

Wetenschappelijke doorbraken de klas in!

Levende cellen, Gedachte-experimenten en Menselijke machines

Sanne Dekker, Hanne Kause & Jan van Baren-Nawrocka (redactie)

Hoofdstuk 4: Menselijke machines



Colofon

Redactie: dr. Sanne Dekker, drs. Hanne Kause & drs. Jan van Baren-Nawrocka

Opmaak: Jimmy Israël MSc

Druk en afwerking: Tuijtel, Hardinxveld-Giessendam

Coverfoto's: Jimmy Israël MSc, © WKRU

Eerste druk, januari 2021

ISBN: 978-90-830422-2-0

NUR-code: 190

Wilt u een exemplaar bestellen?

Ga naar: www.wkru.nl/boek

Uitgave:

Wetenschapsknooppunt Radboud Universiteit

FNWI, postvak 77

Postbus 9010

6500 GL Nijmegen

Nederland

E-mail: infowkru@ru.nl

Telefoon: 024 366 72 22

Internet: www.wkru.nl; www.wetenschapdeklasin.nl



2021 Wetenschapsknooppunt Radboud Universiteit

Dit werk is gelicenseerd onder de licentie Creative Commons Naamsvermelding-NietCommercieel-GelijkDelen 4.0 Internationaal.

Ga naar <https://creativecommons.org/licenses/by-nc-sa/4.0/deed.nl> voor meer informatie over deze licentie.

Voor afbeeldingen gelden andere licentievoorwaarden; zie foto- en illustratieverantwoording achterin dit boek (p.130).

Hoofdstuk 4 Menselijke machines

In dit hoofdstuk beschrijven we een project onderzoekend leren met als thema 'Menselijke machines'. Het thema is gebaseerd op het onderzoek van prof. dr. Marcel van Gerven en zijn team naar hoe menselijke hersenen waarnemen. Het hoofdstuk bestaat uit twee delen. In paragraaf 4.1 leggen de onderzoekers uit hoe we het voorspellende vermogen van onze eigen hersenen kunnen gebruiken als inspiratie om computerbreinen nog slimmer te maken. Leraren kunnen deze paragraaf gebruiken om zichzelf en hun leerlingen inhoudelijk voor te bereiden op het thema. In paragraaf 4.2 beschrijven we diverse activiteiten waardoor leerlingen dit thema in de klas kunnen ervaren en inspiratie kunnen opdoen voor hun eigen onderzoek. Deze activiteiten zijn onderdeel van stap 1 en 2 ('introductie' en 'verkennen') van het onderzoekend leren. We raden leraren aan om de 'Leidraad onderzoekend leren' (Van Baren-Nawrocka & Dekker, 2019)  als uitgangspunt te nemen bij de uitvoering van dit project in de klas. Hierin staat een uitgebreide beschrijving van de zeven stappen van onderzoekend leren.

Kerdoelen voor dit thema

Wiskundig inzicht en handelen

24. De leerlingen leren praktische en formele rekenwiskundige problemen op te lossen en redeneringen helder weer te geven.
25. De leerlingen leren aanpakken bij het oplossen van rekenwiskundeproblemen te onderbouwen en leren oplossingen te beoordelen.

Natuur en techniek

41. De leerlingen leren over de bouw van planten, dieren en mensen en over de vorm en functie van hun onderdelen.
44. De leerlingen leren bij producten uit hun eigen omgeving relaties te leggen tussen de werking, de vorm en het materiaalgebruik.

Radboud Science Team 'Menselijke machines'

Het project 'Menselijke machines' is in het schooljaar 2019-2020 ontwikkeld door een team van onderzoekers van de Radboud Universiteit, basisschoolleraren en het WKRU. Het Radboud Science Team 'Menselijke machines' bestond uit de volgende personen:

Onderzoekers Radboud Universiteit

Prof. dr. Marcel van Gerven (hoogleraar kunstmatige intelligentie), Gabriëlle Ras MSc (promovendus), Jordy Thielen MSc (promovendus), Nadine Dijkstra MSc (promovendus), dr. Franc Grootjen (universitair docent), dr. Pablo Lanillos (universitair docent) en dr. Giulio Mecacci (universitair docent). Allen zijn verbonden aan het Donders Instituut voor Brein, Cognitie en Gedrag aan de Radboud Universiteit en werkzaam in de vakgroep Kunstmatige Intelligentie.

School

Daltonbasisschool De Borgwal in Bemmelen: Christine van Mullem, Karen Hendriks, Thijs Rasing, Gerda Siersema en Demi van Wijk (leraren).

WKRU

Miriam de Boer en Hanne Kause (projectleiders).



Prof. dr. Marcel van Gerven

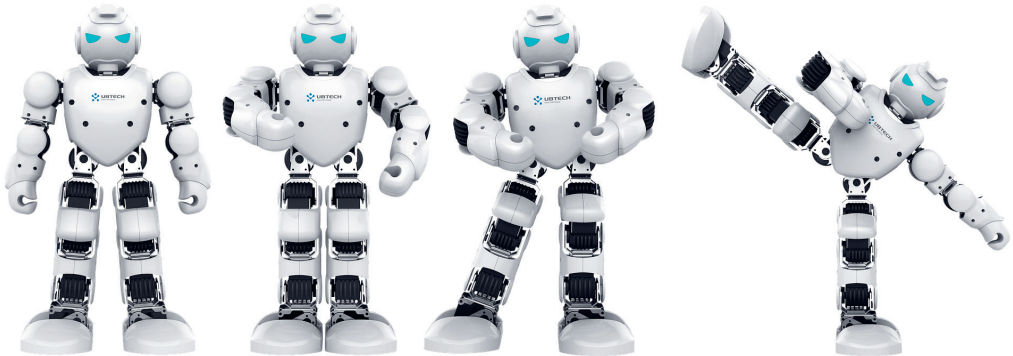
"Ik ben samen met mijn ouders en broer opgegroeid in 's-Hertogenbosch. Ik was vroeger veel met mijn neus in de boeken te vinden. Ik hield er bijvoorbeeld een tijdje de aparte hobby op na om onze encyclopedie uit mijn hoofd te leren. Ook was ik vaak bezig met het maken van allerlei bouwwerken van Lego en was ik al vroeg bezig met het programmeren van computers. Leren ging me eenvoudig af maar dat zorgde er ook voor dat ik school nog weleens saai kon vinden. Ik kan me nog goed herinneren dat ik als kleine jongen vaak 's avonds uit mijn raam stond te kijken naar de sterren. Ik werd dan altijd overvallen door de immense oneindigheid van het heelal. Waar ik echter altijd nog veel sterker door werd geraakt was het besef dat iemand die oneindigheid aan het ervaren was, namelijk ikzelf! Ik was dan ook al vroeg geïnteresseerd in de vraag hoe onze hersenen werken. In eerste instantie wilde ik hersenchirurg worden maar ik heb er uiteindelijk voor gekozen om kunstmatige intelligentie te studeren. Voor mij is dit het mooiste vakgebied dat ik me kan voorstellen. Ik kan me namelijk bezighouden met één van de grootste vragen uit de wetenschap: hoe kan onze geest ontstaan uit levenloze materie? Misschien kunnen we met een antwoord op die vraag ooit nog eens machines maken die net zo bijzonder zijn als wijzelf." *(Foto: Jimmy Israël)*

4.1 Onderzoek naar voorspellende robothersenen

Prof. dr. Marcel van Gerven, Jordy Thielen MSc en Gabriëlle Ras MSc

Slimme robots

Een robot is een machine die net zoals mensen kan waarnemen, denken en bewegen. Robots heb je in allerlei vormen en maten. Denk bijvoorbeeld aan stofzuigrobots, robots in de operatiekamer of speelgoedrobots voor kinderen. Maar ook een zelfrijdende auto is een soort robot, omdat hij de omgeving kan zien en dan zelf beslist welke kant hij op beweegt. Robots worden steeds slimmer en kunnen steeds meer taken van mensen overnemen.



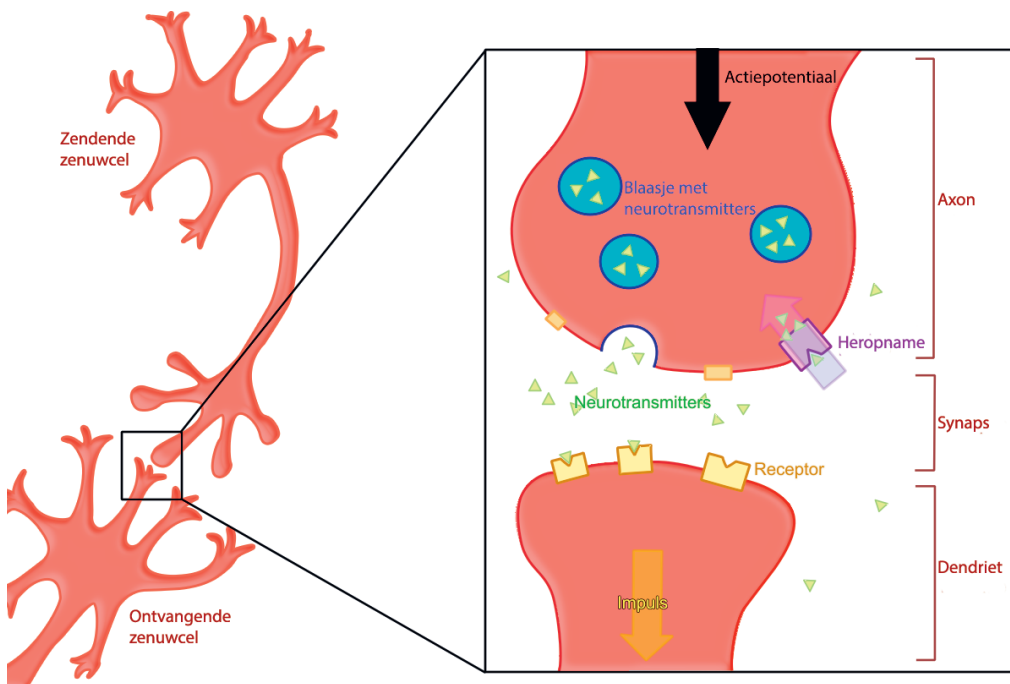
Speelgoedrobot in verschillende houdingen (Afbeelding: Gerhard Janson)

Maar hoe slim zijn robots nu écht? Als we wat beter naar robots kijken, blijken ze nog lang niet zo slim te zijn als mensen. Een stofzuigrobot bijvoorbeeld, is zo geprogrammeerd dat hij ongemerkt door een hondendrol heen kan rijden en daardoor de hele kamer besmeurt met poep. En vervolgens kan deze robot je boosheid hierover niet begrijpen en zich al helemaal niet schamen voor zijn gedrag. Ook moeten we de eerste stofzuigrobot nog tegenkomen die je huis opruimt als je hem daarom vraagt. Robots lijken dus vrij slim, maar toch kunnen ze nog veel dingen niet.

Kunstmatige intelligentie

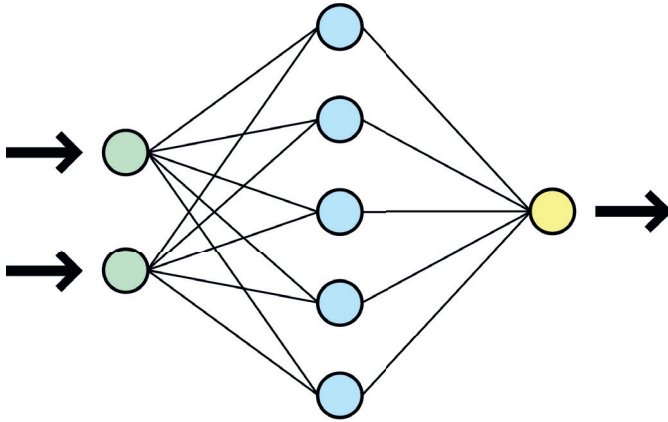
Hoe kunnen we dan slimmere machines bouwen? Dat is de vraag waar onderzoekers in de kunstmatige intelligentie zich mee bezighouden. In de kunstmatige intelligentie worden machines vaak zo gebouwd dat ze beslissingen maken op basis van voorgeprogrammeerde regels. Het probleem van deze aanpak is echter dat een machine dan niet om kan gaan met nieuwe situaties die niet vooraf beschreven zijn in de regels. Een andere aanpak is om machines zo te programmeren dat ze kunnen leren van hun eigen fouten. We noemen dit ook wel *machine learning* (machinaal leren). Hiervoor wordt vaak het zelflerend vermogen van onze eigen hersenen als inspiratie genomen. Denk bijvoorbeeld aan tennis leren spelen. In het begin is het best moeilijk om de bal over het net te krijgen, maar door veel oefenen kan je uiteindelijk de bal mooi naar de tegenstander slaan. In ons onderzoek proberen wij beter te begrijpen hoe onze hersenen werken, zodat we die kennis kunnen gebruiken om krachtigere zelflerende systemen te ontwikkelen.

