benen kent, bijvoorbeeld in de verdeling 2 (hoofd) 3-3 (armen) 6-6 (benen). Deze robot zou dan een DOF van 20 hebben.

Ook bij een geavanceerde robotarm met een DOF van bijvoorbeeld 7 is het juister om van zeven assen te spreken. De robot heeft dan een extra mogelijkheid ten aanzien van een 6-assige robot om bijvoorbeeld een ander object te ontwijken of via een aangepaste beweging bij een ander object te komen. Zie bijvoorbeeld de arm in figuur 12. De posities die de arm in zijn totaliteit kan bereiken noemen we ook wel werkterrein van een robotarm (figuur 11).

5. Kunstmatige intelligentie

Kunstmatige intelligentie ook wel artificiële intelligentie genoemd is niet iets nieuws. Het is een onderwerp waarmee de wetenschap zich met wisselende aandacht al sinds de jaren vijftig bezighoudt. De aandacht die het momenteel krijgt is zelfs extreem te noemen. Omdat AI naast de wetenschap inmiddels ook door bedrijven concreet wordt gebruikt, zal het onderwerp niet meer onder de radar duiken zoals in het verleden enkele malen is gebeurd. Bedrijven als Alphabet, Facebook, Microsoft, IBM en Intel investeren miljarden in deze technologie. Voor een deel gaat dit geld naar nieuwe AI start-ups. De verwachting is dat er in 2020 zo'n 46 miljard dollar aan omzet zal worden gegenereerd in deze bedrijfstak.³⁰⁹ Het gaat hierbij niet alleen om het ontwikkelen van AI-toepassingen voor eigen gebruik, maar ook AI-toepassingen die net als de cloud als een service aan andere bedrijven kan worden aangeboden zoals een chatbot of vertaal-API.

Om moderne (semi-)autonome robots zelf taken te laten uitvoeren en met mensen te laten communiceren wordt naast RPA ook gebruikgemaakt van kunstmatige intelligentie. In dit hoofdstuk zullen we dieper ingaan op wat artificiële intelligentie nu precies is, hoe het robots slimmer maakt en wat we ervan kunnen verwachten. Alvorens we dit doen is het belangrijk om even stil te staan bij twee hoofdbenaderingen van artificiële intelligentie: de klassieke symbolische artificiële intelligentie en de moderne benadering waarbij de werking van biologische hersenen als het ware wordt geïmiteerd door middel van kunstmatige neurale netwerken.

De klassieke benadering is een top-downbenadering waarbij in hiërarchie de hoogst intelligente processen zoals (logisch) redeneren, rekenen en het verwerken van taal worden gemodelleerd en intelligentie als het ware volledig wordt voorgeprogrammeerd. Dit noemt men ook wel symbolische artificiële intelligentie omdat er sprake is van het verwerken en manipuleren van symbolen volgens vaststaande, formele regels.³¹⁰ Een nadeel van deze vorm van artificiële intelligentie is dat deze niet echt zelf 'denkt'.

309. www.idc.com/getdoc.jsp?containerId=prUS42439617.

310. Dreyfus, H., 'What Computers Still Can't Do', New York: MIT Press 1992.

De moderne benadering werkt precies omgekeerd en wordt ook wel subsymbolisch (in de betekenis van niet symbolisch) genoemd. Vanuit een bottom-up-gedachte begint men met een simpel systeem gebaseerd op een kunstmatig neurale netwerk met legio onderlinge verbindingen dat zichzelf slimmer kan maken. Door het voeden van het systeem met heel veel voorbeelden kan het systeem zijn eigen regels bedenken om tot een bepaald resultaat te komen. Stap voor stap leert het systeem bij totdat er een hogere vorm van intelligentie ontstaat. Dit noemen we ‘deep learning’. Het is deze vorm van AI die op dit moment de toekomst lijkt te hebben en op grote schaal wordt toegepast en daarom voorop zal staan bij de verdere bespreking van dit onderwerp. Dit neemt niet weg dat AI een tijdsopname kan zijn en in de toekomst andere leeralgoritmes of technieken de overhand krijgen. De ontwikkeling van de zelfdenkende robot zal het niet in de weg staan.

