

Visiestuk

# **Towards Digital Life: Een toekomstvisie op AI anno 2032**

De baanbrekende impact  
van veilig datadelen en  
morele AI

Peter Werkhoven  
September 2022

# World Economic Forum - de Vierde Industriële Revolutie

TNO heeft haar motto 'Innovation for life' waargemaakt door substantieel bij te dragen aan deze digitale revolutie met belangrijke doorbraken op het gebied van computersimulaties, netwerktransacties, draadloze communicatie, cyberveiligheid, optische satellietcommunicatie en quantum computing.

De digitale revolutie (ook wel de Derde Industriële Revolutie) heeft het werk en sociale leven van de mens ingrijpend veranderd – én heeft zich volledig in het 90-jarige leven van TNO voltrokken. De Amerikaanse wiskundige Claude Shannon (1916-2001) legde al in 1948 met zijn informatietheorie de basis voor digitalisering, waarbij elektronische informatie in discrete waarden wordt vastgelegd. Digitalisering heeft alles rond informatie gerevolutioneerd, omdat we het sindsdien zonder kwaliteitsverlies kunnen vastleggen, verwerken, kopiëren en via netwerken verspreiden. Met de uitvinding van de transistor kwamen ook de eerste digitale computers en digitale netwerken tot stand.

De impact hiervan op economie en samenleving kent geen precedent.

Op onze verjaardag bevinden we ons in wat het World Economic Forum de Vierde Industriële Revolutie heeft genoemd: de baanbrekende impact van veilig datadelen en morele AI. De impact daarvan gaat verder dan enkel een verandering in hoe wij werken en leven. Het zal veranderen wie wij zijn. Artificial Intelligence oftewel AI vormt daarin een sleuteltechnologie die daarom meer behelst dan een industriële Revolutie. Het is een systeemtransitie waarin computerintelligentie evolueert van ondersteunend aan de mens, naar een (autonome) partner van de mens.

Evolutionair gezien hebben de sensoriek, motoriek en de sociale communicatie van de mens zich tot indrukwekkende niveaus ontwikkeld. Cognitie zit evolutionair echter nog in de 'embryonale' fase en wordt gekenmerkt door een relatief lage snelheid van bewuste informatieverwerking, door het vele 'vergeten' en door vele vooroordelen ('biases'). [Ten opzichte van machines zouden we trotser moeten zijn op het kunnen strikken van schoenveters dan op ons denkvermogen.](#) Grote denkers als Leibniz, Von Neumann, Turing en Minsky kwamen daarom tot de conclusie dat de mens wel geholpen kan zijn met aanvullende kunstmatige intelligentie.

## Komend decennium integreren lerende en redenerende algoritmes tot ‘hybrid AI’ die sociale communicatie en moreel gedrag mogelijk maakt.

De huidige AI-technologie is in feite een van onze hersenen afgekeken ‘neuraal’ netwerk dat leert patronen te herkennen (van gezichten tot crimineel gedrag) en wel ‘zelflerend’ op basis van enorme hoeveelheden voorbeelden. AI kan zo inmiddels vaak beter dan de mens verbanden en patronen zien in de gegevens die we aanreiken en daar de beste actie aan verbinden. Zo kan AI bijvoorbeeld heel goed cyberaanvallen herkennen met de beste bescherming, ziektebeelden met de beste behandeling, persoonlijke aankoopwensen met het beste aanbod, spelpatronen van een Go-kampioen met de beste tegenzet, maar ook nieuwe antibiotica ontdekken. Deze vorm van kunstmatige cognitie heeft een enorm potentieel, maar AI kan (nog) niet redeneren. Zij kan haar keuze dus niet uitleggen, waardoor deze niet controleerbaar is en geen verantwoording kan worden afgelegd. Tevens zijn voor het leren van AI nog ‘big data’ nodig die veelal in verschillende databases zitten die door privacywetgeving – en soms door de businessmodellen van data-eigenaren zelf – nog niet goed kunnen worden gecombineerd.

Komend decennium integreren lerende en

redenerende algoritmes tot ‘hybrid AI’ die sociale communicatie en moreel gedrag mogelijk maakt. Slimme architecturen van algoritmes die uit big data patronen leren (blind voor het ‘waarom’) en algoritmes die met symbolen redeneren over oorzaak-gevolg. Hybride AI is een randvoorwaarde voor maatschappelijk verantwoorde AI-gedreven innovatie. Redenerend vermogen is essentieel om de keuzes van AI uit te leggen en ethische afwegingen te kunnen maken. Redeneervermogen is ook essentieel voor sociale communicatie en synergetische samenwerking in teams van AI en mens. Met recent ontwikkelde veilige data-deeltechnieken kan AI gaan leren van big data met behoud van privacy.

Deze sociaal vaardige, ethische en controleerbare vorm van hybride kunstmatige intelligentie maakt verantwoorde toepassingen mogelijk in vele sectoren. Met name daar waar kunstmatige intelligentie loskomt van een vaste ‘werkplek’ en zich als robots en avatars meer autonoom door onze fysieke en digitale wereld gaan bewegen. Robots die ons vervoeren, verzorgen, verdedigen, vermaken of

(gezelschaps)partners zullen zijn. De menselijke samenleving staat dan voor het eerst in haar evolutie voor de vraag hoe zij zich moet verhouden tot deze door haarzelf gecreëerde nieuwe intelligentievormen. Daarbij balanceren we tussen angst en verlangen. Aan de ene kant het verlangen naar wat AI voor ons kan gaan betekenen voor het verbeteren van verkeer, vervoer, gezondheidszorg, veiligheid en de verduurzaming van industrie en energiesysteem. Maar ook de angst dat AI onze samenleving en democratie zal ontwrichten als AI onverantwoordelijk wordt toegepast.

We staan daarmee dus ook voor grote juridische, ethische en sociale vraagstukken. Hoe houden we ‘betekenisvolle controle’ op de doelstellingen van AI en het ethisch verantwoord bereiken hiervan? Hoe komen we als samenleving tot een legitieme ethiek voor dergelijke intelligente systemen? Hoe maken we die begrijpelijk voor machines? Wat is de rol hierin van producent, gebruiker en overheid? Betekenisvolle controle van AI door de mens blijft het uitgangspunt, waarbij de mens het oordeelsvermogen behoudt bij de rechtmatige inzet ervan. In veel situaties

kan dat door de mens ‘in the loop’ te houden. Voor essentiële hoog-risico toepassingen van AI, waar menselijke cognitie door tijdsdruk ontoereikend is of interactie tussen mens en AI beperkt is, wordt een ‘human before the loop’-controle ontwikkeld. [Bij ‘human before the loop’-controle geeft de mens de machine van tevoren een toereikende legitieme morele code mee.](#)

TNO voorziet dat AI in de komende tien jaar ‘groot’ zal worden. Groot in de betekenis van maatschappelijke en economische impact, maar ook groot in de betekenis van het ‘volwassen’ worden wat betreft verantwoordelijk en moreel gedrag. Daarmee zal AI uitgroeien tot een ‘trusted partner’ van de mens.

AI zal ook onderzoek en innovatie zelf innoveren. Voor minimaal het komende decennium, zal AI ‘gehoorzaam’ zijn aan opgelegde doelen en werkwijzes. Daarmee kan AI met name de analyse- en validatie-fases in onderzoek en innovatie sterk mee gaan versnellen en ons nieuwe implicaties van bestaande kennis leveren. Dit zou je ook wel de ‘transpiratiefase’ in onderzoek en innovatie kunnen noemen.

Daarmee verschuift de rol van de onderzoeker naar de ‘inspiratiefase’, de creatieve fase gericht op het stellen van de juiste vragen, het komen tot geheel nieuwe verklarende modellen.

Daarmee verschuift de rol van de onderzoeker naar de ‘inspiratiefase’, de creatieve fase gericht op het stellen van de juiste vragen, het komen tot geheel nieuwe verklarende modellen, het initiëren van geheel andere methoden. Ofwel, het afwijken van de ‘bestaande regels’. **Juist daarin onderscheidt de mens zich fundamenteel van AI, de vrijheid om ‘on gehoorzaam’ te zijn.**

Tegelijk zal zich wereldwijd ook vijandige AI ontwikkelen. Zoals innovatieve nano-, bio- en informatietechnologie bedoeld om de samenleving te dienen ook oncontroleerbaar misbruikt kan worden als wapen tegen de mens. In analogie met de wapenwedloop bestaat de bescherming tegen vijandige AI uit adequate eigen AI. De prijs van veiligheid in Nederland is voortdurend creativiteit en innovatie in AI.



# De opvoeding van AI

## AI en de menselijke evolutie

Bij de mens zijn in de loop van de tijd motoriek, waarnemingsvermogen en besluitvorming tot indrukwekkende niveaus geëvolueerd. Daarbij worden we in deze processen ondersteund door allerlei hulpmiddelen: bijl en wiel staan in het verlengde van onze motoriek, de microscoop en telescoop borduren voort op onze zintuiglijke waarneming – en de abacus, computer en AI verbeteren onze besluitvorming en ons handelen in een wereld waarin informatie een steeds grotere rol is gaan spelen.