Onze hersenen bestaan uit zo'n 86 miljard hersencellen, ook wel neuronen genoemd. Deze neuronen zijn verbonden met elkaar via synapsen. Dit zijn kleine ruimtes tussen twee neuronen waar het ene neuron met het andere neuron communiceert. Zodra het eerste neuron een bericht wil doorsturen naar een tweede neuron, stuurt hij een elektrisch signaal over zijn uitgaande poten (de axon) naar een synaps. Dit signaal wordt ook wel de actiepotentiaal genoemd. In de synaps zorgen complexe chemische processen ervoor dat de neuronen aan de ontvangende poten (de dendrieten) gestimuleerd worden. Het tweede neuron wordt actief zodra er voldoende activatie binnenkomt via de dendrieten. Gezamenlijk vormen neuronen een groot complex netwerk. In dat netwerk versturen al deze neuronen de hele tijd boodschappen naar elkaar. Dat zou je *denken* kunnen noemen. Door veranderingen in de sterkte van de verbindingen in het netwerk, verandert de manier waarop neuronen met elkaar communiceren. Synapsen tussen neuronen kunnen sterker of zwakker worden, waardoor het makkelijker of moeilijker wordt om opeenvolgende neuronen te activeren. Dat zou je *leren* kunnen noemen.



Schematische weergave van de communicatie tussen neuronen (Afbeelding: Sabar)

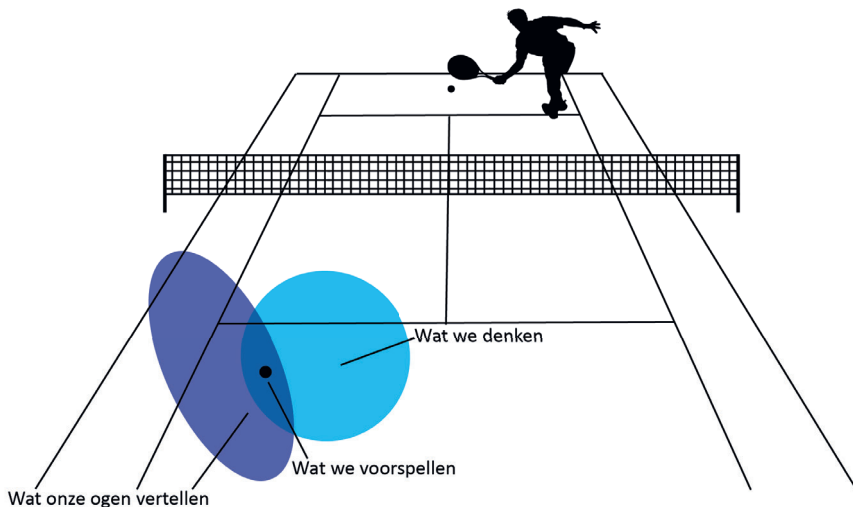
De meeste krachtige robothersenen zijn geïnspireerd op de werking van netwerken van neuronen in onze eigen hersenen en worden *kunstmatige neurale netwerken* genoemd. Deze netwerken bestaan uit kunstmatige (geprogrammeerde) neuronen met ingangen (dendrieten) en uitgangen (axonen). Via de dendrieten komen berichten binnen van voorgaande neuronen en als een neuron voldoende geactiveerd wordt dan stuurt deze vervolgens berichten door naar opvolgende neuronen via de axonen. Deze kunstmatige neuronen kunnen, net als onze hersenen, zelf leren door hun verbindingen tussen neuronen te veranderen (zie Achtergrondinformatie 'Kunstmatige intelligentie').



*Schematische weergave van een
neuraal netwerk
(Afbeelding: Dake en Mysid)*

Voorspellingsmachines

In ons onderzoek houden wij ons bezig met één van de unieke eigenschappen van onze eigen hersenen, namelijk het maken van voorspellingen. Stel je eens voor dat je als beginnend speler regelmatig een potje tennis speelt met een vaste tennispartner. In het begin gaat het misschien nog niet geweldig, maar na veel oefenen word je steeds beter in de bal terugslaan. Om dit te kunnen doen moet je op tijd weten waar de bal terecht gaat komen. Vaak is het zelfs zo dat je al naar de plek rent waar de bal naartoe gaat op het moment dat je tegenstander nog maar net de bal aanraakt. Dat betekent dat je hersenen voorspellen wat er zal gaan gebeuren. Ze weten bijvoorbeeld hoe een geslagen bal beweegt en ze weten hoe je tegenstander speelt. Als die de bal altijd aan de rechterkant van het veld slaat dan weet je dat het slim is om alvast die kant op te rennen! Je kan je hersenen dus zien als *voorspellingsmachines* die voortdurend proberen te voorspellen wat er op het volgende moment zal gaan gebeuren.

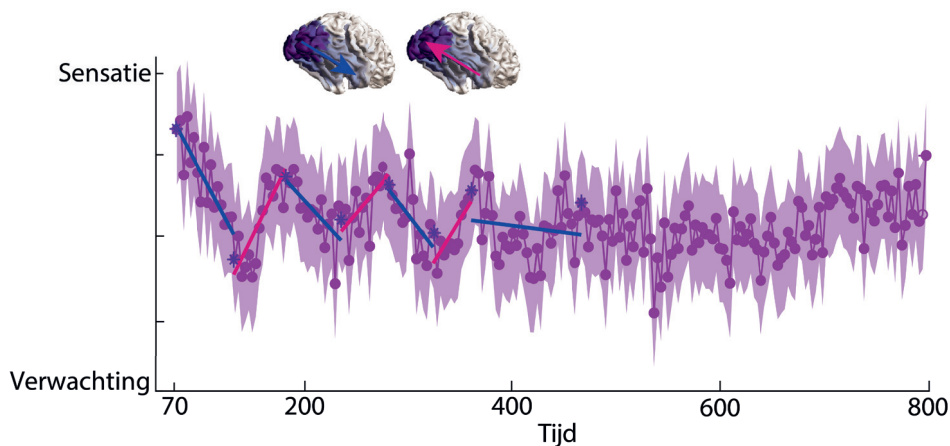


We kunnen voorspellen waar de tennisbal komt door het interne model (onze verwachting) met onze zintuigen (onze sensaties) te combineren

Om deze voorspellingen te kunnen maken moeten we wel weten hoe de wereld werkt (bijvoorbeeld 'Hoe snel gaat een bal?' of 'Welke kant rent mijn tegenstander op?'). Onderzoekers denken dat de hersenen een *intern model* van de wereld in je hoofd maken. Met behulp van dit interne model kan je voorspellen wat er gebeurt voordat iets in de echte wereld plaatsvindt. Dat we dit interne model in ons hoofd hebben, kun je zelf ook ervaren. Probeer maar eens om in gedachten door je huis te lopen vanaf je voordeur naar je slaapkamer. In je gedachten zie je waarschijnlijk best duidelijk hoe dat eruitziet. In het dagelijks leven combineren onze hersenen voorspellingen gemaakt door het interne model (onze verwachting) steeds met informatie over de buitenwereld zoals waargenomen met onze zintuigen (onze sensaties). Wat we waarnemen lijkt dus een integratie van verwachting en sensaties te zijn (zie Achtergrondinformatie 'Waarneming en visuele illusies'). Onze hersenen doen dat op zo'n accurate en efficiënte manier dat we ons hier gewoonlijk niet bewust van zijn. Maar hoe werkt dit eigenlijk in de hersenen?

Hersenonderzoek

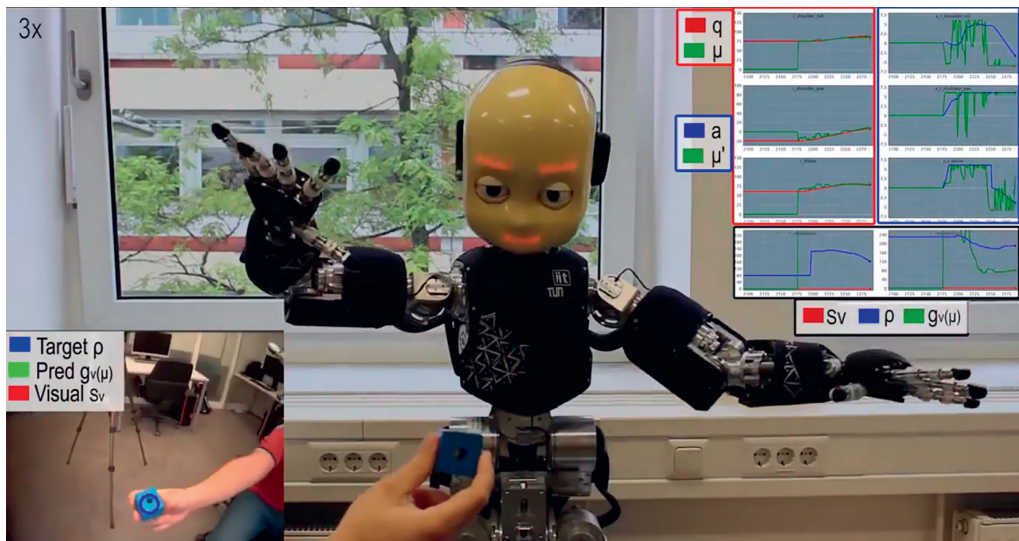
Om beter te begrijpen hoe onze hersenen voorspellingen maken, hebben wij in ons onderzoek een magnetoencefalograaf gebruikt; ook wel MEG in het kort genoemd. Met een MEG-apparaat kunnen we aan de buitenkant van het hoofd meten welke activiteit er in de hersenen plaatsvindt. Wij hebben in ons onderzoek gekeken naar wat er gebeurt als iemand naar een plaatje kijkt in vergelijking met wat er gebeurt als iemand zich een plaatje voorstelt. In de hersenen worden sensaties van achter naar voren (blauwe pijl) en verwachtingen van voren naar achteren verwerkt (roze pijl). Met deze kennis, kun je verwachten dat als iemand zich een plaatje voorstelt, je in de hersenen kunt meten dat er een verwachting wordt verwerkt (roze pijl). En als iemand naar een plaatje kijkt, dat je dan meet dat er een sensatie wordt verwerkt (blauwe pijl). In ons onderzoek ontdekten we juist dat er bij het bekijken van een plaatje meerdere dingen gebeuren: onze hersenen wisselen tussen verschillende toestanden. Deze resultaten tonen aan dat onze hersenen tijdens waarneming lijken af te wisselen tussen wat onze ogen ons vertellen (sensaties) en hoe we denken dat de wereld eruitziet (verwachting). In de afbeelding zie je dit doordat de blauwe lijnen en roze lijnen elkaar afwisselen in een zaagtandpatroon. Ons werk levert hiermee nieuwe aanwijzingen dat onze hersenen inderdaad gebruik maken van een intern model om te voorspellen wat we waarnemen.



De metingen van Van Gerven en zijn team laten zien dat onze hersenen tijdens een waarneming afwisselend verwachtingen (roze pijl) en sensaties (blauwe pijl) verwerken (Afbeelding: Nadine Dijkstra)

Voorspellende robots

Een interessante vraag is nu: kunnen we ook voorspellende robots bouwen? Recent onderzoek binnen onze onderzoeksgroep laat zien dat dit mogelijk is. De volgende afbeelding laat een robot zien die een blokje probeert te volgen. De robot doet dit door steeds zijn verwachting van waar het blokje is te vergelijken met wat de camera's in zijn ogen hem vertellen (zijn 'sensaties'). Als de verwachting en de sensaties van elkaar afwijken, zal de robot zijn positie zodanig aanpassen dat de afwijking kleiner wordt. De robot is zo in staat om het blokje te volgen. Toch blijft het in de praktijk moeilijk voor robots om goede voorspellingen te maken. We hebben namelijk niet altijd volledige informatie over de wereld om ons heen, en menselijk gedrag voorspellen is al helemaal een grote uitdaging. Dat is zelfs voor mensen lastig. Denk bijvoorbeeld aan je tennispartner die plots toch naar de linkerkant van het tennisveld speelt. Daarom is er nog veel onderzoek nodig voordat we robots kunnen ontwikkelen die echt goed kunnen voorspellen!



Een robot die voorspellingen maakt terwijl hij een blokje volgt (Foto: Pablo Lanillos)

Wat kan ons onderzoek opleveren?

