

Wetenschappelijke doorbraken de klas in!

Sport, Slimme computers en Automatisch gedrag

Jan van Baren-Nawrocka, Sanne Dekker & Miriam de Boer (redactie)

Hoofdstuk 3: Slimme computers

Wetenschappelijke doorbraken de klas in!

Sport, Slimme computers en Automatisch gedrag



Jan van Baren-Nawrocka, Sanne Dekker & Miriam de Boer (redactie)



Colofon

Redactie: drs. Jan van Baren-Nawrocka, dr. Sanne Dekker & dr. Miriam de Boer

Opmaak: Jimmy Israel

Druk en afwerking: Tuijtel, Hardinxveld-Giessendam

Coverfoto's: Jimmy Israel (voorkant) en Merel van 't Leven (achterkant), © WKRU

Eerste druk, januari 2020

ISBN: 978-90-830422-1-3

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



2020 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. 128).

Hoofdstuk 3 Slimme computers helpen de dokter

In dit hoofdstuk beschrijven we een project onderzoekend leren met als thema ‘Slimme computers’. Het thema is gebaseerd op het onderzoek van dr. ir. Geert Litjens en dr. Jeroen van der Laak en hun team naar hoe computers met behulp van kunstmatige intelligentie artsen kunnen helpen bij het stellen van een diagnose. Het hoofdstuk bestaat uit twee delen. In paragraaf 3.1 leggen de onderzoekers uit hoe pathologen te werk gaan bij het opsporen van ziektes en hoe ze hebben onderzocht of kunstmatige intelligentie daarbij kan helpen. Leraren kunnen deze paragraaf gebruiken om zichzelf en hun leerlingen inhoudelijk voor te bereiden op het thema. In paragraaf 3.2 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

Mens en samenleving

34. De leerlingen leren zorg te dragen voor de lichamelijke en psychische gezondheid van henzelf en anderen.

Natuur en techniek

44. De leerlingen leren bij producten uit hun eigen omgeving relaties te leggen tussen de werking, de vorm en het materiaalgebruik.
45. De leerlingen leren oplossingen voor technische problemen te ontwerpen, deze uit te voeren en te evalueren.

Radboud Science Team ‘Slimme computers’

Het project ‘Slimme computers’ is in het schooljaar 2018-2019 ontwikkeld door een team van onderzoekers van het Radboud Universitair Medisch Centrum (Radboudumc), basisschoolleraren en het WKRU. Het Radboud Science Team ‘Slimme computers’ bestond uit de volgende personen:

Onderzoekers Radboudumc

Dr. ir. Geert Litjens (universitair docent), dr. Jeroen van der Laak (universitair hoofddocent), Maschenka Balkenhol MSc, MD (promovenda), Meyke Hermsen BSc (promovenda). Alle vier zijn werkzaam bij de Computationale Pathologie onderzoeksgroep van de afdeling Pathologie aan het Radboudumc.

School

De Gazelle in Arnhem: Bart Lemans, Mathijs Zwanenburg, Paulien van Tongeren, Patricia Kropman (leraren), Esther van Dalen (schoolopleider), Ello Jonkhof, Judith Kool (leraren in opleiding aan de HAN Pabo)

WKRU

Miriam de Boer (projectleider), Jan van Baren-Nawrocka (adviseur Wetenschapseducatie en projectleider)



Dr. ir. Geert Litjens

“Ik ben mijn hele leven al gefascineerd door computers. Natuurlijk vond ik het heel leuk om computerspelletjes te spelen, maar op de basisschool probeerde ik ook al zelf spelletjes te programmeren en die dan met vriendjes uit te wisselen. Natuurlijk allemaal nog heel erg simpel, maar wel heel leuk om te doen! Die fascinatie is er eigenlijk altijd gebleven. Daarnaast vond ik het functioneren van het menselijk lichaam altijd erg interessant, een enorm ingewikkelde machine waar honderden dingen tegelijk gebeuren. Ik keek bijvoorbeeld altijd naar de serie ‘Er was eens... het leven’. Nadat ik klaar was met de middelbare school vond ik een opleiding waar ik mijn interesses in kon combineren: biomedische technologie. Daar leerde ik voor het eerst hoe ik computers kon leren om te herkennen of rode bloedcellen normaal of abnormaal waren. Ik vond dat zo cool dat ik daar mijn werk van wilde maken, en dat is ook gelukt! Nu kan ik dagelijks bezig zijn met het maken van slimme computerprogramma's om dokters te helpen en ik hoop dat nog heel lang te kunnen doen.”