Onze hersenen hebben zich in de eerste plaats gevormd voor een uitzonderlijk snelle

verwerking van zintuiglijke informatie en de aansturing van onze complexe motoriek. Je zou kunnen zeggen dat menselijke cognitie, evolutionair gezien, nog in ‘embryonale’ fase zit. We hebben overleefd door snel en op de korte termijn te denken, maar niet zozeer logisch en voor de lange termijn. Het bewust verwerken van informatie door het menselijk brein verloopt dan ook niet sneller dan 60 bits per seconde (del Prado Martin, 2009). Daarnaast heeft de mens bij het verwerken van informatie de beschikking over slechts een beperkte mate van aandacht én laat ons geheugen ons regelmatig in de steek.

Ons denken vertoont meer dan 200 experimenteel aangetoonde ‘biases’

(Korteling 2021). Sommige biases zijn inherent aan onze neurale eigenschappen, zoals bijgeloof in niet-causaliteiten, framing (niet kunnen vergeten) of het oordelen op basis van wat op dat moment waarneembaar is. Andere biases zijn ontstaan als evolutionair voordeel bij het (over)leven in groepsverband, zoals het bevoordelen van de eigen groep, het napraten van anderen en onze voorkeur voor actie terwijl die rationeel misschien niet nodig is. Al deze biases hebben een negatieve impact op onze cognitieve vaardigheden en zijn niet of nauwelijks af te leren.

Het is dus niet gek om te stellen dat de mens

## Onze samenleving staat daarmee voor de unieke uitdaging AI-systemen duidelijk te maken welke doelen we als mens willen nastreven, en op basis van welke ethische waarden.

geholpen kan zijn met aanvullende kunstmatige intelligentie, mits die intelligentie minder feilbaar is dan die van de mens. In 1951 zei Alan Turing: 'It seems probable that once the machine thinking method had started, it would not take long to outstrip our feeble powers', waarbij 'not long' een rekbaar begrip is gebleken.

### AI in onze samenleving

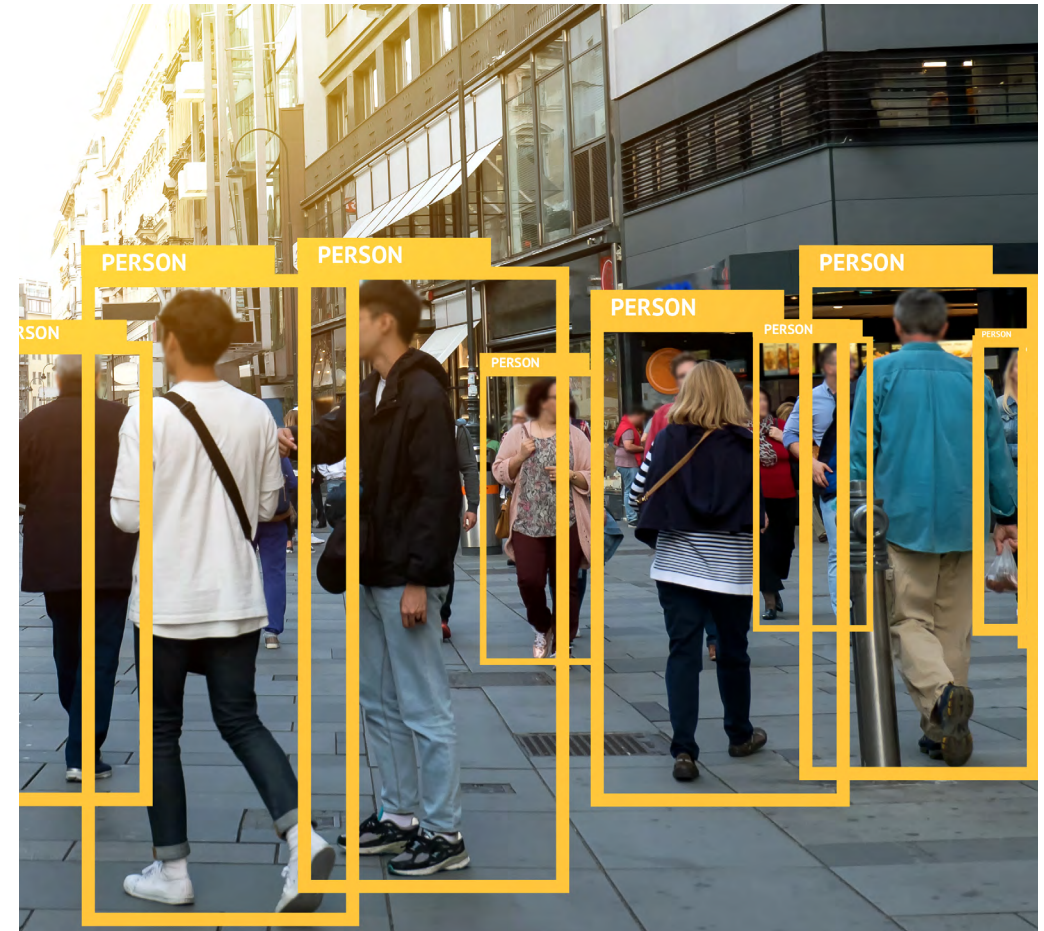
De mens is in staat gebleken om kunstmatig intelligente, data-gedreven machines te creëren die complexe verbanden kunnen leggen in grote hoeveelheden data en die kunnen worden ingezet bij allerlei besluitvormingsprocessen. Voor de samenleving biedt dit zowel kansen als bedreigingen. AI kan mogelijk problemen oplossen van een complexiteit die mensen niet aankunnen. Maar wanneer AI andere doelen nastreeft dan de samenleving wenselijk vindt of die doelen op immorele wijze nastreeft, ontstaat er een bedreiging. Alleen met 'verantwoordelijke' AI worden belangrijke toepassingen maatschappelijk aanvaardbaar en mogelijk.

Onze samenleving staat daarmee voor de unieke uitdaging AI-systemen duidelijk te

maken welke doelen we als mens willen nastreven, op basis van welke ethische waarden daarbij door AI keuzes moeten worden gemaakt en welke rol hierbij is weggelegd voor AI-systemen. Kunstmatig intelligente systemen zullen altijd ten dienste van en in interactie met de samenleving functioneren. AI zal daarom moeten worden opgevoed tot het leren kennen van menselijke doelen en waarden, tot sociale vaardigheden en samenwerking met mensen, tot het bieden van uitleg en verantwoording in voor de mens natuurlijke communicatievormen, zoals taal. Pas dan vormen AI en mens een 'symbiotisch' partnerschap, waarin zij van elkaar kunnen leren en zich verder kunnen ontwikkelen. Daarbij moet voorkomen worden dat niet-inclusieve toegang tot AI tot een tweedeling in de maatschappij zal leiden.

### Hybride AI en leren uit weinig data

De huidige AI-technologie (zoals deep learning) is krachtig in het zien van verbanden op basis van heel veel – liefst door de mens voorgesorteerde – gegevens (big data). Maar AI is nog niet in staat tot daadwerkelijk begrip (zoals het onderscheiden van oorzaak en gevolg) en



## Momenteel mist AI een geheugenfunctie die als basis kan dienen voor het leren in mens-AI teamverband.



kan gemaakte analyses lang niet altijd op een communicatieve en heldere manier uitleggen of verantwoorden. Bovendien is de beschikbaarheid van veel voorbeelddata niet altijd gegarandeerd. Om hierin volwassen te worden is aanvullend redeneervermogen nodig (hybride AI). Maar ook het vermogen om – net als de mens – te kunnen leren op basis van een beperkte hoeveelheid data (small data) met een dieper begrip van de semantische structuur van die data. **Alleen met hybride AI kunnen uiteindelijke menselijke doelen en waarden door AI begrepen worden en in samenwerking met de mens gerealiseerd.** Het ontwikkelen van hybride AI met dieper begrip van data zal ook leiden tot veiligere vormen van AI: kunstmatige intelligentie die minder vatbaar is voor manipulatie door kwaadwillenden.

### **Uitleg en vertrouwen**

Eenzijds wil de mens graag dat AI verworven kennis en gemaakte analyses kan uitleggen, anderzijds willen we AI benutten om tot oplossingen te komen die wellicht niet meer door de mens begrepen kunnen worden (overigens door AI zelf ook niet).

Uit de data die de mens aanlevert bouwen

AI-modellen interne abstracties die door ons vaak niet begrijpelijk zijn. Zoals wij gezichten beschrijven in ogen, neuzen, monden en oren bouwt AI abstracte patronen van het gezicht op die beter onderscheid maken, maar voor een mens geen betekenis hebben. In de relatie tussen de mens en AI zal in de komende jaren per toepassingsdomein een balans ontstaan tussen de gewenste mate van uitlegbaarheid en de kwaliteit van de door AI geproduceerde oplossingen. Zoals de patiënt de medisch specialist vertrouwt op het effect van beperkt uitlegbare complexe medische behandelingen. Daarbij ontstaat ook ruimte voor nieuwe vormen van uitlegbaarheid in samenwerking en communicatie, niet noodzakelijk gericht op de werking van AI zelf. Vormen van uitleg die contextafhankelijk zijn en variëren van het overbrengen van kennis naar de mens tot het creëren van vertrouwen in aantoonbaar goede oplossingen. Uitleg die zich beperkt tot voor de mens begrijpelijke termen ('U komt in aanmerking voor dit medicijn, omdat u voldoet aan het volgende medische profiel') en contrast ('Als u meer dan 3000 euro zou verdienen zou u deze uitkering niet kunnen krijgen').