Naast dat wij als onderzoekers de hersenen heel graag beter willen begrijpen, omdat wij worden gedreven door onze nieuwsgierigheid, hopen we ook dat het onderzoek nieuwe toepassingen kan opleveren. Als we in staat zijn om hersenmechanismen na te bootsen in machines, dan kunnen die mogelijk bijdragen aan het oplossen van ingewikkelde problemen waar wij als mensen voor staan. Denk bijvoorbeeld aan zelfrijdende auto's (zoals de autopilot van Tesla) die door betere voorspellingen en een veel kortere reactietijd dan menselijke bestuurders ongelukken en files kunnen voorkomen, en daardoor ook bijdragen aan een schoner milieu. Echter, als steeds meer taken door robots kunnen worden overgenomen, komen er nieuwe vraagstukken naar voren. In hoeverre willen we menselijke taken door robots laten overnemen? Wie is er verantwoordelijk als een robot een (foutieve) beslissing maakt? Wat gebeurt er als robots net zo slim of zelfs slimmer worden dan wij zelf (zie Achtergrondinformatie 'De singulariteit')? Deze belangrijke vraagstukken spelen tevens een rol bij de ontwikkeling van intelligente technologie.

Onderzoek naar voorspellingen in de hersenen

In onderstaand kader geven prof. dr. Marcel van Gerven en zijn team een voorbeeld van hoe zij onderzoek hebben gedaan naar voorspellingen in de hersenen. Ze beschrijven hun onderzoeksvraag, de manier waarop ze deze vraag probeerden te beantwoorden, de resultaten die het onderzoek opleverde en de vervolgvragen die het onderzoek oproept. Hiermee willen we het verband laten zien tussen de aanpak van een onderzoeker en die van de leerlingen.

Onderzoeksvraag	Hoe werken de hersenen als ze iets waarnemen?
Hypothese	Hersenen maken tijdens het waarnemen gebruik van zowel sensaties als verwachtingen.
Hoe doen we dit onderzoek?	We meten de hersenactiviteit met behulp van MEG terwijl mensen een taak uitvoeren. Proefpersonen worden gevraagd om twee dingen te doen: naar plaatjes kijken (waarnemen) en een mentale voorstelling maken van plaatjes (inbeelden). Na afloop vergelijken we de hersenactiviteit tijdens het waarnemen en tijdens het inbeelden.
Resultaten (liefst met beeldmateriaal)	We ontdekten dat hersenactiviteit die gemeten wordt tijdens het kijken naar een plaatje uit twee verschillende toestanden bestaat. De metingen van de hersenactiviteit leek afwisselend meer en minder op hersenactiviteit gemeten tijdens het inbeelden van een plaatje. Die afwisseling vormt een zaagtandpatroon in de resultaten, zoals te zien in de afbeelding bij 'Hersenonderzoek'.
Conclusie	De hersenen lijken steeds af te wisselen tussen wat onze ogen ons vertellen en wat onze verwachtingen ons vertellen.
Wat betekenen deze resultaten voor het dagelijks leven van kinderen?	Bij onze waarneming spelen verwachtingen een grote rol. Je hersenen vullen veel dingen zelf in. Je kunt dus niet alles geloven wat je ziet!
Wat willen we nog meer onderzoeken?	Kunnen we de werking van onze hersenen nabootsen in machines? We begrijpen daarmee niet alleen onze eigen hersenen beter, maar kunnen daarmee ook steeds slimmere robots bouwen die ons op allerlei manieren kunnen helpen.

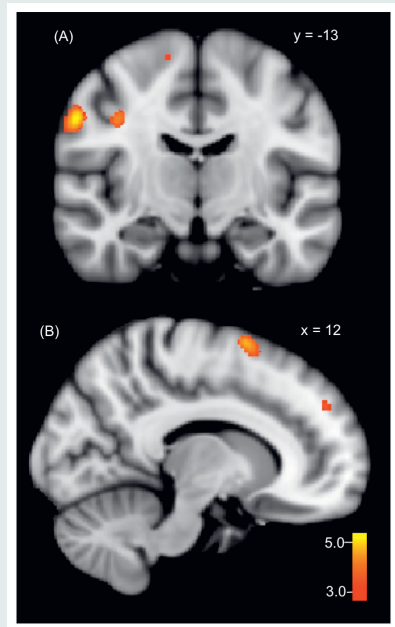
ACHTERGRONDINFORMATIE

Kunstmatige intelligentie

Intelligentie heeft veel verschillende definities, maar in het algemeen kan je het omschrijven als het vermogen om informatie waar te nemen en op te slaan als kennis, die je gebruikt om je gedrag aan te passen aan je omgeving. Bij kunstmatige intelligentie worden de complexe neurale netwerken in menselijke hersenen nagebootst met kunstmatige (geprogrammeerde) neuronen. Een kunstmatig neuron bootst de functie van een neuron na. Net zoals een biologisch neuron, heeft het één of meerdere ingangen en één of meerdere uitgangen, waarmee ze signalen van voorgaande neuronen ontvangen en deze ook weer doorgeven aan volgende neuronen. Of een kunstmatig neuron wel of niet een signaal doorgeeft, is afhankelijk van de invoer, de sterkte van de verbinding (gewicht), en een bepaalde drempelwaarde (de hoeveelheid activatie waarbij het neuron het signaal doorgeeft). In tegenstelling tot bij een neurale netwerk in de hersenen, kun je bij een kunstmatig netwerk zelf de sterkte van de verbindingen en de drempelwaarde kiezen. Door de drempelwaarde hoger of lager te maken, wordt het moeilijker of makkelijker om opeenvolgende neuronen te activeren. Kunstmatige netwerken kunnen ook, net als onze hersenen, zelf leren door hun verbindingen tussen neuronen te veranderen. Zowel onze hersenen en complexe computerbreinen bestaan uit miljoenen al dan niet miljarden neuronen en kunnen dus enorm complexe taken leren, zoals robots aansturen en spelletjes spelen.

Cognitieve neurowetenschappen

De cognitieve neurowetenschappen richt zich op het begrijpen van hoe menselijke cognitie (complexe denkfuncties, zoals waarneming, denken, leren, geheugen, en taal) verklaard kan worden vanuit hersenactiviteit. Een grensverleggende ontwikkeling binnen de cognitieve psychologie was dat denkprocessen meetbaar kunnen worden gemaakt. Dé pionier op dit gebied was Franciscus Cornelis Donders (1818-1889), naar wie het Donders Instituut in Nijmegen is vernoemd. Met behulp van een noëmatachograaf (noëma = gedachte, táchos = snelheid, graaf = registratie) vergeleek Donders de reactietijden van proefpersonen onder verschillende experimentele condities. Hierdoor was hij in staat om vast te stellen hoeveel tijd een specifiek denkproces kost. Deze aanpak, die bekend staat als de subtractiemethode, geeft dus op basis van *extern* observeerbaar gedrag (reactietijden) toegang tot *interne* mentale toestanden die anders voor ons verborgen zouden blijven. Het werk van Donders is van grote invloed geweest op de cognitieve neurowetenschap. Ook al zijn de technieken om hersenactiviteit te meten sterk veranderd en verbeterd, nog steeds wordt veelvuldig gebruik gemaakt van Donders' subtractiemethode om te achterhalen welke

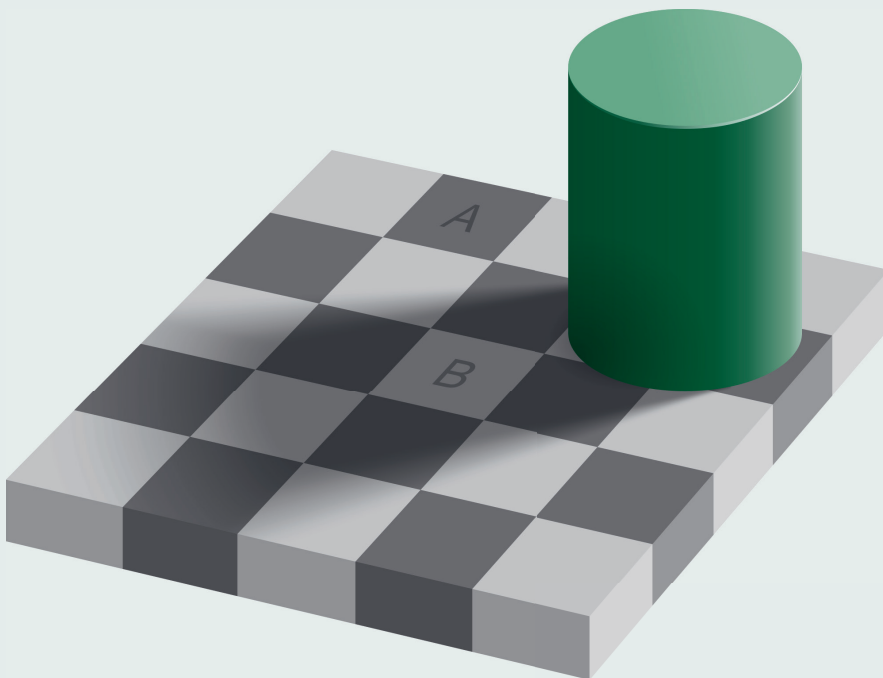


Hersenactiviteit zoals gemeten door een MRI-scanner
(Afbeelding: Ellert Nijenhuis)

hersengebieden actief worden bij het uitvoeren van een taak. Dat wordt bijvoorbeeld gebruikt bij MEG of magnetic resonance imaging (MRI), zie afbeelding hiernaast.

Waarneming en visuele illusies

We kunnen objecten waarnemen doordat licht van het object wordt weerkaatst en op het netvlies in ons oog valt. Op het netvlies zitten zogenaamde fotoreceptoren die licht omzetten in elektrische pulsen die in het brein verwerkt worden en waar het brein een waarneming van maakt. Deze overgang van realiteit naar waarneming is moeilijk. Zo kan een bepaald object er vanuit verschillende hoeken verschillend uitzien, maar relatief hetzelfde op het netvlies vallen. Een 3D-object valt namelijk als een 2D-projectie op het netvlies. Daarom hebben we ook onze beide ogen nodig om goed diepte te kunnen zien. Om de moeilijke obstakels bij het omzetten van prikkels naar waarneming te overwinnen, gebruikt het brein kennis van de wereld om ons heen. Het brein vult dus



De schaduwillusie van Adelson (Afbeelding: Edward H. Adelson)

letterlijk informatie voor ons in. Dat doet het bijvoorbeeld voor de informatie die binnenkomt op de blinde vlek (de plek op het netvlies waar geen fotoreceptoren zijn omdat de optische zenuwbaan daar het oog verlaat). Een ander effect dat ontstaat doordat het brein informatie voor ons invult, zijn zogenaamde 'visuele illusies'. Bij een visuele illusie komt datgene wat we zien niet helemaal overeen met de realiteit. Kijk bijvoorbeeld naar de schaduwillusie van Adelson in de afbeelding. Het lijkt of de vlakken A en B verschillen in kleur, maar feitelijk is dat niet zo! Dit kun je verifiëren door het plaatje tussen de vlakken A en B af te dekken. Dit soort voorbeelden benadrukken het feit dat ons brein zorgt voor een subjectieve waarneming van de wereld om ons heen. Dit soort fenomenen kunnen ook een rol spelen bij de verklaring van hallucinaties bij mensen met schizofrenie.

De singulariteit

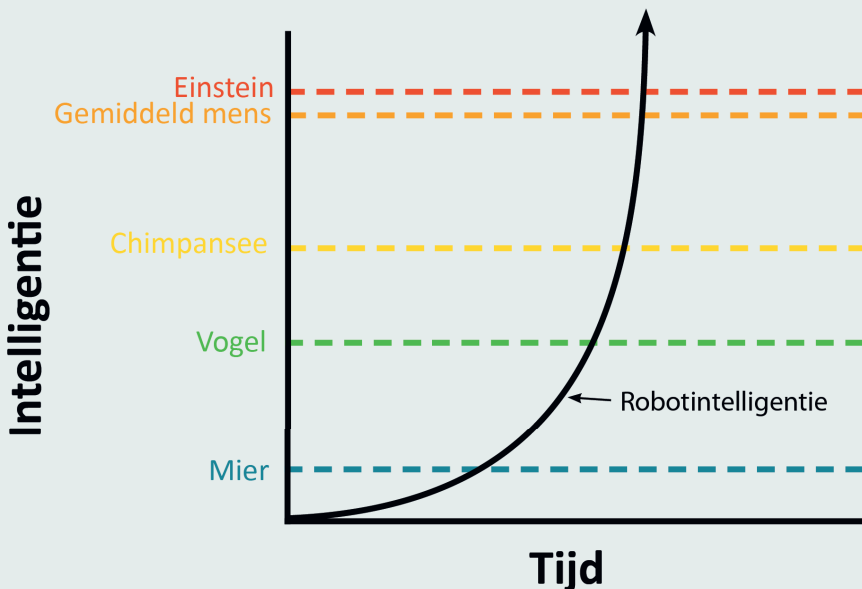
Stel dat we steeds slimmere robots kunnen bouwen, komen we dan niet een keer op een punt dat robots slimmer dan mensen worden? En als ze zo slim zijn, kunnen ze dan niet zelf alsmat sneller nog slimmere robots uitvinden? We noemen het idee dat robots met een steeds grotere snelheid ontzettend veel slimmer worden ook wel 'de singulariteit'. Dat kan handig zijn, omdat een stofzuig-robot dan misschien toch nog eens transformeert tot die kamer-opruim-robot. Maar er schuilt ook een gevaar in steeds slimmer wordende robots. Want als robots slim genoeg zijn om kamers op te ruimen, zijn ze misschien ook wel intelligent genoeg om hun eigen prioriteiten te stellen. Sterker nog, misschien zitten wij mensen hen wel vooral in de weg en kiezen ze ervoor om óns op te ruimen in plaats van onze kamer. Zover is het natuurlijk nog lang niet. Toch is het wel verstandig om alvast na te denken over hoe we dit soort problemen kunnen voorkomen. De beroemde sciencefiction schrijver Isaac Asimov heeft hiervoor al lang geleden drie wetten opgesteld. Die wetten luiden:

Eerste Wet: Een robot mag een mens geen letsel toebrengen of door niet te handelen toestaan dat een mens letsel oploopt.