Dr. Jeroen van der Laak

“Als kind al hield ik ervan dingen te onderzoeken: proefjes doen en dan kijken wat er gebeurde. Ik kon uren bezig zijn met scheikundige stoffen of elektrische schakelingen. Op school was ik veel beter in rekenen en biologie dan in taal of geschiedenis. Toen ik op de middelbare school zat kwamen er op een bepaald moment voor het eerst computers op school. Onze school kwam zelfs op het televisiejournaal als de eerste school in Nederland waar de leerlingen met computers gingen werken! Ik vond het prachtig dat je een computer kon laten doen wat je wilde door zelf een programma te schrijven. Daarnaast vond ik ook biologie en scheikunde erg leuk. Dingen onderzoeken, nieuwe zaken ontdekken vond ik altijd erg spannend. Na de middelbare school koos ik ervoor om informatica (computerkunde) te gaan doen op de universiteit. Ik twijfelde nog wel een beetje of ik niet liever scheikunde wilde doen, maar ik vond computers toch iets spannender dan proeven doen in het laboratorium. Uiteindelijk heb ik voor mijn werk een perfecte plek gevonden: in een laboratorium, met computers en heel veel onderzoek!”

(Foto's: Jimmy Israel)

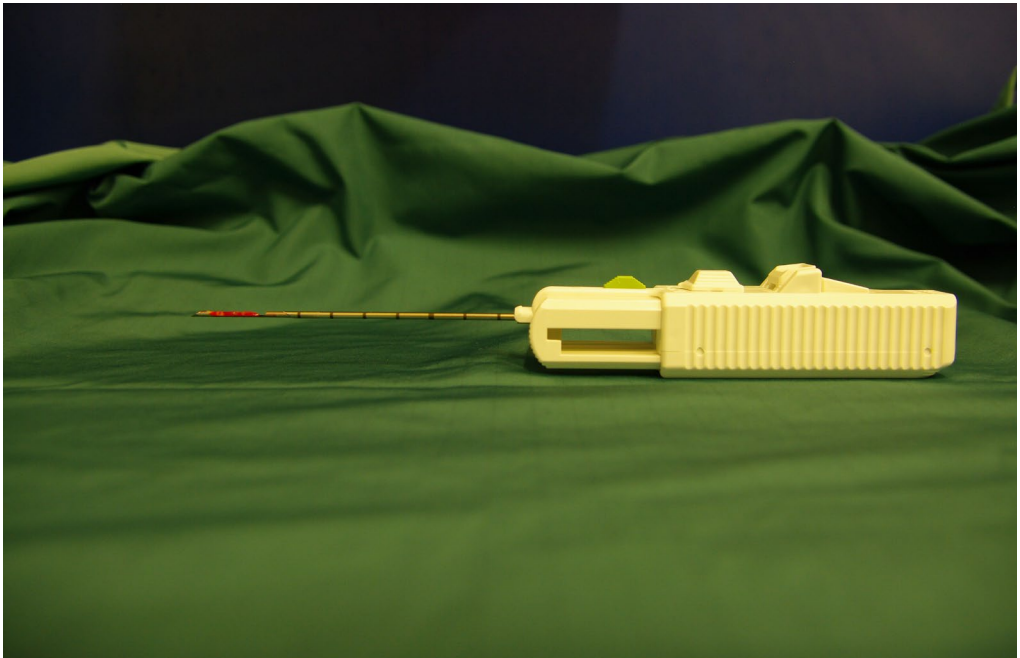
3.1 Onderzoek naar kunstmatige intelligentie in medische diagnostiek

Dr. ir. Geert Litjens, dr. Jeroen van der Laak, Maschenka Balkenhol MSc, MD, Meyke Hermesen BSc