### **Samenwerking en communicatie**

Zoals gezegd is leven en werken in groepen een evolutionair belangrijke factor in het overlevingsvermogen van de mens. Sociale vaardigheden zijn daarom van essentieel belang in ons volwassenwordingsproces. Dat geldt eigenlijk ook voor samenwerking tussen AI en mensen in teams. **In de komende jaren zal AI verder 'volwassen' worden in sociale vaardigheden, zoals het delen van doelen, feedback geven, uitleg geven en het in natuurlijke taal communiceren met de mens.** Momenteel mist AI een geheugenfunctie die als basis kan dienen voor het leren in mens-AI teamverband. Huidig onderzoek richt zich – geïnspireerd door onze eigen cognitieve functies – op de ontwikkeling van een semantisch en episodisch geheugen dat respectievelijk betekenisvolle relaties tussen entiteiten kan afleiden en corresponderende betekenisvolle patronen in de tijd kan identificeren. Op basis hiervan kunnen mens en AI ervaringen delen en wederzijds feedback leveren voor het leren op teamniveau.

## Het gevoelig maken van communicatieve AI-systemen voor individuele karakteristieken en context van de mens zal substantieel bijdragen aan inclusiviteit.

De implementatie van een dergelijke geheugenfunctie gaat toepassingen mogelijk maken waarin mens en AI elkaar fysiek en intellectueel aanvullen, met een performance die hoger ligt dan de som der delen. Te onderscheiden niveaus in mens-AI-samenwerking zijn:

- **Wederzijdse interactie:** Het accuraat analyseren van menselijke feedback tijdens mens-AI-communicatie en andere vormen van samenwerking
- **Wederzijdse uitleg:** Het adaptief en inclusief communiceren en samenwerken met de mens geconditioneerd op de menselijke feedback en gebruikmakend van de nieuwe dynamische vormen van geheugen voor het leren in samenwerking met menselijke teams
- **Symbiose:** De evolutie tot een volwaardige, adaptieve, communicatieve en betrouwbare samenwerkingspartner voor de mens

Hiervan zullen **interactie** en ten dele **uitleg** in 2030 bereikt worden en toepassingen mogelijk maken waarin mensen en robots samenwerken, zoals in de zorg en in veiligheidsoperaties.

Voor het realiseren van de communicatieve functies van AI beschikken we sinds enige tijd over zeer krachtige AI-gebaseerde taalmodellen voor het genereren van menselijk aandoende taal en spraak. Maar deze modellen zijn nog niet geconditioneerd op eigenschappen van de menselijke gesprekspartner. Ze hebben namelijk geen helder beeld van die mens: welke kennis, waarden en doelen heeft deze mens, wat is zijn (of haar) kennisbehoefte en is hij of zij wel tevreden met de aangeboden informatie? Het gevoelig maken van communicatieve AI-systemen voor individuele karakteristieken en context van de mens zal substantieel bijdragen aan inclusiviteit: het communicatief en begrijpelijk beschikbaar maken van relevante informatie voor mensen met wisselende eigenschappen en achtergronden.

### **Moraal**

Een functionerende samenleving wordt in belangrijke mate gevormd door het geheel van gedragingen die, in een maatschappelijke context, als wenselijk en correct worden gezien (moraal). Voor het





## Schaakwedstrijden worden vaker gewonnen door mens-computercombinaties dan door alleen mens of alleen computer.



accepteren van AI in onze samenleving is het dan ook van groot belang om AI op te voeden tot moreel gedrag. Maar moraliteit verschilt per cultuur, per persoon en zelfs door de tijd heen. De uitdaging voor onze samenleving is daarom enerzijds om onze ethische uitgangspunten en waarden legitiem te specificeren voor AI (voor zover mogelijk). Anderzijds moet AI (technisch) keuzes kunnen maken met inachtneming van die ethische waarden en dus ethisch kunnen redeneren. Ook dit zal deel moeten gaan uitmaken van de hybride AI die de komende jaren wordt ontwikkeld. Hiermee komen toepassingen binnen bereik waarin mensen en AI samenwerken in teams, zoals in arts-AI-teams in de medische sector en mens-robot-teams in industriële productie of veiligheidsoperaties. Dat mens-AI-samenwerking effectief kan zijn blijkt uit dat schaakwedstrijden vaker gewonnen worden door mens-computercombinaties dan door alleen mens of alleen computer.

### **Autonome AI**

We hebben hierboven diverse vormen van interactie tussen mens en AI beschreven, waarbij mens en AI in dezelfde loop verkeerden. Dat houdt in dat op elk moment

doelen en omgevingsinformatie gedeeld zijn en beide de taak van de ander over zou kunnen nemen. In bepaalde condities zijn interacties tussen AI en de mens echter onpraktisch of zelfs onwenselijk. Bijvoorbeeld wanneer er te weinig tijd is voor een mens om de situatie te begrijpen en controleren, zoals bij een conflictsituatie met een zelfrijdend voertuig of bij een snelle cyberaanval. Of wanneer communicatie tussen mens en AI beperkt of zelfs onmogelijk is, zoals bij reddingsoperaties door robots in gebouwen of onder water. Zulke taken kunnen met AI op maximaal verantwoorde wijze worden uitgevoerd wanneer de rol van de mens verschuift van 'in de loop' naar 'voor de loop' en 'achter de loop'.

Hierbij is het idee dat we AI vooraf opvoeden en achteraf uitleg en verantwoording laten afleggen. AI moet dan in staat zijn om een doel te bereiken op basis van een legitiem moreel model waarmee keuzes langs morele waarden geoptimaliseerd kunnen worden.

## Het idee is dat we AI vooraf opvoeden en achteraf uitleg en verantwoording laten afleggen.

In een sterk vereenvoudigde weergave zou een zelfrijdende auto een moreel model hebben waarbij bijvoorbeeld niet alleen 'reistijd', maar ook 'schade aan mens en omgeving' en 'emissie' meegenomen worden in het bepalen van richting en snelheid. Naast deze factoren worden ook aspecten als intentie en kwetsbaarheid meegewogen. In de implementatie van een moreel model spelen wetgever, uitvoerende macht, AI-producenten en de AI zelf onderscheidende rollen.

Het morele model (wetten en ethische waarden) worden door de wetgevende macht bepaald. De uitvoerende macht bepaalt de operationele doelen. En het autonome AI-systeem optimaliseert op basis van het morele model het nastreven van de gegeven doelen en geeft daarover tekst en uitleg aan de uitvoerende en rechterlijke macht. De rol van de AI-producent is beperkt tot het technisch mogelijk maken van het werken met morele modellen, maar dus niet het bepalen van de ethische waarden. Op een ander niveau spelen dergelijke morele modellen ook een belangrijke rol: in de interactieve communicatie en samenwerking zal AI zich aan bepaalde

ethische en juridische normen en waarden dienen te houden, bijvoorbeeld rond omgangsvormen en de kwaliteit en volledigheid van informatievoorziening.

Hiermee worden, in toevoeging op de eerder beschreven interactieve toepassingen, meer autonome toepassingen van AI mogelijk waarin de mens zowel voor als achter de loop zit, maar niet altijd in de loop. Zo kan AI ons uiteindelijk zelfstandig en verantwoord van A naar B rijden of ons helpen een cyberaanval af te slaan.



## “Je creëert, wat je niet moet willen, tweederangs burgers.”

Arnon Grunberg

Michiel van der Meulen, Chief Geologist bij de Geologische Dienst Nederland, gaat in gesprek met **Eppo Bruins**. Bruins is kernfysicus van oorsprong en werkte jarenlang in de wereld van wetenschap, innovatie en technologie. Tussen 2015 en 2021 was hij Tweede kamerlid namens de ChristenUnie. Sinds kort is hij voorzitter van de Adviesraad voor wetenschap, technologie en innovatie. Wat gaat AI in de komende jaren betekenen voor de verschillende overheidsdomeinen?

▶ [Bekijk het hele gesprek](#)



Peter Werkhoven, Chief Scientific Officer bij TNO, gaat in gesprek met **Arnon Grunberg** vanuit zijn standplaats New York. In 1994 brak Grunberg door met zijn roman Blauwe Maandagen. Sindsdien is hij uitgegroeid tot één van Nederlands bekendste auteurs. Jaren geleden spraken de twee elkaar tijdens een etentje over AI. Vandaag krijgen ze eindelijk de kans om dat gesprek voort te zetten. Wat is Grunbergs kijk op creativiteit? Kan dit worden geleerd aan een machine? En hoe verhoudt de mens zich moreel tot de machine?

▶ [Bekijk het hele gesprek](#)



# Innovatie met AI: Ontwikkelingen in de komende tien jaar

Met het volwassen worden van AI en het veilig kunnen (en willen) delen van data zal de impact op economie en samenleving groter worden. AI gaat een belangrijke motor vormen achter innovaties binnen bijvoorbeeld industriële productie, transport en logistiek, zorg, veiligheid en publieke dienstverlening. Over sectoren heen zal AI de transitie versnellen naar circulaire materialen en duurzame energie. Volgens een analyse van PWC (Sizing the prize, 2017) zal ten gevolge van de adoptie van AI het BNP in 2030 wereldwijd met 14% zijn toegenomen (10% voor Europa, 15% Noord-Amerika, 26% China). De Nederlandse AI Coalitie geeft voor Nederland een mogelijke groei van 1.2% per

jaar. De grote kracht van huidige AI-systemen is het vinden van patronen in grote hoeveelheden data en het voorspellen van welke acties het meest effect hebben. Met sectorbrede toepassingen, zoals het bepalen van een bij een profiel passende actie (bijvoorbeeld beveiliging, verzekeringen, retail), het bepalen van een bij een diagnose passende behandeling (zorg) of het bepalen van een bij een situatie passende route (logistiek, gaming). Deze categorie van toepassingen is in feite **ondersteunende besluitvorming**, waarbij de mens 'in the loop' (volledige controle) of 'on the loop' zit (superviserend).