Tweede Wet: Een robot moet de bevelen uitvoeren die hem door mensen gegeven worden, behalve als die opdrachten in strijd zijn met de Eerste Wet.

Derde Wet: Een robot moet zijn eigen bestaan beschermen, voor zover die bescherming niet in strijd is met de Eerste of Tweede Wet.

Zolang deze wetten goed nageleefd worden hoeven we ons dus nog geen zorgen te maken.



Illustratie van de steeds sneller groeiende ontwikkeling van robotintelligentie, ook wel singulariteit genoemd

Verder lezen, kijken en luisteren

Onderstaande links staan ook op de website www.wetenschapdeklasin.nl bij dit thema. 

Video's WKRU

- Videoportret Marcel van Gerven bij uitreiking Radboud Science Awards 2019 
- Lezing voor kinderen door Marcel van Gerven bij uitreiking Radboud Science Awards 2019 

Meer informatie over het onderzoek van Marcel van Gerven

- Achtergrondartikel uit het NRC over de beperkingen van kunstmatige intelligentie 
- Oratie Marcel van Gerven over menselijke machines 

Meer informatie over de hersenen

- Filmpje van SchoolTV dat ons een kijkje in de hersenen geeft en welke gebieden wat doen 
- Filmpje van Klokhuis dat laat zien hoe hersenen er in het echt uitzien en hoe een zenuwcel werkt, tot 1:14 
- Filmpje van Nieuws uit de Natuur over de hersenen, waar ze zitten en wat ze wegen, tot 2:29 
- Filmpje van Klokhuis over de hersenen, vanaf 4:15-8:44 en van 11:51-13:05 
- Filmpje van Klokhuis over hoe de hersenen werken 

Creatieve machines

- Deepart: een website waarop je met behulp van kunstmatige intelligentie een foto kunt veranderen in de stijl van je favoriete kunstenaar 
- Magenta: een website die intelligente suggesties geeft bij het tekenen 

Intelligente machines

- Filmpje Klokhuis over het computerbrein waarbij computers worden vergeleken met mensen 
- Filmpje van een schakende computer 
- Leuke programmeeropdracht in het thema van de film Frozen. Links onderin het scherm kun je de taal aanpassen naar het Nederlands 

Lesmateriaal voor het basisonderwijs

- Donders Hersenkit: diverse lesideeën voor het basisonderwijs over het brein 
- Lesmateriaal over kunstmatige intelligentie voor het primair onderwijs ontwikkeld door Stichting FutureNL 
- Computer Science Unplugged: lessen over basisprincipes van informatica 

Prijswinnend wetenschappelijk artikel waarop het project is geïnspireerd:

Dijkstra, N., Mostert, P., De Lange, F.P., Bosch, S. & **Van Gerven, M.A.J.** (2018). Differential temporal dynamics during visual imagery and perception. *eLife*, 7. doi: 10.7554/eLife.33904.

Vervolpublicatie:

Dijkstra, N., Ambrogioni, L., Vidaurre, D. & **Van Gerven, M.A.J.** (2020). Neural dynamics of perceptual inference and its reversal during imagery. *eLife*, 9. doi: 10.7554/eLife.53588.

4.2 Onderzoek naar menselijke machines de klas in!

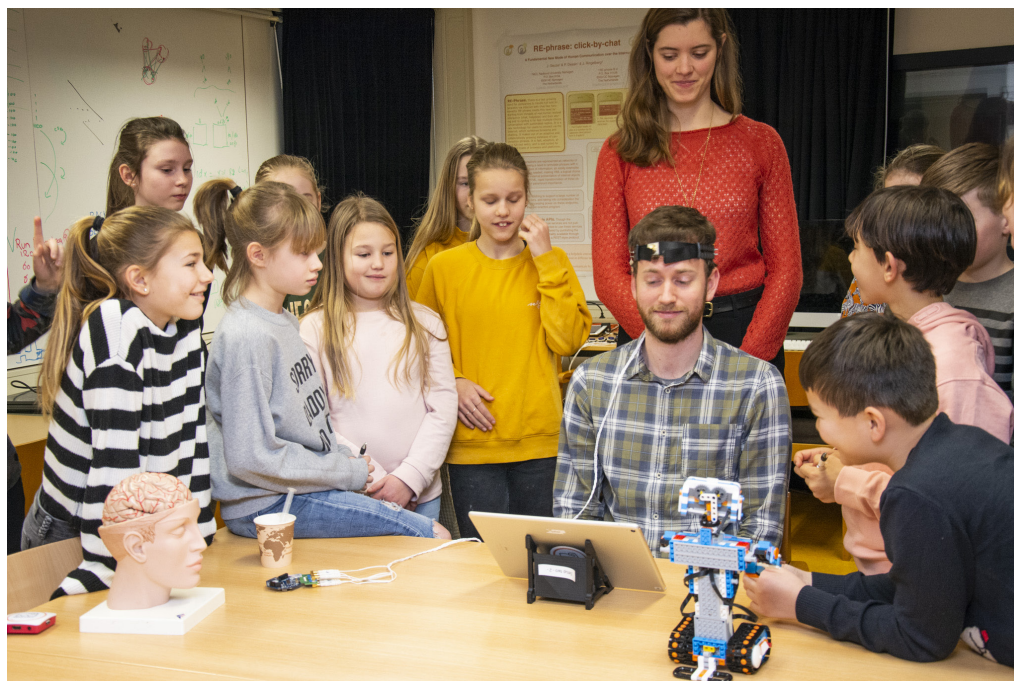
Radboud Science Team 'Menselijke machines'

Deze paragraaf beschrijft hoe je in de klas een project onderzoekend leren kunt opzetten bij het thema 'Menselijke machines'. Je vindt hier diverse activiteiten voor de introductie en verkenning van het project. Deze activiteiten zijn als eerste uitgevoerd bij Daltonbasisschool De Borgwal in Bommel.

Alle activiteiten samen vormen een beeld van het onderzoek naar menselijke machines dat in de voorgaande paragraaf staat beschreven. De relatie tussen de activiteiten en het onderwerp staat steeds expliciet uitgeschreven onder het kopje 'Verbinding met het thema'.

De online bijlagen waar bij verschillende activiteiten naar wordt verwezen, zijn te vinden op onze website www.wetenschapdeklasin.nl. Dit symbool  verwijst naar deze website.

Deze activiteiten zijn onderdeel van stap 1 en 2 ('introductie' en 'verkennen') van het onderzoekend leren. We raden leraren aan om de 'Leidraad onderzoekend leren' (Van Baren-Nawrocka & Dekker, 2019)  als uitgangspunt te nemen bij de uitvoering van dit project in de klas. Hierin staat een uitgebreide beschrijving van de zeven stappen van onderzoekend leren.



Leerlingen van De Borgwal brengen een bezoekje aan het lab van Marcel van Gerven op de Radboud Universiteit (Foto: Hanne Kause)



Stap 1. Introductie

Tijdens de introductiefase komen leerlingen voor het eerst in aanraking met een onderwerp. Het doel is hen te prikkelen en nieuwsgierig te maken naar het onderwerp.

INTRODUCTIEACTIVITEIT: OP PAD MET NEURALE NETWERKEN

Leerlingen gaan op pad met een app die voorwerpen kan herkennen en onderzoeken hoe goed deze werkt.

Doelen

- Leerlingen ervaren wat kunstmatige intelligentie is.
- Leerlingen ervaren dat kunstmatige intelligentie niet alles kan.

Duur

15 minuten

Werkvorm

In tweetallen

Benodigheden

Per tweetal:

- Aipoly (een app die voorwerpen herkent) voor iOS (Apple) of Android
- Mobiel apparaat met een camera en internetverbinding (telefoon of tablet)
- Pen en papier

Vorbereiding

Installeer de app op de apparaten en test of deze werkt, of laat de leerlingen zelf de app op hun telefoon zetten.

Activiteit

Laat de leerlingen met de app op pad gaan en in en om de school onderzoeken welke voorwerpen de app wel en niet kan herkennen. Zorg dat ze opschrijven welke voorwerpen de app wel en niet herkent. Stimuleer ze om te onderzoeken of ze de app kunnen helpen om een voorwerp te herkennen, als dat in eerste instantie niet lukt. Kunnen ze manieren vinden waarop het makkelijker of juist moeilijker voor de app wordt om voorwerpen te herkennen? En kunnen ze de app ook voor de gek houden?

Verbinding met het thema

In deze activiteit maken leerlingen kennis met kunstmatige intelligentie in de vorm van object-herkenning met de Aipoly app. Deze app kan in het algemeen al heel veel, maar maakt ook vaak fouten. De onderzoekers willen graag weten hoe je machines slimmer kan maken. Daarvoor kijken ze naar hoe het brein werkt en hoe je die kennis kunt gebruiken om hersenen van robots nog menselijker te maken.

Tip

De app kan worden uitgedaagd door 'vreemde' input te geven. Bijvoorbeeld door een deel van het voorwerp of de camera af te dekken. En wat gebeurt er als je bijvoorbeeld een aantal pen-nen in de vorm van bijvoorbeeld een huis legt: herkent de app dan de pennen of het huis?



Aipoly, de app die voorwerpen herkent, wordt uitgebreid op de proef gesteld op De Borgwal (Foto: Merel van 't Leven)



Stap 2. Verkenning

In de verkenningfase gaan de leerlingen het thema breed verkennen. Dit is het moment waarop de inhoudelijke basis voor het project wordt gelegd. Het gaat er in deze fase om dat leerlingen op verschillende manieren kennis opdoen over het thema. De kern van de verkenning bestaat uit het doen van activiteiten, die leerlingen soms in groepjes en soms klassikaal uitvoeren. Het is belangrijk dat je als leraar telkens de verbinding legt tussen de activiteit en wat daaruit te leren valt over het thema. Bij iedere activiteit is deze verbinding beschreven.

Zorg daarnaast dat je het thema ook overkoepelend goed toelicht en uitlegt aan de leerlingen. Je kunt daarvoor de lezing voor kinderen gebruiken die de onderzoeker eerder heeft gegeven  en de informatie die in paragraaf 4.1 beschreven staat.

Subthema's

Het onderverdelen van het hoofdthema in subthema's kan leerlingen helpen om bij stap 3 een onderzoeksvraag te formuleren. Subthema's geven meer houvast, omdat ze vaak minder abstract zijn dan het hoofdthema. Bovendien zorgt het uitvoeren van activiteiten van verschillende subthema's voor meer diversiteit tussen de eigen onderzoeksvragen van de leerlingen. We hebben daarom ook binnen dit thema een aantal subthema's aangebracht. Per activiteit is aangegeven bij welk subthema ze passen:

- Verschil mens en machine
- Menselijk brein
- Computerbrein
- Wie is verantwoordelijk?

ACTIVITEIT 1: MENS VERSUS MACHINE

Leerlingen denken na over het verschil in intelligentie tussen mensen en machines.

Subthema

Verskil mens en machine

Doelen

- Leerlingen leren dat het brein allerlei onderliggende taken moet uitvoeren om dagelijkse handelingen te kunnen doen.
- Leerlingen worden zich bewust welke handelingen makkelijker of juist moeilijker zijn voor mensen en machines.
- Leerlingen ontdekken dat er een verschil is tussen wat mensen en machines makkelijk vinden.