5.1 Moderne AI

De moderne artificiële intelligentie, ofwel AI probeert de cognitieve functies van het menselijk brein na te bootsen. Hierbij wordt een versimpeld model van het neurale netwerk waaruit onze hersenen bestaan gevat in een eenvoudige software-architectuur (en een CPU). Het is een belangrijk onderdeel van een moderne robot (zie ook paragraaf 2.1). Met behulp van verschillende algoritmes, een set van instructies die bepalen hoe het programma de data analyseert en gebruikt om een taak uit te voeren, kunnen door de AI-software in groeiende mate patronen worden herkend in vergaarde data of bepaalde situaties. Men noemt dit ook wel machine learning. Deze informatie kan dan worden aangewend om de juiste beslissing te nemen, een voorspelling te doen of een voorliggend probleem op te lossen. Om AI nog effectiever te laten werken dient dit zelflerend vermogen op het niveau van deep learning te worden bevestigd. In plaats van één neurale netwerk (met 1 laag) wordt er dan gebruikgemaakt van meerdere gestapelde neurale netwerken (meerdere lagen) die middels algoritmes als het ware kunnen oefenen met Big Data om nog slimmer te worden. Na verloop van tijd gaan de netwerken zelf verbanden leren leggen tussen de ingevoerde voorbeelden en de output. Eenvoudig gezegd zou men kunnen stellen dat uit hoe meer lagen deze netwerken bestaan, hoe dieper het leren gaat.³¹¹

311. Om het menselijk brein te simuleren is veel rekenkracht nodig. Een geavanceerd AI-systeem verbruikt stroom en hoe complexer de AI en met name de gelaagdheid van de netwerken, hoe meer stroom en rekenkracht daarvoor benodigd zal zijn. Op dat terrein lopen we ondanks de toename van gespecialiseerde low power AI-processoren, langzaam tegen een eindpunt aan. Conventionele CPU's werken immers nog steeds door bits te manipuleren die bestaan in een van de twee toestanden: een 0 of een 1. Toch is er meer nodig om AI nog krachtiger en efficiënter te kunnen maken. Men verwacht meer rekenkracht te kunnen genereren door de toepassing van quantumcomputers welke niet beperkt zijn tot de twee toestanden; ze coderen informatie als quantumbits, of qubits waarmee een quantumcomputer in beginsel miljoenen malen krachtiger is dan een conventioneel systeem.

6. Maatschappelijke acceptatie

In de afgelopen hoofdstukken zagen we wat voor bijzondere ontwikkelingen er zich in het robotlandschap afspeelden en welke enorme mogelijkheden dit biedt. Aan het eind van hoofdstuk 5 liet zich echter ook een mogelijke schaduwzijde van al deze ontwikkelingen optekenen, namelijk het gevaar voor de mens dat daarbij ook om de hoek komt kijken. Technisch kan er dan wel van alles mogelijk zijn, maar wat betekent dit eigenlijk voor de maatschappij als zodanig? In dit hoofdstuk staat de maatschappelijke acceptatie van de robotisering van onze maatschappij volledig centraal. Daarbij zal aan de hand van voorbeelden uit de praktijk worden bekeken waar de maatschappelijke schoen wringt en welke lessen daaruit kunnen worden geleerd.

Om robottechnologie succesvol te implementeren in de maatschappij zou men kunnen aanhaken bij de uit de projectmanagementtheorie afkomstige formule: succes (effect) = kwaliteit x acceptatie ($E = K \times A$).³⁵⁵ Dit betekent dat voor een gewenste verandering de nieuwe robottechnologie aan bepaalde eisen moet voldoen én dat mensen ook bereid dienen te zijn het te gebruiken. Wanneer mensen immers onvoldoende het nut en de noodzaak van deze nieuwe toepassing zien en ook niet aan een verwachtingspatroon wordt voldaan, dan ontstaat er noch draagvlak, noch acceptatie. Verwachten mensen alleen dat robots hun leven beter maken, dan is het steeds wederkerende nieuws over het verdwijnen van banen door robotisering een teleurstellend resultaat waar velen niet op zitten te wachten. Daarbij speelt natuurlijk ook een rol vanuit wiens oogpunt dit wordt bekeken. Vanuit het perspectief van bijvoorbeeld een ondernemer wordt juist aan de verwachting voldaan. Hij haalt immers een innovatie in huis die hem in staat stelt om efficiënter te produceren, de winst te maximaliseren en zijn producten meer concurrerend in de markt te zetten. Toch is er sprake van een serieus maatschappelijk probleem wanneer een grote groep werknemers die door dezelfde ontwikkeling hun baan en zekerheid dreigen te gaan verliezen, geen uitzicht hebben op een alternatief in de betreffende bedrijfstak. Hiermee doel ik vooral op de categorie van banen zoals in de productiesector waar veel fysiek en voorspelbaar werk voorkomt

355. Maier, N.R.E., *Problem-solving discussions and conferences: leadership methods and skills*, New York: McGraw-Hill Book Company 1963; Maier, N.R.E., *Psychology in industrial organizations*, Boston: Houghton Mifflin Company 1973.

en welke volledig kunnen worden gerobotiseerd. Per saldo wegen landelijk gezien de voordelen op dat terrein in beginsel niet op tegen de nadelen.