Er zijn ook toepassingen van AI waarbij

interacties tussen mens en AI niet tijdig mogelijk zijn vanwege tijdsdruk (bijvoorbeeld noodzakelijk snelle keuzes van autonome voertuigen in verkeersconflicten), cognitieve beperkingen van de mens (bijvoorbeeld verdediging tegen grootschalige cyberaanvallen) of vanwege de onveiligheid van menselijke aanwezigheid (zoals bij reddingsoperaties of inspecties door robots in gevaarlijke of ongezonde omgevingen). Zulke taken kunnen met AI op maximaal verantwoorde wijze worden uitgevoerd wanneer de rol van de mens verschuift van in/on the loop naar voor en/of achter de loop. Wij noemen deze categorie **autonome besluitvorming**.

# AI is essentieel in de ontwikkeling van personeelsarm en veilig transport, in het realiseren van ‘mobility-as-a-service’ en in beleidsvorming.

Vanuit de brede TNO-ervaring met AI-toepassingen in diverse sectoren zien we het komend decennium toepassingen van AI in de volgende sectoren.

## **Digitale samenleving**

Ondersteunende en autonome AI zal een belangrijke rol gaan spelen in de doorontwikkeling van het internet tot een netwerk van 3D-virtuele werelden voor onze zakelijke, educatieve en sociale interacties (Social XR). De metaverse-ontwikkeling is hier een voorbeeld van. Interacties in de 3D-digitale werelden zullen vergaand door AI beïnvloed worden, omdat de verschijningsvorm en taal van mensen in die werelden door AI waar wenselijk aangepast kunnen worden. Ook kan geheel autonome AI zich als avatar kan gaan manifesteren en interacties met mensen in de virtuele werelden aangaan. Hierdoor zal het reizen om tot fysieke interacties te komen en de daarmee gepaard gaande belasting van het milieu verder afnemen.

## **Mobiliteit en logistiek**

AI is essentieel in de ontwikkeling van personeelsarm en veilig transport (autonome voertuigen), in het realiseren van

‘mobility-as-a-service’ (gepersonaliseerd matchen van mobiliteitsvraag en -aanbod) en in beleidsvorming (bijvoorbeeld het voorspellen van de effecten van nieuwe mobiliteitsvormen).

**Autonome voertuigen:** In de komende tien jaar worden grote stappen gezet in het gebruik van autonome systemen in het mobiliteitsdomein. Op dit moment wordt al uitgebreid getest met zelfrijdende auto’s, waarin mensen enkel als passagiers meerijsen (in plaats van ook bestuurder te zijn). Deze technologie wordt echter nog niet massaal ingezet. Door verschillende AI-innovaties, bijvoorbeeld wat betreft het betrouwbaar inschatten van het verkeersbeeld, gaat dit in de komende jaren drastisch veranderen. In eerste instantie nog op trajecten die redelijk **voorspelbaar** zijn, zoals snelwegen en provinciale wegen buiten de bebouwde kom. Naast personenauto’s wordt ook een grotere inzet van autonome vrachtauto’s voorzien, waardoor het vervoer van goederen efficiënter en met minder emissie zal plaatsvinden. Pas na de hiervoor beschreven ontwikkeling van hybride AI en ‘human before the loop’-methoden (machine-implementeerbare

morele modellen), kunnen zelfrijdende auto’s ook in onvoorspelbaarder verkeerssituaties worden ingezet.

**Mobility-as-a-Service (MaaS):** Via MaaS worden diverse vervoersopties gecombineerd tot één service. Via bijvoorbeeld één app kunnen reizigers zich volgens hun eigen voorkeuren van A naar B verplaatsen. Daarbij kunnen zij gebruikmaken van een breed spectrum aan opties, zoals het openbaar vervoer, fietsen, deelauto’s en nieuwe vervoersconcepten op één multimodaal platform waarop alle aanbieders verenigd zijn. Dat zou leiden tot meer efficiëntie en betrouwbaarheid wat betreft vervoer, meer gebruiksgemak en uiteindelijk – dankzij de verminderde inzet van persoonlijk vervoer (autobezit) – het terugdringen van uitstoot en het aantal parkeerplaatsen in Nederland. Data en AI spelen hierin een belangrijke rol: zo worden de verschillende vervoersmiddelen op elkaar afgestemd en vormen de gebruikersgegevens (waar en wanneer worden welke middelen gekozen?) aanleiding tot aanpassingen in ‘urban planning’ en beleid. Toch zijn er de komende tien jaar ook belangrijke hordes te overwinnen, want wie wordt ‘eigenaar’ van

deze data en het MaaS-platform zelf? Zonder overheidsingrijpen bestaat er een grote kans dat Amerikaanse of Chinese bedrijven – met elk hun eigen politieke en commerciële belangen – de Europese markt overnemen. Overheidsingrijpen zal zich ook richten op het opstellen van Europese waarden voor AI-toepassingen, waar ook niet-Europese AI aan moeten voldoen.

**Beleidsvorming:** AI kan worden ingezet om de effecten van nieuwe mobiliteitsvormen voor verschillende situaties te voorspellen. Denk hierbij aan verplaatsing binnen de stad of op het platteland, grote of kleine afstanden, met of zonder aanwezigheid van kinderen. Een voorbeeld van een nieuwe mobiliteitsvorm is de introductie van de deelscooter. Deze levert duidelijk een nieuwe mogelijkheid van verplaatsen, maar genereert ook overlast door scooters die op de stoep achtergelaten worden. Met AI-gedreven simulaties (inclusief gedragsvoorspelling) kan meer inzicht verkregen worden in de positieve en negatieve effecten van verschillende verplaatstingsmogelijkheden. Hiermee kan de overheid beter beleid voeren, bijvoorbeeld door de infrastructuur aan te

## AI wordt ingezet om de economie meer circulair te maken, zoals voor de slimme afvalverwerking en recycling van beton en plastic.

passen, mensen te stimuleren om voor duurzamere opties te kiezen en bepaalde vervoersopties toe te laten of juist te verbieden. [AI-gedreven simulaties leiden tot een betere en duurzamere leefomgeving.](#)

### **Bouw en infrastructuur**

AI zal steeds meer worden ingezet bij het ontwerpen, bouwen, beheren en onderhouden van bouwwerken en civiele infrastructuur. Gedurende de levenscyclus van een object wordt gewerkt met 'digital twins': virtuele modellen met actuele informatie over de eigenschappen, condities en prestaties van bouwwerken of infrastructuur. Met behulp van AI en digital twins kunnen de kwaliteit, constructieve veiligheid en energiezuinigheid van bouwwerken al getoetst worden voordat deze daadwerkelijk gebouwd zijn. Tevens kan het beheer van de bouwwerken alsook energievraag en -aanbod met digital twins en AI worden geoptimaliseerd door deze op de gebruikersbehoeften af te stemmen en het gebruikersgedrag te beïnvloeden. Bij onderhoud en renovatie van civiele infrastructuur – zoals bruggen – zullen AI en digital twins steeds meer worden ingezet om voorspellingen te doen over de omvang

en timing van de werkzaamheden, waarmee de risico's van te vroeg en te laat onderhouden en renoveren worden geminimaliseerd. Voor de burger betekent dit een reductie van files en hinder door werkzaamheden aan wegen, bruggen of tunnels.

### **Duurzame maatschappij**

**Energietransitie:** AI draagt bij aan huidige en toekomstige innovaties in duurzaamheid en de circulaire economie. De huidige slimme meters in huishoudens worden doorontwikkeld om het energieverbruik bij mensen thuis in kaart te brengen en verbeteringsuggesties te doen. Deze energiemanagementsystemen worden komend decennium uitgebreid met slimme batterijen voor de optimale opslag van energie en ontlasting van het energienet. Met de invoering van een 'smart energy grid' kunnen aanbod, conversie en opslag daarnaast optimaal worden gematcht aan behoefte.

**Circulaire materialen:** AI wordt ingezet om de economie meer circulair te maken, zoals voor de slimme afvalverwerking en recycling van beton en plastic. AI zal ook een belangrijke



## Veilige datadeeltechnieken maken het mogelijk dit met behoud van privacy en binnen de wet te doen.



rol spelen in de industriële transitie naar circulaire en emissievrije productie door het volgen van schaarse of vervuulende materialen door de levenscyclus van een product en door ketens heen.