Duur

30 minuten

Werkvorm

In viertallen

Benodigheden

Per groepje:

- Filmpje waarin een mens beter is dan een machine: voetballen
- Filmpje waarin een machine beter is dan een mens: Rubiks kubus oplossen
- Whiteboardstift in de kleur groen, oranje, blauw en rood
- Afbeelding met instructies voor leerlingen

Per groepje:

- Groen, oranje, blauw en rood kleurpotlood

Activiteit

Start klassikaal door de leerlingen te vragen naar handelingen die ze in het dagelijks leven doen. Denk bijvoorbeeld aan voetballen, lezen, naar school fietsen, afwassen, veters strikken, schaken. Schrijf deze op het bord. Kies er vervolgens één als voorbeeld en vraag welke taken onze hersenen moeten uitvoeren om deze handeling uit te kunnen voeren. Denk aan: kunnen zien, voelen, ruiken, proeven, onthouden, bewegen, fantasie gebruiken, plannen, instructies opvolgen, rekenen, taal gebruiken, logisch nadenken, samenwerken, problemen oplossen, etc. Vraag de leerlingen welke van deze taken voor mensen makkelijk zijn en onderstreep die met groen. En wat is moeilijk voor mensen? Onderstreep dat in oranje. Vraag ze vervolgens welke taken een computer makkelijk zou vinden, en onderstreep deze met blauw. Zijn er ook taken heel moeilijk, misschien onmogelijk voor computers? Onderstreep die met rood. Bekijk de twee filmpjes. Wat maakt dat mensen beter kunnen voetballen; en dat machines sneller een Rubiks kubus kunnen oplossen?

Verdeel de klas in viertallen en wijs ieder groepje een handeling toe. Laat hen hetzelfde voor hun handeling doen als hierboven beschreven. Toon de afbeelding met instructies op het bord als geheugensteuntje.

Afronding

Bespreek klassikaal na in welke taken de leerlingen denken dat mensen en computers verschillen. In wat voor soort taken is de computer beter? Waarin is de mens beter? Denken ze dat dat altijd zo zal blijven, of kunnen computers uiteindelijk daarin even goed of zelfs beter worden?

Verbinding met het thema

Veel handelingen die wij dagelijks doen (tanden poetsen, een berichtje sturen, fietsen, etc.) lijken enorm vanzelfsprekend, we doen ze bijna zonder nadenken. Wanneer leerlingen bewust gaan nadenken over wat we bij dit soort handelingen eigenlijk nodig hebben, komen zij erachter dat het brein enorm complex is en behoorlijk wat intelligentie bevat om deze handelingen uit te voeren. Dit maakt direct de connectie met intelligente machines: ten eerste dat het dus knap lastig is om een machine te maken die net zo intelligent is als de mens, en daarnaast dat het dus ook niet zo vreemd is dat de machine nog niet zo heel veel kan. Marcel van Gerven en zijn team onderzoeken hoe je kennis over de menselijke intelligentie kunt gebruiken om machines steeds intelligenter te maken.



Leerlingen van De Borgwal bedenken per dagelijkse handeling hoe moeilijk dit is voor een computer (Foto: Merel van 't Leven)

ACTIVITEIT 2: FANTASERENDE HERSENEN

Leerlingen bekijken verschillende visuele illusies en denken na over wat ze zien.

Subthema

Menselijk brein

Doelen

Leerlingen ontdekken dat waarneming beïnvloed wordt door onze kennis en verwachtingen.

Duur

20 minuten

Werkvorm

In viertallen

Benodigdheden

Per groepje:

- Visuele illusies ●
- Liniaal

Voor de leraar: Uitleg bij de illusies ●

Vorbereiding

Bekijk vooraf de illusies, zodat je weet wat je erin kunt zien.

Activiteit

Laat de groepjes de visuele illusies bekijken. Wat zien de leerlingen binnen het groepje? Ziet iedereen hetzelfde of zijn er verschillen? Als ze alle illusies hebben besproken en hun observaties hebben genoteerd, bekijken de leerlingen de illusies opnieuw, maar nu mogen ze een liniaal gebruiken. Komt wat ze zien overeen met wat ze meten?

Afronding

Besprek wat de leerlingen hebben opgemerkt. Waren ze het eens? Kwamen hun observaties overeen met hun metingen? Is hier een goed antwoord? De visuele illusies zijn bedoeld om de leerlingen te laten inzien dat datgene wat we zien een creatie is van het brein, en dus niet altijd overeenkomt met de realiteit. Vul de observaties van de leerlingen aan met de uitleg bij de illusies, en besprek zo hoe het kan dat ons brein ons voor de gek houdt.

Verbinding met het thema

In het algemeen zijn mensen goed in het snel detecteren van objecten en patronen. Dat is heel handig, maar zorgt in sommige gevallen dat we de realiteit anders zien dan dat die daadwerkelijk is. In die gevallen 'verstoort' onze kennis de echte realiteit. Het brein gebruikt kennis over de wereld om tot een snelle conclusie te komen, wat niet altijd waar blijkt te zijn. Visuele illusies laten zien dat het brein de realiteit interpreteert, en dat datgene wat we zien, niet altijd de realiteit is. Deze activiteit

linkt direct aan het kernonderzoek van de wetenschappers. Centraal staat hier ook dat onze eigen hersenen niet altijd een correcte weergave geven van de realiteit. De vraag of dat goed of fout is, of waarom dat gebeurt (namelijk door kennis) staat centraal.



Deze visuele illusie wordt aandachtig bestudeerd door de leerlingen van De Borgwal (Foto: Jimmy Israël)

ACTIVITEIT 3: HOE WERKT EEN COMPUTERBREIN?

Leerlingen berekenen aan de hand van invulschema's welke beslissing een computerbrein zou maken bij verschillende invoer.

Subthema's

- Menselijk brein
- Computerbrein

Doelen

- Leerlingen leren dat een computerbrein sterk is geïnspireerd op hoe het menselijk brein werkt.
- Leerlingen leren dat computers problemen oplossen door regels te volgen en berekeningen te maken.
- Leerlingen leren dat je een opdracht voor een computer kunt uitdrukken in getallen.
- Leerlingen ontdekken dat een computerbrein een beslissing maakt (output geeft) op basis van invoer, gewichten en drempelwaarde.

Duur

40 minuten

Werkvorm

In tweetallen

Benodigdheden

Per groepje:

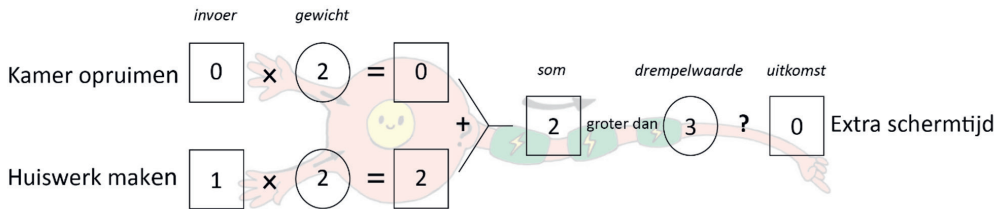
- PowerPoint 'Hoe werkt een computerbrein?' ●
- Per tweetal: Werkblad 'Hoe werkt een computerbrein?' ●
- Optioneel: Werkblad 'Extra uitdaging' ●

Activiteit

Leg aan de hand van de PowerPoint uit dat onderzoekers computerbreinen maken door goed te kijken naar wat een menselijk brein doet. Vertel vervolgens dat de leerlingen nu zelf gaan rekenen als een neuron. De leerlingen berekenen of ze extra 'schermtijd' (tijd op hun telefoon) krijgen van hun ouders. Die extra schermtijd hangt af van twee dingen: of ze hun kamer hebben opgeruimd, en of ze hun huiswerk hebben gemaakt. Ook speelt mee hoe belangrijk de ouders het vinden dat ze die taken doen, en hoe streng de ouders zijn.

Bespreek eerst samen het volgende voorbeeld. Een kunstmatig neuron krijgt altijd twee signalen als invoer: hebben ze wel of niet hun kamer opgeruimd en hebben ze wel of niet hun huiswerk gemaakt? Spreek het volgende af: als ze hun taak hebben gedaan, vullen ze een 1 in, als ze het niet hebben gedaan een 0. Vul de invoer van 'kamer opruimen' en 'huiswerk maken' in en reken de som uit. Bekijk of de waarde groter of kleiner is dan 3. Als het groter is dan 3, is het waar wat er staat: schrijf dan een 1 in het laatste hokje. Dat betekent dat je extra schermtijd krijgt. Als het kleiner dan 3 is, is het niet waar, dan schrijf je een 0 in het laatste hokje. Dat betekent dat je geen extra schermtijd krijgt. De leerlingen hoeven de details nog niet te begrijpen: in dit deel van de activiteit gaat het erom dat de leerlingen begrijpen dat een neuron meerdere signalen krijgt als invoer; en dat

die invoer leidt tot een bepaalde uitkomst (uitvoer). Een kunstmatig neuron werkt met 0 en 1; een menselijk neuron zou bij een waarde 1 vuren, en bij een waarde 0 niet vuren.



Geef de tweetallen vervolgens het werkblad en laat ze deel 1 van het werkblad invullen om te ontdekken wat de uitkomst is bij verschillende situaties.

Daarna kun je de leerlingen laten ontdekken wat er met de uitkomst gebeurt als ze drempelwaardes en gewichten variëren. De drempelwaarde betekent: wanneer het neuron genoeg activatie heeft ontvangen om te vuren. In het voorbeeld wordt dat gesymboliseerd door hoe streng de ouders zijn (vanaf wanneer mag het?). Het gewicht betekent: hoe sterk de neurale verbinding is. In het voorbeeld noemen we dat: hoe belangrijk de ouders de taak vinden. In deel 2 en 3 van het werkblad spelen de leerlingen met verschillende drempelwaardes en gewichten, voor een situatie waarin ze niet hun kamer hebben opgeruimd, maar wel huiswerk hebben gemaakt. Ze ontdekken voor die situatie hoe drempelwaardes en gewichten de uitkomst bepalen. Je kunt de leerlingen de ruimte geven om deze exercitie te herhalen voor een andere situatie, bijvoorbeeld: je hebt allebei de taken gedaan.

Afronding

Bespreek klassikaal na welke uitkomsten de leerlingen hebben gevonden. Maak nog een keer de vergelijking met het neurale netwerk: een neuron krijgt verschillende prikkels als invoer en gaat wel of niet vuren. Of hij wel of niet vuurt is afhankelijk van het soort prikkels, de sterkte van de verbinding, en of de hoeveelheid activatie een bepaalde drempelwaarde bereikt waarop het neuron gaat vuren. Gebruik de informatie bij 'Verbinding met het thema' om dit nader toe te lichten.

Verbinding met het thema

De werking van computerbreinen is geïnspireerd op hoe onze eigen hersenen prikkels verwerken. Onze hersenen hebben zo'n 100 miljard neuronen. Een neuron is een cel die elektrische spanningen kan maken. Een neuron krijgt input, de informatie van andere neuronen, via de zogenaamde dendrieten. Een neuron geeft informatie door aan andere neuronen, output, via een axon. Neuronen zijn met elkaar verbonden met synapsen, kleine onderbrekingen tussen dendrieten en axonen. In deze synapsen gebeurt de informatieoverdracht van het ene neuron (output, axon) naar het andere neuron (input, dendriet). De synapsen tussen twee neuronen kunnen sterker of zwakker zijn, waardoor een bepaald neuron een ander neuron meer of minder kan activeren. Als een bepaald neuron genoeg activatie van andere neuronen krijgt, wordt het neuron zelf ook actief. Op het moment dat een neuron actief wordt, genereert het een klein stroompje elektriciteit, de zogenaamde actiepotentiaal. Met dit actiepotentiaal genereert het neuron een stroompje over het axon, en geeft daarmee weer activiteit door aan synapsen met andere neuronen.

Met een computer proberen we de functie van zo'n neuron na te bootsen: we noemen het dan een kunstmatig neuron. Een kunstmatig neuron heeft net zoals een biologisch neuron één of meerdere ingangen en één of meerdere uitgangen. Afhankelijk van de waarden van de ingang geeft het kunstmatige neuron een waarde op de uitgang. Eigenlijk is de werking van een neuron een soort rekensom: door precies rekenstapjes uit te voeren kan je zien wat de waarde is op de uitgang. Hier hebben we met één neuron gewerkt. In werkelijkheid bestaan onze hersenen en dit soort computerbreinen uit miljoenen al dan niet miljarden neuronen en kunnen dus enorm complexe taken leren, zoals robots aansturen en spelletjes spelen.

Tip

Deze activiteit leent zich uitstekend voor extra uitdaging. Geef de leerlingen het werkblad 'Extra uitdaging' en laat ze bijvoorbeeld stoeien met vragen als:

- Hoe moeten de waarden van de gewichten of drempelwaarde ingesteld worden zodat je extra schermtijd krijgt als tenminste een van de taken gedaan zijn?
- Hoe moet je de gewichten of drempelwaarde instellen zodat je altijd extra schermtijd krijgt als je je huiswerk hebt gemaakt?
- Hoe moet je de gewichten of drempelwaarde instellen zodat je altijd extra schermtijd krijgt als je je kamer hebt opgeruimd?
- Hoe moet je de gewichten of drempelwaarde instellen zodat je nooit extra schermtijd krijgt?
- Hoe moet je de gewichten of drempelwaarde instellen zodat je altijd extra schermtijd krijgt?



Een leerling van De Borgwal rekent uit of deze neuron wel of niet zal vuren (Foto: Jimmy Israël)

ACTIVITEIT 4: PRATEN MET MACHINES

Leerlingen ervaren door te tekenen wat het verschil is tussen informatie overdragen aan mensen en aan machines.