Verandering en weerstand zijn echter onlosmakelijk met elkaar verbonden. Er zijn maar weinig veranderingen die zonder slag of stoot plaatsvinden, dat is nu eenmaal een vast gegeven. Dit komt deels ook voort uit een zekere angst voor het onbekende van nieuwe technologie en mogelijk het gevoel dat men op een gegeven moment deze technologie niet meer zal kunnen bijbenen. Dit lijkt misschien vreemd in de moderne digitale samenleving waarin we met z'n allen continu met elkaar in verbinding staan. Indien men echter bedenkt dat nog steeds meer dan de helft van de wereldbevolking niet online is en 13 procent van de Amerikanen bijvoorbeeld geen internet gebruikt, is zo'n elementaire basisvoorziening, laat staan nieuwe (robot)technologie, allesbehalve vanzelfsprekend te noemen.³⁵⁶

Toen in Engeland in de negentiende eeuw weefmachines hun intrede deden, leidde dit tot grote weerstand onder de bevolking. Men was bang dat de machines de maatschappij zouden veranderen en werknemers van de werkvloer zouden verdrijven. Een beweging werd opgericht om weefmachines te vernietigen. Het verzet tegen de machines leidde zelfs tot gewapende conflicten met het leger en eigenaren van katoenspinnerijen onder leiding van de verzetsbeweging Luddites.³⁵⁷ Dit ging zo ver dat het Britse parlement zich genoodzaakt zag legislatieve maatregelen te nemen. In 1812 werd daarom de Frame Breaking Act aangenomen die 'machine breaking' strafbaar stelde met de doodstraf.

In de jaren dertig van de vorige eeuw voltrok zich in de Verenigde Staten een vergelijkbaar scenario. Met de enorme industriële ontwikkeling in de jaren twintig kwam ook het beeld van de robotman tot leven. Dit beeld kreeg al snel een negatieve lading na de beurskrach van 1929 die grote werkloosheid met zich meebracht. De robot werd een synoniem voor onmenselijkheid, hetgeen nog eens werd versterkt door films als *Frankenstein* waarin een moordlustige monsterachtige robot zijn opwachting maakte. Diezelfde filmindustrie koos er ook voor om steeds meer films te maken met gesynchroniseerde muziek waardoor live muzikanten bij filmvoorstellingen langzaam overbodig werden. Dit leidde tot een stevig verzet vanuit de muziekwereld tegen robots. In 1930 werd door de American Federation of Musicians de Music Defense League opgericht om de strijd aan te gaan met de machines. Middels een half miljoen dollar kostende campagne werden in de landelijke media in zowel Amerika

356. Marcus, A. & Wong A., 'Internet for All: A Framework for Accelerating Internet Access and Adoption', World Economic Forum, 4 mei 2016.

357. Thomis, M.I., *The Luddites : Machine-Breaking in Regency England*, Newton Abbot: David & Charles 1975; Binfield, K., *Writings of the Luddites*, Baltimore: Johns Hopkins University Press 2015.

7. De robot in juridisch perspectief

Bij de bespreking van de mogelijkheden van AI en de maatschappelijke acceptatie van robots zagen we reeds enige voorbeelden van situaties waaraan juridische aspecten kleven, zoals de rijdende robots en het nemen van beslissingen door robots. Daarover is duidelijkheid gewenst. Regels kunnen niet alleen verhelderend werken, maar ook bijdragen aan het op een juiste manier borgen en implementeren van de robottechnologie, mits dit op technologievriendelijke wijze gebeurt. Met het creëren van meer rechtszekerheid zal ook de acceptatie verder toenemen. Anderzijds dienen regels er ook toe om mensen afdoende te beschermen tegen het oneigenlijk of foutief gebruik van robottechnologie. Belangrijk daarbij is tevens de vraag in hoeverre een autonome robot in het maatschappelijk verkeer verantwoordelijk is voor zijn eigen handelen en daden of dat dit altijd voor rekening komt van de maker of eigenaar, hetgeen de robot juridisch gezien tot een stuk bezit reduceert. Iets wat naarmate de robot een grotere mate van autonomie en intelligentie verwerft mogelijk steeds meer zal gaan knellen. Dit probleem zal in de toekomst nog ingewikkelder worden door de robotisering van de mens zelf. De vraag is dan in hoeverre men verantwoordelijk is voor de werking van de robottechnologie in eigen lichaam. Niettemin mag de vraag naar verantwoordelijkheid, en daarmee ook de situatie dat de robot zelf geen verantwoordelijkheid draagt, er niet aan in de weg staan dat makers er in de basis voor moeten zorgen dat de robot zich niet voor misbruik leent in die zin dat het zich tegen mensen keert. Asimov was de eerste die hiervoor regels formuleerde.