### **Gezondheid**

**Ontwikkeling van vaccines en medicijnen:** AI wordt toepast voor grote, tijdrovende taken zoals slimmer en sneller zoeken in grote datasets. Dit is bijvoorbeeld al ingezet voor ‘genome sequencing’ van het COVID-19-virus<sup>1</sup>, een techniek waarmee de precieze DNA-structuur van het virus wordt ontleed om er een effectief vaccin tegen te maken. Dit proces duurde een paar jaar geleden nog weken tot zelfs maanden, nu met AI niet meer dan een aantal dagen. Zo konden snel vaccins worden ontwikkeld die bescherming bieden tegen varianten van het virus. Ook medicijnontwikkeling kan veel sneller en specifieker worden door het gebruik van AI. Een algoritme kan bijvoorbeeld helpen om het molecuul zo te ontwikkelen dat het medicijn zich aan specifieke locaties in het lichaam bindt en dus op precies de juiste plek terechtkomt. Daarnaast zou AI kunnen helpen om de effecten van polyfarmacie (het gebruik van

verschillende medicijnen tegelijkertijd) te voorspellen, deze zijn namelijk nog altijd lastig te meten in klinische studies.

**Preventie:** In de gezondheidssector moet en kan een verschuiving plaatsvinden van zorg naar preventie, met name als het gaat om leefstijlgerelateerde ziektes. Hierbij is het essentieel om gedragsinterventies af te stemmen op individuele leefstijlen. AI is een krachtige techniek om deze ‘personalised assessment’ te doen op combinaties van individuele medische data (erfelijkheid, microbiom, immuunsysteem) en leefstijlgerelateerde data (idealiter data over de totale blootstelling door voeding, inademing, mentale en fysieke belasting, ofwel exposoom). Veilige datadeeltechnieken maken het mogelijk dit met behoud van privacy en binnen de wet te doen. Zo kunnen vroege signalen voor ongunstige ontwikkelingen gebruikt worden om artsen en/of digitale coaches te ondersteunen bij hun begeleiding gericht op behoud van gezondheid.

**Personalised medicine:** AI gaat helpen de complexe kennis van interacties tussen symptomen en behandelingen samen te

brenge om zo de meest effectieve behandeling te vinden. In tien jaar tijd zou de grote pillendoos waarbij het ene middel wordt gebruikt om de bijwerkingen van andere middelen te onderdrukken verleden tijd moeten zijn.

**Zorgproces:** Voor zorg is sociale interactie cruciaal. Er is een grote vergrijzing in Nederland gaande waardoor er meer patiënten en minder zorgverleners zijn. Er is al bewezen dat arbeidsintensieve werkzaamheden die repetitief, nauwkeurig of fysiek zwaar zijn goed zouden kunnen worden overgenomen door AI, zoals in de chirurgie. Hierdoor kunnen zorgverleners meer ruimte creëren voor sociale interactie en de zorg als geheel verbeteren. Ook aan de sociale kant zouden zorgverleners kunnen worden ondersteund door AI, door bijvoorbeeld vaker interactie aan te gaan via zorgrobots of te voorspellen welke manier van interacteren het beste werkt op een bepaald moment. Zorgbots gaan de mens helpen rapporteren over geleverde zorg, door gesprekken tussen de zorgverlener en patiënt automatisch op te slaan in het medisch dossier en meteen machine-leesbaar te maken.

## De toepassing van AI bij Defensie zal helpen om het werk meer ‘arbeidsextensief’ te maken, waarmee wordt geanticipeerd op de gevolgen van de krimpende arbeidsmarkt.

**Vertrouwen:** bij het gebruik en hergebruik van gezondheidsdata is vertrouwen ongelooflijk belangrijk. Door decentralisatie te omarmen en gebruik te maken van analysemethoden die de data bij de bron houden, kunnen data worden verbonden terwijl autonomie over de afzonderlijke databronnen behouden blijft. Dit wordt mogelijk door veilige data-deeltechnologie, standaardisatie, transparant beheer en toezicht en samenwerking met burgers en patiënten.

### **Defensie**

Defensie is bij uitstek een domein waar de toepassing van AI grote gevolgen zal hebben. Militairen moeten een gedetailleerd beeld van hun omgeving (‘situation awareness’) kunnen opbouwen om de juiste acties te kunnen ondernemen maar lopen daarbij aan tegen de sterk groeiende hoeveelheid en variëteit aan data. Zij moeten risicovolle en fysiek belastende taken uitvoeren die, wanneer mogelijk, beter door autonome systemen kunnen worden verricht. Ook kan autonomie ingezet worden om bescherming te verbeteren (bijvoorbeeld tegen inkomende raketten) en om – binnen geldende ethische en juridische randvoorwaarden – de effectiviteit van wapensystemen te

vergroten. In het algemeen zal de toepassing van AI bij Defensie ook helpen om het werk meer ‘arbeidsextensief’ te maken, waarmee wordt geanticipeerd op de gevolgen van de krimpende arbeidsmarkt.

**Militaire besluitvorming:** Om het proces van besluitvorming te beschrijven wordt vaak een onderverdeling in drie fasen aangebracht: ‘Observe’, ‘Orient’ en ‘Decide’ (die samen met de ‘Act’-fase de zogenaamde OODA-loop vormen). AI kan in al die fasen toegepast worden: data kan slimmer en vanuit meer bronnen verzameld worden en worden gecombineerd en verwerkt zodat het ‘situation awareness’ vergroot. Daarnaast kan de besluitvorming ondersteund worden door het automatisch genereren van handelingsopties waarbij ook de voor- en nadelen van die opties worden ingeschat. Eigenlijk is de inzet van AI nu al een noodzaak omdat de hoeveelheid en diversiteit van de informatie enorm toeneemt en omdat tegenstanders (die zelf ook AI inzetten) ons steeds minder tijd geven om besluiten te nemen. Uiteindelijk zal in bepaalde situaties geheel autonome besluitvorming nodig zijn (waarbij de mens dus voor en/of achter de loop is), maar dat

zal alleen onder strikte voorwaarden kunnen gebeuren.

### **Robots om explosieven te ontruimen:**

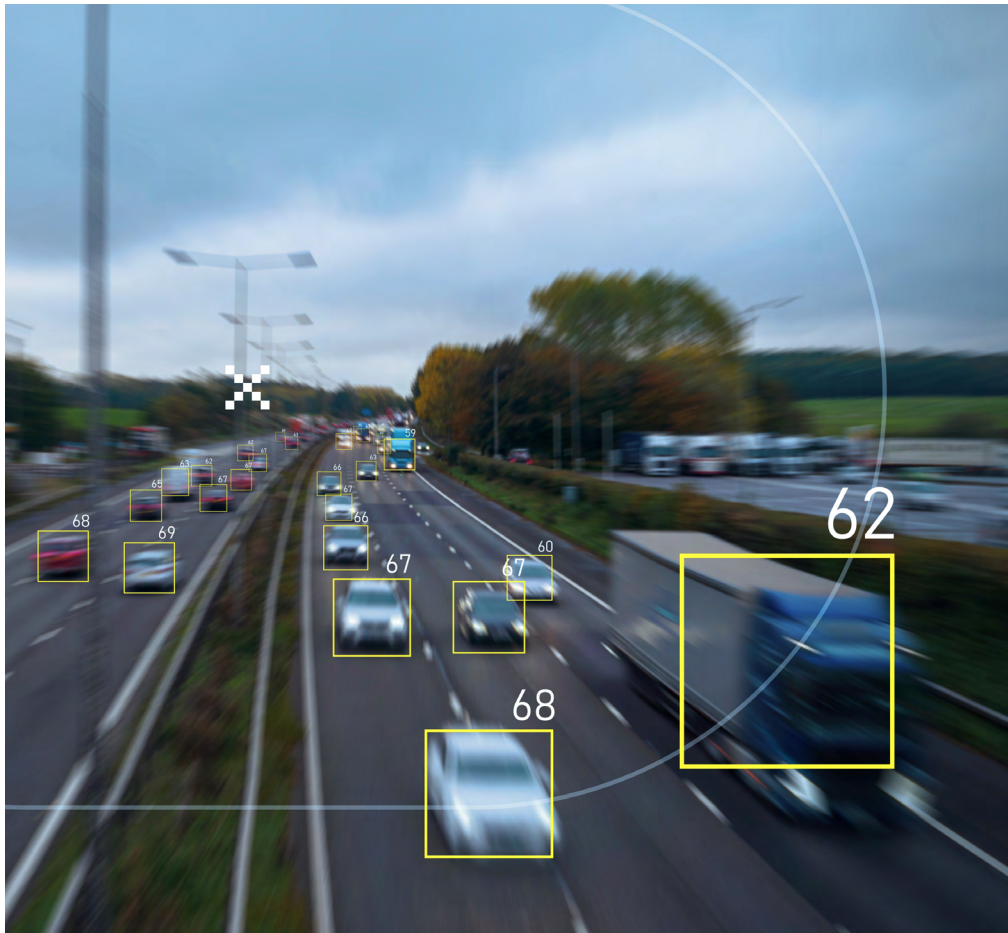
Opsporing en onschadelijk maken van explosieven en mijnen op land en in het water is een zeer gevaarlijke taak die zoveel mogelijk door (semi-)autonome systemen moet worden overgenomen. Momenteel worden er al robots ingezet bij het ruimen van explosieven op land maar die zijn volledig op afstand bestuurd en zijn dus zeer arbeidsintensief. De volgende stap in deze ontwikkeling is de ‘supervisie’-modus: de robot wordt een opdracht gegeven als ‘ga daarheen en gebruik deze procedure om het explosief op te ruimen’. **Binnen een decennium verwachten we de mens ‘before the loop’ te brengen: de robot wordt net als een menselijke collega op pad gestuurd** met de taak ‘ruim de explosieven op’ waarbij de robot autonoom de uitvoering kiest en afwegingen over veiligheid maakt. Ook bij de bestrijding van zeemijnen wordt de mens steeds meer uit de ‘loop’ gehaald. Autonome boven- en onderwatervaartuigen worden ontwikkeld voor het vegen, detecteren en ruimen van verschillende typen mijnen. Met name onderwatersystemen geven

technologische uitdagingen omdat navigatie lastig is en de mogelijkheden voor communicatie beperkt. Desalniettemin is de verwachting dat er al binnen enkele jaren systemen zullen zijn die grotendeels autonoom mijnen kunnen vinden en onschadelijk maken.