Subthema

Verskil mens en machine

Doelen

- Leerlingen worden zich bewust dat mensen en machines op een andere manier communiceren.
- Leerlingen ervaren hoe het is om, net als machines, alleen exacte instructies op te volgen.
- Leerlingen leren dat mensen bij het uitvoeren van een taak gebruik maken van kennis en verwachtingen, terwijl een machine dit niet kan.

Duur

30 minuten

Werkvorm

Eerst in tweetallen, dan in viertallen

Benodigheden

Per tweetal:

- Afbeelding 1 
- Potlood en papier

Per viertal:

- 1x Werkblad 'Machine-instructies' 
- 3x Potlood en papier

Voor klassikaal gebruik:

- Afbeelding 2 
- Eventueel: Filmpje waarin een mens instructies opvolgt op de manier waarop een machine dat zou doen. 

Vorbereiding

Bij deel 2 mogen de drie leerlingen die tekenen niet van elkaar zien wat ze tekenen. Mogelijk wil je dus wat schuiven met tafels, zodat de leerlingen bijvoorbeeld met de rug naar elkaar toe zitten.

Activiteit

Deel 1: Menselijke instructies

Verdeel de klas in tweetallen en geef elk tweetal afbeelding 1. Zorg er hierbij voor dat maar één van de twee leerlingen de tekening te zien krijgt. Deze leerling krijgt de rol van verteller, de andere leerling is tekenaar. Het is nu de bedoeling dat de tekenaar de afbeelding zo precies mogelijk natekent op basis van de instructies van de verteller. De verteller omschrijft zo precies mogelijk wat er op de tekening te zien is en mag daarbij de tekenaar ook bijsturen. De tekenaar kan vragen stellen om dingen duidelijker te krijgen. De enige regel is dat de tekenaar de afbeelding niet mag zien.

Vraag daarna klassikaal hoe dit ging. Lijkt de tekening op het origineel? Lijken de tekeningen van de verschillende tweetallen op elkaar? Was het moeilijk of makkelijk om de tekening na te maken? Hoe heeft de verteller het aangepakt? Hoe was het voor de tekenaar om vragen te kunnen stellen? Leg uit dat machines niet op dezelfde manier als mensen kunnen communiceren. Vertel dat ze nog een keer een tekenopdracht gaan doen om dit verschil te ervaren.

Deel 2: Machine-instructies

Verdeel de klas nu in viertallen. Eén van de vier leerlingen krijgt de rol van verteller. Deze krijgt het werkblad uitgedeeld. De andere drie leerlingen zijn weer tekenaars en mogen niet van elkaar zien wat ze tekenen. De verteller leest nu stap voor stap de tekeninstructies van het werkblad voor, de tekenaars volgen de gesproken instructies zo precies mogelijk op. De verteller mag niets anders vertellen dan wat er op het werkblad staat. De tekenaars mogen geen vragen stellen. Het is essentieel dat zowel de verteller als de tekenaars nog niet weten hoe de tekening eruit moet komen te zien. Vertel dus niet wat er op de afbeelding staat!

Afronding

Rond af met een klassengesprek. Wat viel de leerlingen op bij de tweede keer tekenen? Waren de instructies anders dan bij het tekenen in tweetallen? Op welke manier? Was het moeilijker of makkelijker dan de eerste keer? Wat gebeurde er tijdens het tekenen, hadden ze een bepaalde verwachting wat het zou worden? Wat denken ze dat ze getekend hebben? Laat afbeelding 2 zien op het bord. Lijken de tekeningen erop? Zijn de tekeningen hetzelfde geworden? Hoe zou het kunnen dat de tekeningen anders zijn? Denken ze dat het mogelijk is om te eindigen met drie precies dezelfde tekeningen? Hebben ze ideeën hoe je de instructies zou kunnen verbeteren?

Als afsluiting kun je het (Engelstalige) filmpje laten zien van een vader die instructies van zijn kinderen opvolgt bij het smeren van een boterham met pindakaas en jam. Hij doet zijn best om de instructies zo letterlijk mogelijk op te volgen, waardoor het smeren van de boterham op hilarische wijze steeds mis gaat. Dit geeft een goede indruk van hoe moeilijk het is om instructies te schrijven die precies genoeg zijn voor een computer.

Verbinding met het thema

Machines kunnen niet op dezelfde manier als mensen communiceren. Hun handelen wordt gestuurd door voorgeprogrammeerde regels. Mensen gebruiken bij hun handelen continu hun voorkennis en verwachtingen. In deel 1 van deze activiteit ervaren de leerlingen bij het tekenen van de hamer dat ze gebruik maken van hun herinneringen en kennis over hoe een hamer eruit ziet. Ook merken ze of het uitmaakt dat je kunt overleggen en elkaar vragen kunt stellen. Machines kunnen alleen exact de instructies opvolgen die je ze geeft. In deel 2 ervaren leerlingen de noodzaak om deze instructies heel precies te maken, om tot het gewenste resultaat te komen. Ook ervaren ze bij het tekenen dat wij als mensen al gauw een verwachting hebben over wat we aan het tekenen zijn.

ACTIVITEIT 5: CREATIEVE MACHINES

Leerlingen onderzoeken of een computer of een mens beter kan raden wat ze tekenen; en ze gebruiken een webapplicatie waarmee een computer kunst kan maken.

Subthema's

- Computerbrein
- Verschil mens en machine

Doelen

- Leerlingen ontdekken dat computers objecten kunnen herkennen uit lijntekeningen.
- Leerlingen ervaren de verschillen tussen hoe goed computers en mensen objecten kunnen herkennen.
- Leerlingen denken na over de creativiteit van computers.

Duur

30 minuten

Werkvorm

In drietallen

Benodigheden

Per groepje:

- Een computer/tablet/telefoon met:
 - internetverbinding
 - de website van AutoDraw 
 - de website van GauGAN 
- Eventueel: Vertaling website GauGAN 

Activiteit

Deel 1: Schetsen

Laat de leerlingen naar de website van AutoDraw gaan en hen uitvinden hoe deze werkt. De site probeert te voorspellen wat je schetst en kan dan de schets omzetten naar een pictogram. Hoe goed is de website in het herkennen van wat de leerlingen tekenen? Leert de website om betere voorspellingen te maken, naarmate ze meer tekenen? Zijn er dingen die ze kunnen doen om de computer te 'helpen' om hun schets te herkennen?

Vervolgens onderzoeken de leerlingen wie sneller goed kan voorspellen wat er getekend wordt: de computer of de mens. Verdeel de rollen in het groepje: één leerling tekent, één leerling raadt en één leerling is scheidsrechter. De leerling die tekent, vertelt aan de scheidsrechter wat hij/zij gaat tekenen zodat deze weet wanneer de computer als eerste het juiste antwoord geeft. De leerling die raadt, probeert zo snel mogelijk te ontdekken wat er getekend wordt. De scheidsrechter luistert goed naar wat er geraden wordt én kijkt of de computer het goede antwoord als eerste suggestie geeft. De scheidsrechter kan eventueel ook bijhouden wie won, zodat de leerlingen achteraf zien of de mens of de computer het beste kon voorspellen. De leerlingen herhalen dit spel een aantal keer en wisselen daarbij van rol. Bespreek de activiteit klassikaal na. Wie was er beter in voorspellen wat er

getekend werd: de leerlingen of de computer? Wanneer was het lastig voor het computerbrein? Wat mist een computerbrein wat wij als mens wel hebben? Je kunt het gesprek verdiepen door verder in te gaan op creativiteit: computerbreinen kunnen dus een schets omzetten in een pictogram. Maar zouden computerbreinen ook 'echte kunst' kunnen maken? Waarom wel/niet?

Deel 2: Kunst maken

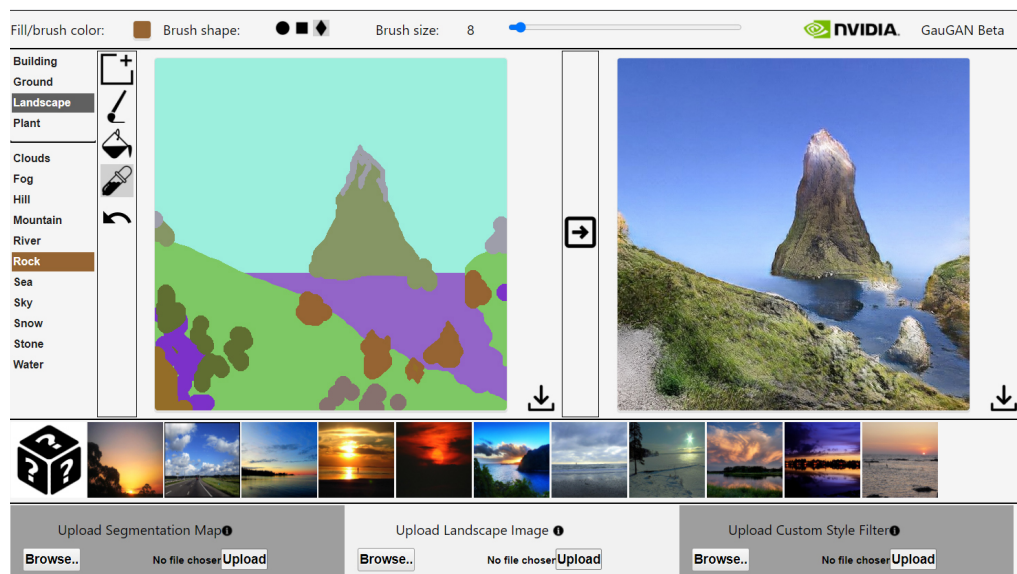
Laat de groepjes met behulp van de webapplicatie GauGAN een realistische landschapsfoto maken. De webapplicatie is in het Engels, je kunt de leerlingen daarom de vertaling geven om beter te weten wat de mogelijkheden zijn. Laat de leerlingen een schets maken van een landschap. De computer zet vervolgens de lijnen en vlakken om naar hoe het denkt dat dit er in het echt uit zou zien.

Afronding

Bespreek klassikaal: Hoe creatief zijn fantaserende computerbreinen? Kan een computer kunst maken? Vinden de leerlingen deze schilderijen mooi? Waarom wel/niet? Is dit echte kunst? En wie heeft het schilderij eigenlijk gemaakt: zij, de computer of de mensen die het computerprogramma hebben geschreven?

Verbinding met het thema

Hoe nemen mensen en machines 'waar'? In deze activiteit ervaren leerlingen hoe computers uit simpele lijnen objecten (dingen, dieren, mensen enzovoorts) herkennen. Dit is iets wat mensen ook doen: bij menselijke waarneming speelt, net zoals bij computers, wat ze denken te zien/voorspellen op grond van wat ze eerder zagen een belangrijke rol. Deze informatie wordt gecombineerd met wat ze werkelijk zien en zo komen ze tot de conclusie wat ze zien. In de activiteit over visuele illusies hebben de leerlingen kunnen ervaren dat dit er soms toe kan leiden dat wat je waarneemt en wat er werkelijk is, niet altijd overeen komt. In deze activiteit maken leerlingen 'kunst' met een menselijke machine. Hier speelt creativiteit een rol, een menselijke vaardigheid die nog moeilijk te programmeren is in computers.



Met behulp van webapplicatie GauGAN verander je een grove schets in een realistische landschapsfoto (Afbelding: screenshot van GauGAN)

ACTIVITEIT 6: WAT MOGEN ROBOTS WEL OF NIET BESLISSEN?

Leerlingen gaan met elkaar in debat en denken na over wie er verantwoordelijk is als een robot een beslissing maakt die serieuze gevolgen heeft.

Subthema

Wie is verantwoordelijk?

Doelen

- Leerlingen ontdekken met welke vraagstukken je te maken kunt krijgen bij gebruik van slimme technologie.
- Leerlingen leren na te denken over wie er allemaal betrokken zijn bij gebruik van slimme technologie.
- Leerlingen leren dat er voor sommige vraagstukken geen goed antwoord is, maar dat er dan toch een keuze moet worden gemaakt.

Duur

60 minuten

Werkvorm

Klassikaal (deel 1) en in vier- of vijftallen (deel 2)

Benodigheden

- Afbeelding ter illustratie van de casus
- Werkblad 'Schuldig of niet?'
- Online poll (zie voorbereiding)

Vorbereiding

Maak een online poll aan (bijvoorbeeld in Mentimeter) zodat de leerlingen anoniem kunnen stemmen. Bij Mentimeter maak je daarvoor eerst een account. Stel het als volgt in:

- Vraag: Welke route zou jij kiezen?
- Antwoordopties: meerkeuze, slechts 1 antwoord mogelijk
 - A. De auto rijdt tegen de muur.
 - B. De auto volgt de route waarop een groep oudere mensen staat te kletsen.
 - C. De auto rijdt tegen de stapel losliggende boomstronken.
 - D. De auto volgt de route waarop een groep kinderen zit te spelen.