7.1 Voorbij de vier wetten van Asimov

Wet- en regelgeving voor robots is niet volkomen nieuw. Er is namelijk een groep robots die al sinds de jaren zeventig werkzaam is in de industriële sector. Uiteraard ging dit ook met enige regelgeving en richtlijnen gepaard wat betreft de technische veiligheid van deze vaste robots, zoals bijvoorbeeld de Machinerichtlijn in Europa en in de Verenigde Staten de RIA-standaard.⁴²⁵

425. Richtlijn 2006/42/EG van het Europees Parlement en de Raad van 17 mei 2006 betreffende de machines en tot wijziging van Richtlijn 95/16/EG; Besluit van 30 juni 1992 houdende regelen betreffende de veiligheid van machines (Warenwetbesluit Machines), *Stcrt.* 1993, 127; ANSI/RIA R15.06-2012 American National Standard for Industrial Robots and Robot Systems-Safety Requirements.

Het grote verschil met de oude robotiseringsgolf is dat autonome robots ook steeds meer gaan samenwerken met mensen op de werkvloer en een prominere rol krijgen in ons sociale leven. Ze opereren niet langer binnen de muren van de fabriek, maar vinden hun weg naar de straat, de huiskamer, de zee en het luchtruim. De robot is eigenlijk een nieuw lid van onze maatschappij wiens manier van participeren daarin rechtsgevolgen creëert. Hieraan kleven bijzonder veel lastige aspecten, zoals de enorme variatie aan robots en hun mate van intelligentie, die (grensoverschrijdend) geadresseerd moeten worden. Wetgeving die voor ons als mens helder is, maar onbegrijpelijk voor een robot zal geen lang leven beschoren zijn. Dit zou zelfs tot disruptie kunnen leiden, met het uiteindelijke besef dat ook het regelgevend kader als instrument een metamorfose moet ondergaan omdat het functioneren van de nieuwe maatschappij dit vereist. Reeds in 2006 identificeerde het European Robotics Research Network (EURON) vijf terreinen waarvoor regelgeving diende te worden ontwikkeld voordat zelfbewuste robots daadwerkelijk geproduceerd zouden worden. Deze terreinen beslaan: veiligheid, beveiliging, privacy, traceerbaarheid en identificeerbaarheid.⁴²⁶ Hiermee konden mensen ervoor zorgen dat ze de controle en het overzicht over hun creaties behielden en dat de door robots vergaarde data alleen kon worden gebruikt voor het beoogde doel. Men wilde dus een soort van wildgroei voorkomen. Vooralsnog is de aanzet tot het regelgevend kader voornamelijk gericht op zaken die mis kunnen gaan bij de inzet van een robot en daarmee ook kunstmatige intelligentie. We zitten eigenlijk nu in een fase waarin de algemene gedachte is van: *'We hebben jarenlang zonder enige beperkingen iets geweldigs bedacht en nu komt het resultaat daadwerkelijk ineens ons geordende leven binnen, wat nu?'*

Bij de bespreking van de geschiedenis van de robot kwamen we reeds de drie wetten van Asimov tegen die ook wel de drie wetten van Robotica worden genoemd. Deze door Asimov voorgestelde regels kwamen voort uit de angst dat robots zich ooit tegen de mens zouden kunnen keren en waren min of meer een antwoord op de heersende technofobie. De regels vonden later ingang bij de wetenschap en ontwikkelaars van robots en vormen een tastbaar vertrekpunt voor zowel de ontwikkeling als enige realistische beschermingsmaatregelen tegen de gevaren van robots. Sinds het begin van de eenentwintigste eeuw vormen de wetten van Asimov ook voor sommige overheden in landen zoals Japan en Zuid-Korea het uitgangspunt voor de regelgeving die de interactie tussen mensen en robots adresseert.⁴²⁷ Ook het Europees parlement heeft zich hiernaar gericht in haar voorstellen aan de Europese Commissie

426. Veruggio, G., 'The EURON Roboethics Roadmap', 6th IEEE-RAS International Conference on Humanoid Robots, Italy, IEEE 2006.

427. South Korean Robot Ethics Charter, 14 april 2007, http://www.roboethics.org/icra2007/contributions/slides/Shim_icra%2007_ppt.pdf.