**Surveillance en battle-drones:** Op dit moment zien we dat er steeds meer drones op het gevechtveld ingezet worden. Een belangrijke doelstelling is verkenning: het verzamelen van informatie. Nu is dat sterk mensgestuurd, maar in de komende jaren zal dit een steeds autonomer proces worden. Daarmee kunnen de drones vaker en langer worden ingezet en dat leidt tot een effectiever militair besluitvormingsproces. Er komen ook steeds meer bewapende drones, niet alleen zoals de op afstand bestuurde ‘Reaper’ of de in Oekraïne ingezette ‘Bayraktar’, maar ook de zogenaamde ‘loitering munition’-drone die deels autonoom zijn doel kan opzoeken. Het is cruciaal om te waarborgen dat deze systemen binnen de geldende ethische en juridische randvoorwaarden opereren. Zoals in een recent door de Adviesraad Internationale Vraagstukken en de



## AI kan worden getraind om afwijkingen te vinden die wijzen op potentieel criminele en/of terroristische activiteiten.



Commissie van Advies inzake Volkenrechtelijke Vraagstukken uitgebracht rapport<sup>2</sup> wordt gesteld kan dat niet wanneer dergelijke systemen volledig autonoom zijn. Daarom moet er altijd betekenisvolle menselijke controle over het systeem kunnen worden uitgeoefend, waarbij ‘humans before the loop’ de meest vergaande optie is.

**Vervoer en logistiek:** ‘Amateurs talk tactics but professionals talk logistics’ is een bekend statement dat het vaak onderschatte belang van militaire logistiek weerspiegelt. Zoals de oorlog in de Oekraïne ook laat zien, berust het vermogen om door te kunnen vechten (militaire term: voortzettingsvermogen) grotendeels op goed functionerende logistieke ketens. Toepassing van autonomie hierin ligt voor de hand. Niet alleen omdat er al veel ervaring is opgedaan met autonoom vervoer in het civiele domein, maar ook omdat militaire konvooien belangrijke doelwitten zijn en dus zeer gevaarlijk zijn voor de militairen die hieraan deelnemen. Ook bij een andere risicovolle vervoerstaak, het terughalen van gewonde militairen uit de frontlinie, kan autonoom vervoer een oplossing bieden.

### Civiele veiligheid

**Beveiliging:** Ook in het civiele beveiligingsdomein zal AI de komende tien jaar een belangrijke rol spelen. Bijvoorbeeld bij inspectie- en surveillancetaken, waarbij autonome systemen in toenemende mate zullen worden ingezet voor het beveiligen van bedrijventerreinen, kritieke infrastructuur of festivals.

**Criminaliteit:** AI wordt in toenemende mate ingezet door justitie inlichtingendiensten voor het vinden van afwijkingen in grote hoeveelheden data, de zogenaamde ‘speld in een hooiberg’. AI kan worden getraind om afwijkingen te vinden die wijzen op potentieel criminele en/of terroristische activiteiten, zonder dat hiervoor privacygevoelige informatie van burgers bekeken hoeft te worden (veilig datadelen). Zo kunnen misdaden worden voorspeld zonder dat de overheid in ‘Big Brother’ kan veranderen.

**Opsporing en bewijsgeving:** Nog een andere toepassing is het AI-gedreven vinden van causale verbanden in tekstmateriaal. Dit kan worden gebruikt voor opsporing en bewijsgeving, maar ook in de rechtspraak, om

## Industriële robots worden een integraal onderdeel van het productieproces, waarbij AI de ontwikkeling van collaboratieve robots inluidt.

bijvoorbeeld jurisprudentie te analyseren. Deze innovaties zullen het werk van politie en justitie efficiënter en effectiever maken.

### Industrie

AI wordt breed toegepast, van personeelsplanning tot productontwerp, om de efficiëntie, productkwaliteit en de veiligheid van werknemers te optimaliseren. De belangrijkste 'use cases' van AI worden volgens de Economist Intelligence Unit (2018) versneld door AI-gedreven R&D (30%), 'predictive analytics' (28%), 'real-time operations management' (26%) en robotisering van maakprocessen.

**Onderhoud en kwaliteitscontrole:** In fabrieken wordt AI ingezet om storingen van kritieke industriële apparatuur te voorspellen, waarmee preventief onderhoud kan plaatsvinden en uitvaltijd voorkomen wordt. Bij kwaliteitscontrole wordt AI ingezet om te waarschuwen voor mogelijke productiefouten (subtiele afwijkingen in processen, gedrag van machines, karakteristieken van grondstoffen, etc.) om zo productkwaliteit te optimaliseren. Door productiefaciliteiten te voorzien van sensoriek (die zoekt naar afwijkingen in

materialen, productieomgeving en machinegedrag) en daar AI op toe te passen kunnen productieprocessen adaptief en 'resilient' gemaakt worden.

**Productontwerp:** Productontwerp vindt plaats langs steeds meer dimensies (naast prestatie, kosten en veiligheid ook duurzaamheid, beschikbaarheid materialen, doorwerking in toeleveringsketens, etc.). Met AI kunnen de effecten van ontwerpkeuzes langs deze dimensies worden bepaald om snel tot voorselectie te komen. **De rol van de ontwerper verschuift hiermee van tijdsintensieve 'trial and error'-validatie naar enkel de creatieve aspecten.** AI wordt tevens ingezet voor het datagedreven maatwerk van design op specifieke klantkarakteristieken ('customisation').

**Robotisering:** Industriële robots worden een integraal onderdeel van het productieproces, waarbij AI de ontwikkeling van collaboratieve robots inluidt, die instructies van mensen kunnen aannemen en veilig en productief naast en met hen samen kunnen werken.

**Circulariteit en emissie:** Digitalisering – met name AI – is een essentiële factor in de

transitie naar een duurzame en circulaire industrie. Door digitale tracking en tracing van materialen en kunnen (wereldwijde) toeleveringsketens worden geoptimaliseerd op circulair materiaalgebruik en emissiereductie.



## Visie Artificial intelligence

Hanneke Molema, senior consultant gezond leven bij TNO, interviewt **Georgette Fijneman**, sinds 2017 de directievoorzitter van zorgverzekeraar Zilveren Kruis. Beiden kijken vanuit een geheel ander oogpunt naar hetzelfde onderwerp: gezondheid. Wat is de belofte van AI voor één van Nederlands grootste zorgverzekeraars?

[▶ Bekijk het hele gesprek](#)



Anne Fleur van Veenstra, Director of Science bij de TNO-unit SA&P, interviewt **Rob de Wijk**, emeritus hoogleraar internationale betrekkingen in Leiden én de oprichter van het The Hague Centre for Strategic Studies. Daarnaast is hij een veelgevraagde expert bij radio- en televisieprogramma's. Wat betekent de opkomst van AI in een geopolitieke context en bij gewapende conflicten?

[▶ Bekijk het hele gesprek](#)