Wanneer iemand met klachten bij de dokter komt, probeert deze eerst een diagnose te stellen. Dat wil zeggen, de arts probeert heel nauwkeurig vast te stellen wat voor ziekte iemand heeft. Om een goede diagnose te krijgen, hebben artsen heel veel verschillende testen tot hun beschikking. Daarmee proberen ze zo precies mogelijk in kaart te brengen wat er aan de hand is met de patiënt. De informatie die ze verzamelen helpt hen om de juiste keuze te maken uit het groeiende aantal verschillende manieren om ziektes te behandelen. Het stellen van een goede diagnose kost tijd en vraagt veel kennis en ervaring van artsen. Daarom hebben wij onderzocht hoe computers artsen kunnen helpen om hun werk goed te blijven doen, en te zorgen dat zoveel mogelijk patiënten de best mogelijke behandeling kunnen krijgen.

Het werk van een patholoog

In ons onderzoek gaat het over diagnostiek bij mensen met de ziekte borstkanker. Bij deze ziekte is er in de borst een tumor: een stukje weefsel dat bestaat uit cellen die abnormaal groeien (zie Achtergrondinformatie 'Borstkanker'). Als een tumor kwaadaardig is dan spreken we van kanker. Als we denken dat iemand kanker heeft is het nodig om een klein stukje van het tumorweefsel weg te halen (bijvoorbeeld met een biopsienaald), zodat we de cellen uit het weefsel nader kunnen onderzoeken onder een microscoop (zie Achtergrondinformatie 'Weefselonderzoek door pathologen'). Dat onderzoek door pathologen gebeurt op de afdeling Pathologie. De arts die het stukje weefsel door een microscoop bekijkt heet een patholoog.



Een biopsienaald met een stukje weefsel (Foto door auteurs)

Pathologen zijn gespecialiseerd in het herkennen van allerlei ziekten. Een patholoog diagnosticeert een ziekte op basis van weefselonderzoek. Het weefsel dat een chirurg verwijdert bij een operatie wordt door een patholoog heel nauwkeurig bekeken. Een kwaadaardige tumor ziet er anders uit dan gezond weefsel of een goedaardige tumor en het voelt zelfs anders aan. Een patholoog bekijkt het weefsel door de microscoop en bestudeert de cellen in het weefsel op een heel sterke vergroting. Dat is tot wel 400 keer groter dan wat je met het blote oog kunt zien.

Tegenwoordig zijn er apparaten die de stukjes weefsel die we door de microscoop bekijken kunnen inscannen. Zo kunnen we op een computerscherm precies zien wat we door de microscoop zien. Eén van de belangrijkste voordelen hiervan is dat computerwetenschappers er onderzoeken mee kunnen uitvoeren, zoals wij hebben gedaan om borstkankercellen op te sporen. Die gescande microscopische preparaten noemen we in dit hoofdstuk *scans*.