Vier scenario's waarin zelfrijdende auto's een ongeluk kunnen veroorzaken (Illustratie: Adam Simpson)

Activiteit

Deel 1: Wat is de juiste keuze?

Leg uit dat zelfrijdende auto's in situaties kunnen komen waarin ze een ongeluk niet kunnen vermijden. Laat de afbeelding zien op het digibord en geef aan uit welke vier mogelijke routes de auto kan kiezen (zie voorbereiding). Licht deze verschillende opties niet toe. Vraag de leerlingen via Mentimeter (anoniem) aan te geven wat zij de beste beslissing vinden. Benadruk dat er geen goede of foute antwoorden zijn.

Praat daarna met de klas door over de keuzes van de leerlingen en bespreek wat er zou kunnen gebeuren. Waarom denken de leerlingen dat hun keuze de juiste is? Maakt het uit hoeveel mensen er betrokken zijn bij een ongeval? Maakt het uit of het om ouders of kinderen gaat? Wanneer zou de auto moeten kiezen om de inzittende van de auto op te offeren? Geef aan dat er verschillende voor- en nadelen aan alle keuzemogelijkheden zitten. Denk aan:

- A. De auto kan tegen de muur rijden. Dan is de auto total loss en is de kans groot dat de inzittende het niet overleeft. Er worden geen andere mensen geraakt.
- B. De auto kan een route volgen waarop een groep oudere mensen staat te kletsen. De kans is groot dat de personen niet op tijd weg kunnen komen en dus (mogelijk dodelijk) geraakt worden. De auto zal weinig schade hebben en de inzittende heeft een grote kans om te overleven, maar wel risico op letsel.
- C. De auto kan tegen de stapel boomstronken rijden. Dan heeft de auto schade. De inzittende heeft een grote kans om te overleven, maar wel risico op blijvend letsel. Als de auto op de boomstronken botst zullen die in de rondte vliegen, waardoor er een risico bestaat dat alle personen op straat geraakt worden.
- D. De auto kan een route volgen waarop een groep kinderen zit te spelen. De kans is groot dat de kinderen niet op tijd weg kunnen komen en dus (mogelijk dodelijk) geraakt worden. De auto zal weinig schade hebben en de inzittende heeft een grote kans om te overleven, maar wel risico op letsel.

Deel 2: Wie is er verantwoordelijk?

Laat de leerlingen nadenken over wie het ongeluk heeft veroorzaakt. Wie heeft er schuld? Geef ieder groepje de rol van één van de volgende betrokkenen: de eigenaar van de auto die in de auto zit, de auto zelf, de programmeur van de software van de auto en de minister (overheid).

Vraag de groepjes om voor hun betrokkene minstens twee redenen te bedenken waarom zij niet verantwoordelijk zijn voor het ongeluk, en voor alle andere betrokkenen één reden waarom zij juist wel verantwoordelijk zijn. Ze schrijven hun redenen op het werkblad.

Je kunt bijvoorbeeld denken aan:

Wie	Waarom zou deze betrokkene schuldig zijn?
Eigenaar van de auto die in de auto zit	• Zij zou misschien de veiligheid van de auto moeten controleren. • Zij zorgt ervoor dat dit soort auto's de straat op gaan. • Zij had op kunnen letten en de onveilige situatie kunnen voorkomen.
Auto zelf	• De auto zou "intelligent" zijn en maakt immers "zelf" de keuzes. • De auto is degene die ergens op in rijdt.
Programmeur van de software in de auto	• Zij heeft de technologie gemaakt en kan een fout hebben gemaakt. • Zij heeft de mogelijke keuzes geprogrammeerd. • Zij heeft misschien niet genoeg nagedacht over welke situaties er allemaal kunnen voorkomen.
Minister	• Zij heeft besloten zelfrijdende auto's toe te staan op de weg. • Zij bepaalt de eisen aan fabrikanten. • Zij is verantwoordelijk voor de veiligheid van de mensen op straat.

Daarna gaan de groepjes met elkaar in debat: één voor één verdedigen de groepjes hun rol. De overige leerlingen reageren en geven aan waarom zij denken dat ze juist wel schuldig zijn. De groep die voor de klas staat mag zich verdedigen. Jij bent als leraar de procesbegeleider.

Afronding

Rond af met een klassengesprek. Vraag de leerlingen opnieuw, nu ze de redenen van alle betrokkenen hebben gehoord, wie verantwoordelijk is/zijn in deze situatie. Kunnen jullie als klas samen tot een conclusie komen? Of blijven de meningen verdeeld? Het is belangrijk is dat leerlingen inzien dat dit altijd een ingewikkelde vraag zal blijven, omdat er geen juist antwoord is, maar dat er wel een keuze wordt verlangd. Iemand moet verantwoordelijk worden gehouden. Maar hoe maak je een keuze als er geen juiste is? Laat de leerlingen inzien dat het belangrijk is dat we samen blijven nadenken en praten over dit soort ingewikkelde vraagstukken (zie ook 'Verbinding met het thema').

Verbinding met het thema

De activiteit laat leerlingen nadenken over de impact van slimme technologie en de verschillende betrokken groepen bij de toepassing van die technologie. Doordat dit soort technologie steeds vaker voorkomt en tegelijk intelligenter en meer geautomatiseerd wordt, is het steeds lastiger om te bepalen wie er de controle heeft over het systeem. Dit betekent dat steeds meer mensen betrokken zijn. Maar het is vaak lang niet duidelijk wie van deze betrokkenen verantwoordelijk zijn voor eventuele foutieve uitkomsten van slimme technologie. Deze overwegingen spelen een rol bij de ontwikkeling van slimme technologie. In deze activiteit wordt de leerlingen gevraagd een bepaald standpunt in te nemen, en zich in te leven in de andere betrokkenen. Leerlingen leren hierdoor dat er meerdere personen zijn die beschuldigd kunnen worden in deze situatie, en dat de schuld zelfs bij de machines gelegd kan worden.



Stap 3 t/m 5. Opzetten onderzoek, uitvoeren en concluderen

Hieronder staan drie voorbeelden van onderzoeksvragen. Deze voorbeelden geven een beeld van de soort vragen die leerlingen over het thema 'Menselijke machines' zouden kunnen stellen. Als gevolg van de sluiting van scholen door COVID-19 zijn de leerlingen van Daltonbasisschool De Borgwal in Bommel er zelf niet aan toegekomen om vragen te bedenken.

Heb je een andere mening over computerkunst als je veel van kunst houdt?

Subthema: Verschil mens en machine

In activiteit 5 hebben de leerlingen kennisgemaakt met GauGAN, een webapplicatie die realistische 'schilderijen' maakt. Maar zijn schilderijen gemaakt door een computer eigenlijk echt kunst? En vinden kunstliefhebbers dit ook, of denken zij hier anders over? Om dit te onderzoeken interviewen de leerlingen proefpersonen uit hun omgeving. Daarvoor zoeken ze ouders of kennissen die veel van kunst houden en evenveel proefpersonen die dit juist niet hebben. Aan het begin van ieder interview laten ze de proefpersoon kennismaken met GauGAN door ze een aantal landschappen te laten schetsen en die om te zetten in een schilderij. Vervolgens vragen ze of de proefpersoon vindt dat computers echte kunst kunnen maken. Waarom wel of juist niet? Is er een verschil tussen de antwoorden van de kunstliefhebbers en de andere groep?



Leerlingen van De Borgwal schrijven hun vragen op een Post-it om deze vervolgens op hun vragenmuur te plakken (Foto: Merel van 't Leven)

Is Aipoly beter in het herkennen van levende wezens dan levenloze objecten?

Subthema: Computerbrein

De leerlingen hebben ervaren dat de Aipoly app vrij goed is in objectherkenning, maar dat de app ook nog veel fouten maakt. Zou er een patroon zitten in welke dingen de app juist wel, of juist niet herkent? Is de app bijvoorbeeld beter in het herkennen van levende wezens, zoals dieren en planten, of maakt de app juist minder fouten bij het herkennen van objecten zoals een pen, boek of klok? Om deze voorspelling te onderzoeken bekijken de leerlingen twintig levende en twintig levenloze dingen. Iedere keer noteren ze of de app het goed heeft, en zo niet dan noteren ze wat de app wel dacht wat het was. Om de metingen eerlijk te maken, zorgen de leerlingen ervoor dat er geen andere voorwerpen in beeld zijn. Was het voor de app makkelijker om levende wezens of levenloze objecten te herkennen? En als de app het fout had, was de verkeerde gok dan vaker een levenloos object of juist een levend wezen?

Hoe denken grootouders over zelfrijdende auto's?

Subthema: Wie is verantwoordelijk?

Bij de laatste activiteit hebben de leerlingen geleerd dat het mogelijk is dat zelfrijdende auto's in gevaarlijke situaties terechtkomen. Wat vinden mensen er eigenlijk van om hun veiligheid over te laten aan een helemaal computergestuurde auto? Hoe zou dit zijn voor ouderen? Hoe veilig zouden zij zich voelen? Zouden ze in durven stappen? Leerlingen kunnen dit onderzoeken door interviews af te nemen bij hun grootouders. Ze beginnen met een korte uitleg over een zelfrijdende auto. Daarna vragen ze of de proefpersoon zich veilig zou voelen in een zelfrijdende auto. Waarom wel of niet? Hierna vragen ze of dit anders is in een auto die ze zelf besturen. Voelen ze zich juist veiliger of onveiliger? En waarom? Ze sluiten het interview af met de vraag of de proefpersoon bereid zou zijn om met een zelfrijdende auto over de snelweg te rijden terwijl ze zelf helemaal geen invloed hebben op het stuur. Waarom wel of niet? Maakt het daarbij uit of ze in de bebouwde kom rijden, en waarom? Vervolgens vergelijken ze de antwoorden van de interviews. Valt er iets op aan de antwoorden? Zijn er veel overeenkomsten of juist verschillen tussen de meningen? Vinden de grootouders iets anders dan de leerlingen van tevoren hadden verwacht?

Wetenschapsknooppunt Radboud Universiteit

Dit boek is een uitgave van het Wetenschapsknooppunt Radboud Universiteit (WKRU). Het WKRU is in 2009 opgericht als eerste Wetenschapsknooppunt van Nederland. Het WKRU heeft als missie de nieuwsgierige en onderzoekende houding van kinderen en (aankomend) leraren te bevorderen. Om dit te bereiken organiseert het WKRU diverse activiteiten waarbij een verbinding wordt gelegd tussen onderzoekers van de Radboud Universiteit en het Radboudumc; het basisonderwijs; en studenten, docenten en onderzoekers van het Onderwijsinstituut Pedagogische Wetenschappen en Onderwijskunde (Radboud Universiteit) en de Faculteit Educatie (Hogeschool van Arnhem en Nijmegen).

Expertise

De expertise van het WKRU ligt in het begeleiden van eigen onderzoek door leerlingen. Het WKRU ontwikkelt voorbeeldprojecten, materialen en hulpmiddelen die leraren kunnen inzetten om wetenschap in de klas te brengen en die als basis dienen voor het eigen onderzoek door leerlingen. Deze materialen zijn beschikbaar via www.wetenschapdeklasin.nl. De kennis en ervaring van het WKRU blijft zich continu ontwikkelen. Dit gebeurt op basis van inzichten uit de literatuur, ervaringen in de klas, eigen onderzoek en uitwisseling met collega-onderzoekers in het vakgebied. Naast deze boekenreeks publiceert het WKRU ook regelmatig in vaktijdschriften en wetenschappelijke tijdschriften. Een overzicht van alle artikelen van het WKRU is te vinden op onze websites.

Activiteiten

Het WKRU biedt verschillende activiteiten aan voor leraren (in opleiding), scholen en onderzoekers. Elk jaar ontwikkelen drie Radboud Science Teams, bestaande uit onderzoekers, leraren en leraren in opleiding, onder leiding van het WKRU een project over een actueel wetenschappelijk thema. Het uitgangspunt van alle projecten is dat leerlingen zelf onderzoek kunnen doen naar het thema. De opbrengsten van deze teams worden geborgd in de boekenreeks Wetenschappelijke doorbraken de klas in! Daarnaast organiseert het WKRU jaarlijks de Winterschool, een professionaliseringsdag over wetenschap en onderzoekend leren. Gedurende het schooljaar wordt professionalisering voor schoolteams aangeboden in het begeleiden van onderzoekend leren. Radboud-onderzoekers kunnen bij het WKRU terecht voor advies op het gebied van wetenschapseducatie en hulp bij de voorbereiding van een interessante les voor een basisschoolklas. Alle activiteiten van het WKRU zijn te vinden op www.wkru.nl.