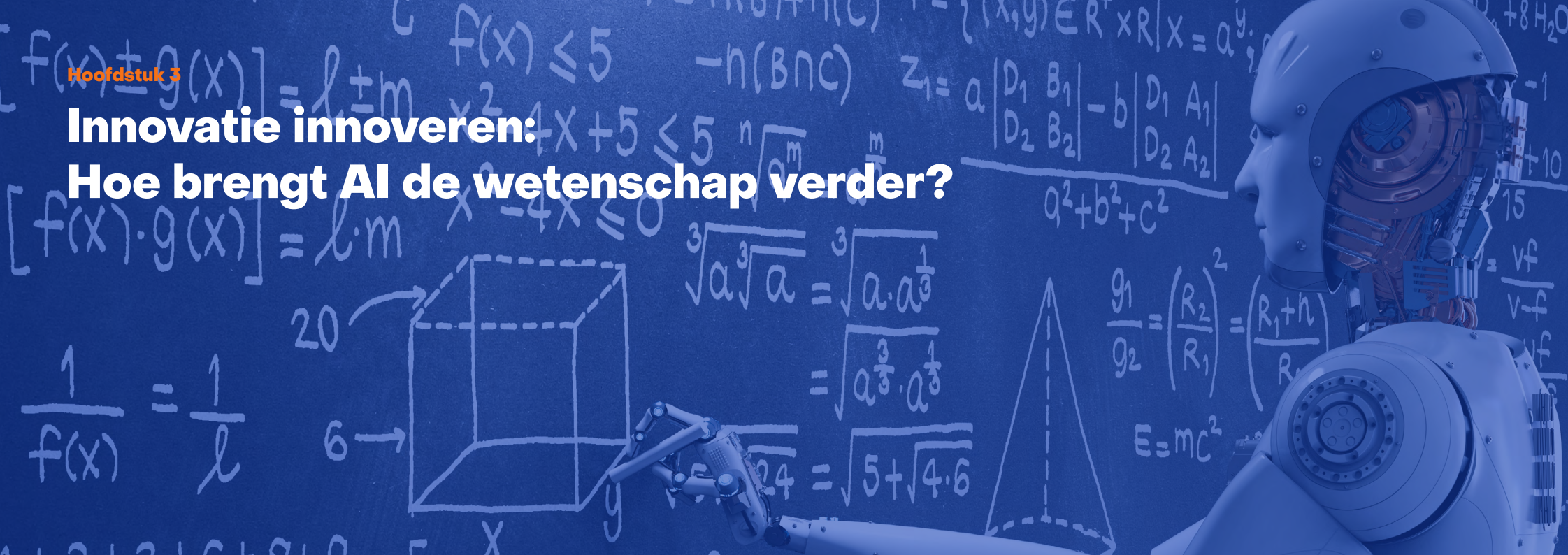


Marieke Martens, Science Director bij TNO en hoogleraar Automated Vehicles aan de Universiteit Eindhoven, gaat in gesprek met **Bram Schot**. Tot 2020 was hij de CEO van Audi, maar al ruim daarvoor bekleedde hij managementposities bij verschillende automerken, waaronder Mercedes en Volkswagen. Hun gesprek gaat over de invloed van AI op mobiliteit. Wat betekent dat voor het productieproces? En hoe ziet een toekomst met autonome voertuigen eruit?

[▶ Bekijk het hele gesprek](#)



# Innovatie innoveren: Hoe brengt AI de wetenschap verder?



Aristoteles (384-322 v.C.) stelde zich ooit voor dat: ‘...als elk stuk gereedschap zijn werk zou doen in opdracht of door zelf te zien waarom, zoals Daidalos’ beelden of Hephaistos’ automaten [...], dus als werpspoelen zelf zouden weven en plectra de luit bespeelden, dan hadden ambachtslieden geen gezellen nodig en meesters geen slaven’.<sup>3</sup> In een wereld waarin de meeste van de huidige technologieën nog niet bestonden, was Aristoteles er al heel goed in geslaagd om de potentie van techniek en automatisering in te zien. We hebben Aristoteles’ visioen uit zien komen op allerlei terreinen. Hoe zal dat uitpakken voor kunstmatige intelligentie in relatie tot de wetenschap? Leren machines straks sneller en beter dan mensen, in

dezelfde mate als raceauto’s ons inhalen? Kunnen ze kennis produceren? En als dat gebeurt, is dat dan goed of slecht? Wat zal de impact zijn van AI op onderlinge gelijkheid tussen mensen?

## Beperkingen overwinnen

Onze vroegste en meest basale werktuigen maakten ons ‘sterker’, ze stelden mensen in staat om fysieke taken te volbrengen die hun fysieke kracht te boven gaan. Denk hierbij aan de jacht op groot wild, het overbruggen van steeds grotere afstanden, het realiseren van steeds grotere gebouwen, steeds zwaardere lasten verplaatsen, steeds meer gewassen verbouwen en steeds dieperliggende grondstoffen winnen. Dan is

er een hele categorie werktuigen die ons in feite steeds ‘luider’ maakt, die mensen in staat stellen om met anderen te communiceren ver buiten het bereik van de menselijke stem. Denk aan pen en papier, drukkunst, telegrafie, telefonie en uiteindelijk het internet. Het gaat daarbij niet alleen om het vermogen om te communiceren als zodanig, maar om het delen van waardevolle ideeën, het organiseren van onszelf en onze inspanningen en het bouwen van moderne maatschappijen. We hebben ook gereedschap ontwikkeld dat ons ‘slimmer’ maakt. Het telraam, de rekenliniaal, de rekenmachine en uiteindelijk de computer stellen mensen in staat om te rekenen en

## Waar technologie en creativiteit elkaar raken, ontstaat makkelijk controverse.

andere analytische taken uit te voeren die onze cognitieve vermogens te boven gaan. De inmiddels enorme reeks toepassingen hiervan begint bij de kassa en eindigt bij geavanceerde datawetenschap. Techniek maakt ons machtiger, beter verbonden en stelt ons in staat om het beste uit onszelf te halen.

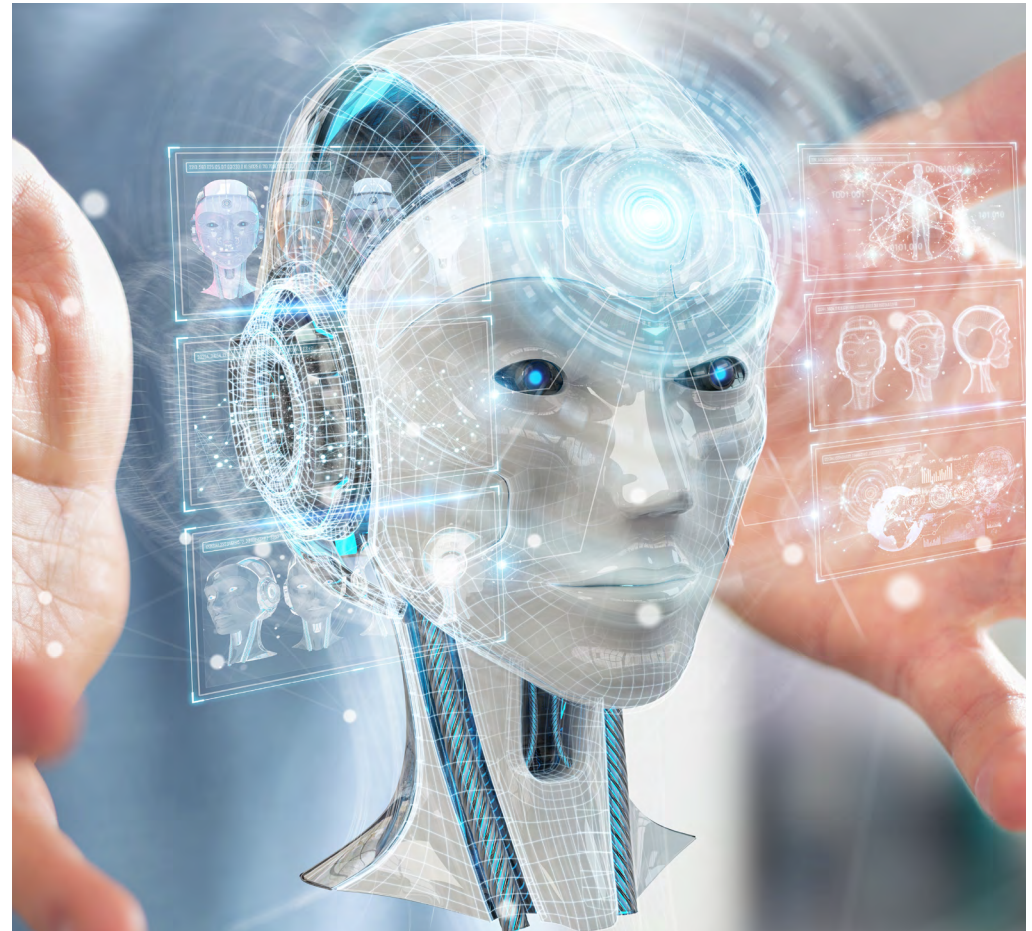
### **Een verlengstuk van de menselijke creativiteit?**

Technologie heeft tot nu toe alle menselijke eigenschappen versterkt behalve onze creativiteit. Natuurlijk ondersteunen en ontketen computers, instrumenten en laboratoria de creativiteit waarop wetenschap en kunst drijven. Maar het vermogen om kennis te verwerven en uit te bouwen wordt toch vooral als een exclusief menselijke eigenschap gezien. Het idee alleen al van lerende machines voelt voor veel mensen aan als verslagen worden in hun eigen spel. Waar technologie en creativiteit elkaar raken, ontstaat dus makkelijk controverse. Om artistieke redenen — maar natuurlijk ook om economische — protesteerden schilders tegen de nieuw ontwikkelde fotografie, staakten muzikanten toen zelfspelende piano's

en radio's hun intrede deden in de horeca en kijken chefs en gourmands neer op kant-en-klaarmaaltijden.

Technologie wordt in zulke gevallen omarmd door mensen die hun autonomie en welvaart zagen groeien maar verafschuwd door diegenen van wie zij voorheen afhankelijk waren. Ambachtslieden zagen hun werk overgenomen worden door fabrieken. Klerken, rekenaars en loopjongens maakten hetzelfde mee door de kantoor-automatisering. Met de intrede van AI, dat ons een stuk denkwerk uit handen neemt, zijn er nieuwe beroepen aan de beurt – niet alleen in de creatieve sector en de wetenschap, die zich baseren op denken en creativiteit, maar ook in de rechtspraak en het bestuur, waar er beslissingen worden genomen. Net als bij voorgaande industriële en digitale revoluties moeten we een houding aannemen ten opzichte van de technologie die we ontwikkelen en vervolgens operationaliseren.