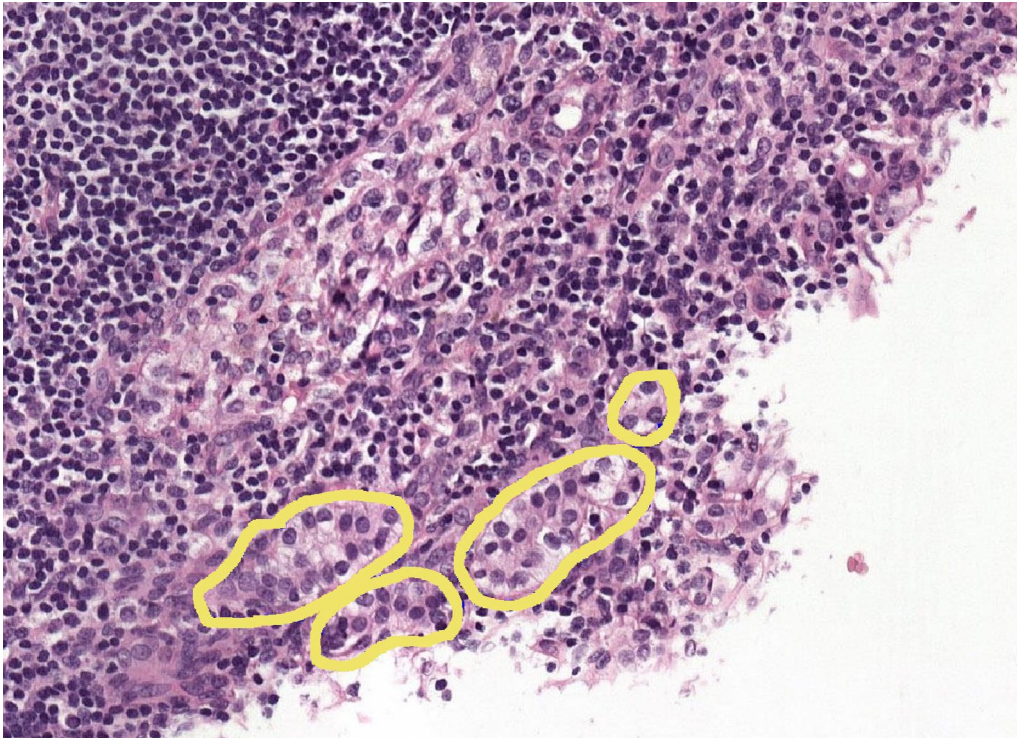


Een patholoog kan gebruik maken van computerschermen om weefsel te bekijken (Foto: ZEISS Microscopy)

Herkennen van kankercellen

Het beoordelen van weefsels is ingewikkeld, want elke tumor ziet er anders uit. Pathologen gebruiken bij het beoordelen hun jarenlange kennis en ervaring die ze gedurende hun studie geneeskunde en de specialistenopleiding hebben opgedaan. Soms is het niet zo eenvoudig om te zien of een ziekte heel ernstig is (en de patiënt dus behandeling nodig heeft), of dat het minder erg is en de patiënt misschien vanzelf beter wordt. Het kost de patholoog dan veel tijd om een goede diagnose te geven. Daarom hebben wij gekeken naar mogelijkheden om computers een rol te geven in de diagnostiek. Door toepassing van kunstmatige intelligentie op het gebied van patroonherkenning, kan de computer mogelijk een bijdrage leveren aan de diagnostiek (zie Achtergrondinformatie 'Kunstmatige

intelligentie'). Met kunstmatige intelligentie kan een computer namelijk allerlei patronen herkennen die hij eerder geleerd heeft. Omdat de computer dit op een andere manier doet dan de patholoog, was onze verwachting dat ze een goed team zullen vormen dat samen nog beter kan besluiten wat het best is voor elke patiënt. Het doel van ons onderzoek is om een computer te leren om microscoopbeelden van ziektes te analyseren. De computer kan daarmee de patholoog ondersteunen in de diagnostiek.



Moeilijk te herkennen kankercellen (geel omlijnd) tussen gezonde cellen (Afbeelding door auteurs)