Financier

Het werk van het WKRU wordt mogelijk gemaakt door de Radboud Universiteit, met als aanvullende sponsor het Radboudumc.

www.wkru.nl

www.wetenschapdeklasin.nl



@WKRU1



[linkedin.com/company/wkru](https://www.linkedin.com/company/wkru)



@wkrunijmegen



@wkrunijmegen

Over de boekenreeks

De boekenreeks *Wetenschappelijke doorbraken de klas in!* is een uitgave van het Wetenschapsknooppunt Radboud Universiteit (WKRU). Met deze boeken wil het WKRU (aankomend) leraren en leerlingen uit de bovenbouw van het basisonderwijs kennis laten maken met toponderzoek van de Radboud Universiteit. Het gaat daarbij om wetenschap in de volle breedte, dus alfa-, bèta-, gamma- en medisch-onderzoek. De boeken zijn een bron van inspiratie voor leraren om wetenschap de klas in te brengen en leerlingen eigen onderzoek te laten doen.

Wetenschappelijke thema's de klas in

De Radboud Universiteit reikt elk jaar de Radboud Science Awards uit aan drie topwetenschappers die in het afgelopen jaar een belangrijke doorbraak hebben gehad in hun onderzoeksgebied. Samen met leraren (in opleiding) en het WKRU vormen de winnaars een Radboud Science Team. Met het team ontwikkelen ze een set activiteiten waardoor leerlingen kennis opdoen over de inhoud van het onderzoek en de manier van onderzoek doen. De bedoeling is dat leerlingen enthousiast en nieuwsgierig worden en dat er veel vragen bij hen opkomen. Uiteindelijk formuleren de leerlingen in groepjes één vraag die ze zelf gaan onderzoeken.

Na afloop van het project beschrijven de onderzoekers de inhoudelijke achtergrond van het thema. Deze wordt samen met de ervaringen en activiteiten in de klas gebundeld tot een hoofdstuk in de boekenreeks *Wetenschappelijke doorbraken de klas in!*. Het boek wordt gepresenteerd op de Winterschool van het WKRU. Tijdens deze professionaliseringsdag op het gebied van wetenschap en onderzoekend leren geven de winnende onderzoekers een inhoudelijke lezing over het thema. Daarnaast geven de Radboud Science Teams een workshop aan collega-leraren, leraren in opleiding en pabo-docenten. Met de inzichten uit de Winterschool kunnen zij met de thema's en onderzoekend leren aan de slag in de klas.

Leidraad onderzoekend leren

Bij de boekenreeks hoort een leidraad onderzoekend leren (Van Baren-Nawrocka & Dekker, 2019). Leraren kunnen met behulp van deze leidraad een project onderzoekend leren vormgeven in de klas. In de leidraad staat een uitgebreide beschrijving van de zeven stappen van onderzoekend leren. Het biedt handvatten en suggesties voor de manier waarop de leraar de leerlingen kan begeleiden bij het onderzoeksproces. De leidraad wordt ontwikkeld door het WKRU en regelmatig herzien op basis van nieuwe inzichten uit de literatuur en ervaringen in de klas. De meest recente versie is altijd online beschikbaar op de website www.wetenschapdeklasin.nl.

Website met aanvullend materiaal

Aan de boekenreeks is een website gekoppeld, www.wetenschapdeklasin.nl, waar per thema alle activiteiten en benodigde materialen (zoals werkbladen en filmpjes) te vinden zijn. Daarnaast bevat de website veel informatie over onderzoek door leerlingen, zoals de leidraad onderzoekend leren, alle hulpmiddelen van het WKRU, voorbeelden uit de praktijk, artikelen en links naar verdiepende informatie. Met uitzondering van het laatste boek staan tevens alle thematische hoofdstukken in digitale vorm op deze website.

Thema's per boek

Boek 10	Levende cellen – Wat maakt een cel een cel, en hoe zorg je dat namaakcellen blijven leven? Gedachte-experimenten – Wat gedachte-experimenten ons kunnen leren Menselijke machines – Wat is het verschil tussen menselijke en kunstmatige intelligentie? + een didactisch hoofdstuk: 'Creatief denken stimuleren'
Boek 9	Sport – Wat is het effect van intensief sporten op de gezondheid van ons hart? Slimme computers – Hoe kunstmatige intelligentie dokters kan helpen bij het stellen van een diagnose Automatisch gedrag – Het nut van automatisch gedrag en hoe lastig het is om het te onderdrukken + een didactisch hoofdstuk: 'Dialogische gesprekken voeren: Hoe doe je dat?'
Boek 8	Kleding – Wat zegt kleding over onze identiteit en welke impact heeft kleding op mens en milieu? Magneten – Ontdek hoe magneten werken en welke invloed licht hierop heeft Protest – Staken is besmettelijk: hoe werkt die beïnvloeding door anderen? + een didactisch hoofdstuk: 'Vragen wat je echt wilt weten'
Boek 7	Malaria – Hoe worden muggen door mensen besmet met malaria? Jheronimus Bosch – Wat maakt deze schilder zo bijzonder? Geheugen – Hoe kun je het best dingen onthouden? + een didactisch hoofdstuk: 'Nieuwsgierig door observeren'
Boek 6	Molecuulbotsingen – Eigenschappen van botsende moleculen bij extreem lage temperaturen Stress – Ontdek verschillende manieren waarop je op stress kunt reageren Taal der zintuigen – De invloed van taal en cultuur op zintuiglijke waarnemingen + een didactisch hoofdstuk: 'Begeleiden vanuit een groeimindset'
Boek 5	Typisch Nederlands – Kenmerken en vorming van de Nederlandse identiteit Elkaar begrijpen – Hoe komt het dat we elkaar begrijpen? Het oog – De werking van het oog en wat er mis kan gaan + een didactisch hoofdstuk: 'Het begint met nieuwsgierigheid'
Boek 4	Het Higgsdeeltje – De ontdekking van het deeltje dat zorgt dat dingen gewicht hebben Netwerken in het brein – Hoe werkt ons brein en wat is de relatie met DNA? Het wonderkind David Gorlaeus – Wat voor invloed heeft leeftijd en ervaring op ons denken?
Boek 3	Waarnemen en bewegen – De relatie tussen waarnemingen en het coördineren van bewegingen Onder invloed – De invloed van de omgeving op risicovol gedrag Gevaarlijke ideeën – Het verband tussen ideeën en veranderende regels in de maatschappij
Boek 2	DNA – Erfelijkheid en kopieerfoutjes in je DNA die je leven kunnen bepalen Gedrag – Hoe zorgen je hersenen ervoor dat je verleidingen kunt weerstaan? Infecties onder de loep – De groei en eigenschappen van bacteriën en schimmels
Boek 1	Angst – Wat is angst en hoe kun je het beïnvloeden? Grafeen – Wat zijn de verschillende unieke eigenschappen van grafeen? Denkbeelden over het begin – Hoe tijd, plaats en cultuur onze denkbeelden bepalen

Engelse uitgave

Scientific breakthroughs in the classroom: Language of the senses, DNA, Understanding each other & Higgs boson (2017)

Foto- en illustratieverantwoording

Veel van de foto's en een aantal illustraties in dit boek vallen niet onder de Creative Commons Licentie, hetzij omdat ze onder het copyright van derden vallen, hetzij omdat er kinderen op staan, waardoor geen toestemming voor hergebruik kan worden gegeven. Hieronder volgt een lijst met de foto's en illustraties in dit boek, met bijbehorende licentievorm.

Foto's met kinderen zijn hieronder niet apart vermeld, deze vallen alle onder het copyright van het Wetenschapsknooppunt Radboud Universiteit © 2021 WKRU. Deze foto's mogen wel worden gebruikt in een integrale kopie van minimaal twee pagina's.

Hoofdstuk 1: Creatief denken stimuleren

- Leerkrachten sorteren rommeltjes tijdens de Winterschool, © 2021 WKRU 10
- Kinderen sorteren jassen, tassen en zichzelf, © 2012 Anouk Wissink 13
- Leraren zoeken categorieën tijdens de Winterschool, © 2020 David van der Kooij 14
- Kinderen bedenken en vertellen verhalen, © 2020 Anouk Wissink 15
- Slaaplepel en gaaplamp, © 2015 David van der Kooij 16
- Leerkrachten passen creatieve denkstrategieën toe, © 2021 WKRU 17

Hoofdstuk 2: Levende cellen namaken

- Dr. Evan Spruijt, © 2019 WKRU 22
- Voorbeelden van cellen, aangepast van: Verschillende biologische cellen op een witte achtergrond, door brgfx, Freepik Licentie (bron: Freepik.com) 23
- Schematische weergave van celdeling, CC BY-NC-SA 4.0 Alain André 24
- Druppels olie in water, CC BY-NC-SA 4.0 WKRU 26
- Coacervaten, CC BY-NC-SA 4.0 Alain André en Merlijn van Haren 26
- Delende synthetische cel, CC BY-NC-SA 4.0 Esra te Brinke 29
- Moleculen, CC BY-NC-SA 4.0 WKRU, samengesteld uit: 30
 - Water, CC BY 2.0 Aqua Mechanical, (bron: flickr.com)
 - Koolstofdioxide, door Pixource, Pixabay Licence (bron: pixabay.com)
 - Suiker, door pasja1000, Pixabay Licence (bron: pixabay.com)
 - Moleculen, CC BY-NC-SA 4.0 Merlijn van Haren
- Emulsies met en zonder emulgatoren, CC BY-NC-SA 4.0 WKRU, samengesteld uit: 31
 - Reageerbuisjes, CC BY-NC-SA 4.0 Merlijn van Haren
 - Water en olie, CC BY-NC-SA 4.0 WKRU
 - Mayonaise, CC BY-SA 3.0 Kliek (bron: commons.wikimedia.org)
- Schaatsenrijder, door Jasmin990, Pixabay License (bron: pixabay.com) 31
- Coacervaten gemaakt met polymeren, CC BY-NC-SA 4.0 WKRU, onderdeel: 32
 - Waterdruppel, door OpenClipart-Vectors, Pixabay License (bron: pixabay.com)
- Eiwit FtsZ, CC BY-NC-SA 4.0 Esra te Brinke en Evan Spruijt 33

Hoofdstuk 3: Gedachte-experimenten

- Prof. dr. Carla Rita Palmerino, © 2019 WKRU 58
- Het geocentrische wereldbeeld, door Andreas Cellarius, publiek domein (bron: commons.wikimedia.org) 62

• Het heliocentrische wereldbeeld, door Andreas Cellarius, publiek domein (bron: commons.wikimedia.org)	63
• Portret van Galileo Galilei, geschilderd door Justus Sustermans, publiek domein (bron: commons.wikimedia.org)	66
• De schijngestalten van Venus, Galileo Galilei, publiek domein (bron: the-galileogalilei.tumblr.com)	67
• Galileo's Dialoog over de twee voornaamste wereldsystemen, door Giovanni Battista Landini, publiek domein (bron: commons.wikimedia.org)	68

Hoofdstuk 4: Menselijke machines

• Prof. dr. Marcel van Gerven, © 2019 WKRU	92
• Speelgoedrobot, door Gerhard Janson, Pixabay License (bron: pixabay.com)	93
• Communicatie tussen neuronen, door Sabar, publiek domein (bron: wikimedia.commons.org)	94
• Neuraal netwerk, aangepast van: CC BY 1.0 Dake en Mysid (bron: wikimedia.commons.org)	95
• Voorspellingen maken op de tennisbaan, CC BY-NC-SA 4.0 WKRU, onderdeel: - Tennisser, door Annalise Batista, Pixabay license (bron: pixabay.com)	95
• Metingen van Van Gerven en zijn team, CC BY 2.0 Nadine Dijkstra	96
• Een robot die voorspellingen maakt, door Pablo Lanillos, publiek domein	97
• Hersenactiviteit zoals gemeten door een MRI-scanner, CC BY-SA 4.0 Ellert Nijenhuis (bron: wikimedia.commons.org)	99
• De schaduwillusie van Alderson, CC BY 4.0 Edward H. Adelson (bron: wikimedia.commons.org)	100
• Illustratie van singulariteit, CC BY-NC-SA 4.0 WKRU	101
• Kunstmatige neuron, CC BY-NC-SA 4.0 WKRU, aangepast van: - Neuron, door Denise van Baalen, publiek domein	112
• Webapplicatie GauGAN, schermafbeelding van http://nvidia-research-mingyuliu.com/gaugan/ , programma gemaakt door NVIDIA, onder MIT license	117
• De beslissing van een zelfrijdende auto, © 2019 Adam Simpson	118

De uitgever heeft uiterste zorgvuldigheid betracht in het achterhalen van de auteursrechten van het illustratiemateriaal in deze uitgave. Mocht u van mening zijn (auteurs)rechten te kunnen doen gelden op illustratiemateriaal in deze uitgave, dan verzoeken wij u om contact op te nemen met de uitgever.

Financiers

Het WKRU wordt mogelijk gemaakt door:

Radboud Universiteit



Aanvullende sponsor:

Radboudumc