Wat we in dit verband denken over de verhouding tussen mens en machine wordt het duidelijkst als mensen het slachtoffer worden van technologie: dan krijgt niet de



## Van geïdealiseerde modellen naar een ruizige wereld.

machine de schuld maar de mensen die deze bedienden, onderhielden of ontwierpen, dan wel hun leidinggevend. Dit zegt iets fundamenteels over hoe we als mens aankijken tegen kennis en de beslissingen die we daarop baseren. Kennis blijkt transactioneel. Kennis wordt ontwikkeld door mensen en gedeeld tussen mensen onderling. Machines mogen daarbij een rol spelen, maar mensen blijven verantwoordelijk voor resultaten en de toepassingen. Enerzijds is kunstmatige kennis een triomf van informatica en menselijk vernuft in het algemeen. Ze wordt vaak gepresenteerd als een bijna magische oplossing voor allerlei problemen, zelfs door mensen die de technologie zelf niet begrijpen. Anderzijds maakt ze ons kopschuw, waardoor we het potentieel van kunstmatige intelligentie niet ten volle benutten.

### Het potentieel van brute kracht

Machines kunnen meer gegevens vollediger en consistentieverwerken en analyseren dan mensen, mits we ze leren hoe, toezicht houden en de uitkomsten niet voor zoete koek slikken. Als we dit voor elkaar krijgen — en dit kunnen we! — dan is het potentieel enorm.

Zoals een hamer momentum geeft aan onze arm, zo geeft AI momentum aan onze geest. We kunnen haar bijvoorbeeld inzetten voor het taai wetenschappelijke huiswerk dat replicatie-onderzoek heet. We kunnen machines namelijk op voor mensen onoverkomelijk grote datasets laten kauwen. Machines zouden ons kunnen helpen bij onderzoek op de manier waarop burgerwetenschap bijdraagt aan ornithologie, ecologie, paleontologie en astronomie. Denk ook aan het opnieuw analyseren van oude datasets in nieuwe contexten, zoals bijvoorbeeld olie- en gasgegevens een tweede leven krijgen in de energietransitie.

### Van een geïdealiseerde modellen naar een ruizige wereld

Tot nu toe hebben we de wereld moeten vervatten in geïdealiseerde modellen om de fundamentele natuurwetten mathematisch te kunnen uitdrukken. Kunstmatige intelligentie blijkt krachtig genoeg om te kunnen omgaan met de ‘ruizigheid’ van de echte wereld. Japanse astronomen gebruikten ‘deep learning’ om gegevens op te schonen van de gigantische digitale camera op de Subaru-telescoop, waarbij de

echte vorm van het sterrenstelsel kon worden afgeleid uit door lensvertekening verstoorte beelden<sup>4</sup>. Met data-gedreven technieken slaagden Silva en anderen er niet alleen in om de gravitatiewet te reproduceren, maar identificeerden ze ook secundaire mechanismes die een rol spelen wanneer je een echt voorwerp laat vallen in plaats van een perfecte bol in een vacuüm.

Het vermogen om de echte wereld aan te kunnen maakt van kunstmatige intelligentie gereedschap dat bij uitstek geschikt is voor toegepaste wetenschap – waarin het nooit draait om de relatieve beweging te voorspellen van de zwaartekrachtspunten van twee ideale bollen van nogal verschillende afmetingen – maar het modelleren van het pad van een tennisbal op de planeet Aarde. Bij TNO werken we bijvoorbeeld aan modellen om mensen gezonder te maken of te houden. Juist in de gezondheidszorg is er veel wantrouwen richting AI, men wil namelijk controle over waarom een bepaalde behandeling wordt voorgesteld, maar dit beperkt de creativiteit van AI. Wat als we AI echt de ruimte kunnen geven om onze gezondheid te optimaliseren? Wat is dan de functie waarop we ons willen richten? Nu is

dat vaak een bepaalde parameter of een set van parameters waarvan we weten dat ze iets te maken hebben met een ziekte. Als mens moeten we dan anders gaan nadenken over ons lichaam en onze omgeving en andere vragen gaan stellen aan de modellen. Zou AI dan in staat zijn te vinden waar de oorzaak van ziekten ligt of zijn de modellen dan in staat behandelingen te voorspellen die zelfs chronische ziekten herstelt?

### Een houding ten opzichte van techniek

We hebben ons tot alle techniek die we nu onmisbaar en vanzelfsprekend vinden moeten leren verhouden. We zullen de negatieve effecten van kunstmatige intelligentie moeten leren kennen, lenigen en beheersen. Je zou kunnen stellen dat de technieken die ons collectief versterkten het tegenovergestelde effect hebben gehad op individuen of simpelweg negatief uitpakten. Vakmanschap is in veel gevallen gereduceerd tot nogal geestdodende interacties met fabrieksapparatuur. Communicatietechnologie is net zo succesvol in het verspreiden van desinformatie en haat als het essentieel is voor het functioneren en organiseren van maatschappijen.

<sup>4</sup> Shirasaki, M., Moriwaki, K., Oogi, T., Yoshida, N., Ikeda, S. & Nishimichi, T., 2021. Noise reduction for weak lensing mass mapping: an application of generative adversarial networks to Subaru Hyper Suprime-Cam first-year data. Monthly Notices of the Royal Astronomical Society 504(2): 1825–1839. doi:10.1093/mnras/stab982.

## De mens onderscheidt zich ten opzichte van AI met name in intuïtie, onverwachtse invallen en de ‘on gehoorzaamheid’ om anders te denken en te doen.



Alomtegenwoordige computers hebben ongetwijfeld een negatief effect gehad op de individuele gecijferdheid en analytisch vermogen. In de politiek en economie bestaan er haaks op elkaar staande visies op het eigendom van technologie als productiemiddel, met revoluties en oorlogen als resultaat. Technologie kan bedoeld of onbedoeld schadelijk zijn. Ondanks dat alles zijn we het erover eens dat technologie ons machtiger maakt: goedschiks dan wel kwaadschiks. Per saldo heeft techniek ons voorspoed gebracht.

Genialiteit is 1% inspiratie en 99% transpiratie. De mens onderscheidt zich ten opzichte van AI met name in intuïtie, onverwachtse invallen en de ‘on gehoorzaamheid’ om anders te denken en te doen. Ruimte voor deze typisch menselijke creativiteit in onderzoek en innovatie wordt vergroot door de transpiratiefase met AI te ondersteunen, met name door de snelheid en schaal van data-analyse te vergroten, door het helpen herkennen van verborgen patronen, wat ons weer in staat stelt om nieuwe hypothesen te vormen. Kunstmatige intelligentie zal op deze manier niet alleen onze kijk op de

wereld om ons heen veranderen, maar ook die op onszelf. Door de manier waarop we machines aan het leren proberen te krijgen, begrijpen we steeds beter hoe menselijke creativiteit werkt en hoe we wetenschap bedrijven, hoe we moraal en ethiek construeren en daar steeds beter in worden.

Technologie heeft producten en diensten die ooit voorbehouden aan de allerrijksten beschikbaar gemaakt voor de massa. Dit begon met eerste levensbehoeften en strekte zich vervolgens uit over zaken waarvan we ons al niet eens meer kunnen voorstellen dat ze ooit luxe waren, op het gebied van bijvoorbeeld communicatie en mobiliteit. AI maakt op een vergelijkbare manier hoogwaardig denkwerk tot een massaproduct. Dat klinkt misschien tegenstrijdig en op het eerste gezicht niet eens zo aantrekkelijk. Maar meer, beter en sneller denkwerk leidt tot betere besluitvorming, over gezondheid, veiligheid, wonen en werken in onze veranderende leefomgeving. Op die manier gaat AI over de kwaliteit van leven voor iedereen. Daar doen we het voor!

“AI moet gehoorzaam zijn, het moet doen waarvoor het is geprogrammeerd. Terwijl een mens fundamenteel ongehoorzaam is.”

**David Deutsch**

Michiel van der Meulen, Chief Geologist bij de Geologische Dienst Nederland, spreekt **Bas Haring**. Oorspronkelijk studeerde Haring kunstmatige intelligentie en omdat dat toentertijd onder filosofie viel is men hem filosoof gaan noemen. Zelf voelt hij zich eerder ‘volksfilosoof’: Haring probeert wetenschap en filosofie toegankelijk te maken voor een breed publiek. In 2001 publiceerde hij een kinderboek over evolutie, Kaas en de evolutietheorie. Is er een mooiere springplank voor een geoloog en een filosoof om over AI te praten?

▶ [Bekijk het hele gesprek](#)



Peter Werkhoven, Chief Scientific Officer bij TNO, schuift digitaal aan bij **David Deutsch**: fysisch, hoogleraar in Oxford en één van de pioniers op het gebied van quantum computing. Zijn visie zette hij in 1997 uiteen in het boek The Fabric of Reality. Samen praten ze over de betekenis van quantum computing voor de ontwikkeling en toepassing van AI. Zal AI ooit in staat zijn ‘verklaarde kennis’ te genereren’ of ethiek van mensen te kunnen leren?

▶ [Bekijk het hele gesprek](#)





**Met dank aan:**

Eppo Bruins  
David Deutsch  
Georgette Fijneman  
Arnon Grunberg  
Bas Haring  
Bram Schot  
Rob de Wijk

**Auteur:**

Peter Werkhoven

**Co-auteurs:**

Jildau Bouwman  
Jurriaan van Diggelen  
Judith Dijk  
Michiel van der Meulen  
Mark Neerincx  
Stephan Raaijmakers  
Anne Fleur van Veenstra