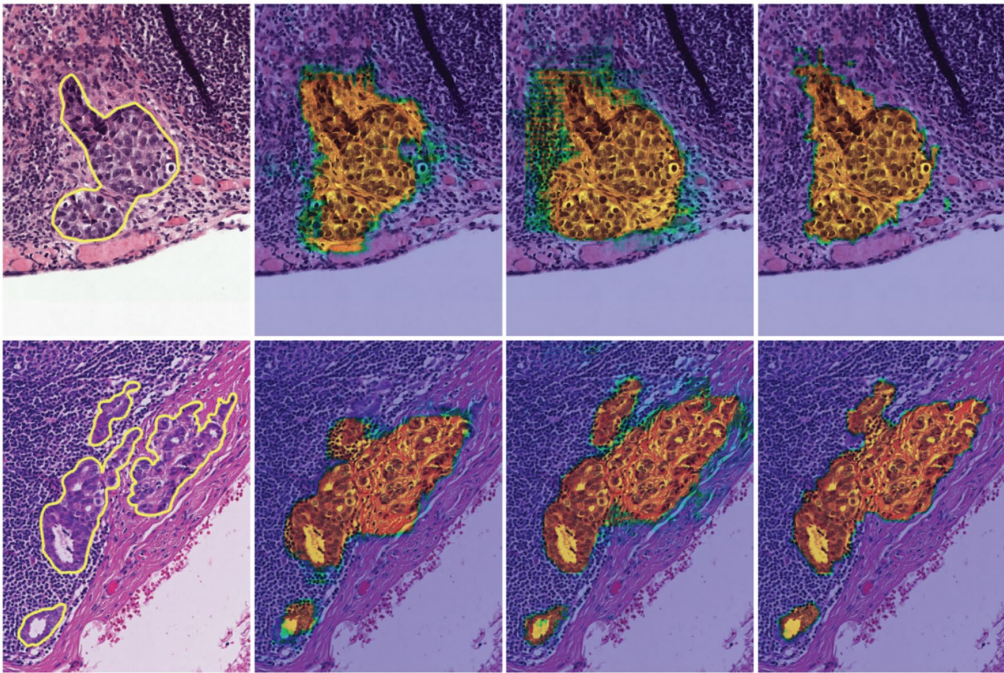
Hoe leren pathologen en computers om kankercellen te vinden?

Pathologen proberen kankercellen op te sporen door goed naar de weefsels te kijken. Zij letten bijvoorbeeld op de grootte van de cellen, eventuele onderlinge verschillen in grootte tussen cellen en verschillen in de kleur van de cellen. Elke tumor ziet er door een microscoop anders uit. Daardoor moet je veel verschillende voorbeelden bestuderen om kanker goed te kunnen herkennen. Om geen kankercellen over het hoofd te zien, is het erg belangrijk om de vele verschillende patronen te kennen en te kunnen herkennen. Pathologen leren dit vooral door heel veel verschillende voorbeelden van gezonde cellen en kankercellen te bestuderen. Om computers ziektes te leren herkennen zullen ze, net zoals de patholoog, ook al die verschillende patronen moeten leren kennen. Dat hebben we als volgt gedaan: allereerst hebben we scans gemaakt van weefsels van veel verschillende patiënten. Het weefsel afgebeeld op de scan ziet er op het computerscherm hetzelfde uit als het weefsel door de microscoop. Om de computer vervolgens te leren hoe kanker eruit ziet, hebben we de computer miljoenen voorbeelden laten zien van hoe kwaadaardige tumorcellen eruit kunnen zien. In deze scans zijn er vaak maar kleine gebieden met kankercellen. Omdat de computer de hele scan te zien krijgt

leert hij daarom tegelijkertijd wat de gezonde cellen zijn. Net als een patholoog doet de computer dus 'ervaring' op door zoveel mogelijk verschillende scans te bekijken.

Ons onderzoek

Het is erg moeilijk om een computer te leren borstkankercellen te vinden. Wij vonden het als computerwetenschappers een interessante uitdaging om hier een oplossing voor te vinden. We kijken naar borstkankerweefsel omdat er heel veel mensen (in Nederland elk jaar 15.000) borstkanker krijgen en we daarom veel mensen een preciezere diagnose zouden kunnen geven. Omdat dit probleem nog nooit eerder door iemand was opgelost, hebben we besloten om hulp in te roepen bij het vinden van een oplossing. We hebben via internet een wedstrijd georganiseerd, waarin iedereen uit de hele wereld die dacht dit te kunnen oplossen mee mocht doen. Alle deelnemers aan de wedstrijd kregen dezelfde scans van lymfeklieren (zie Achtergrondinformatie 'Borstkanker' voor uitleg over lymfeklieren) met en zonder borstkankercellen, en probeerden een computerprogramma te maken dat de borstkankercellen kon vinden. In totaal hebben we scans van 400 patiënten gebruikt, een deel met en een deel zonder kankercellen. Daarvan zijn 270 scans gebruikt om de computer te leren kankercellen te herkennen. We leerden de computer de kankercellen te herkennen door in deze scans heel nauwkeurig te omlijnen waar ze precies zaten. Door het bekijken van de scans kon de computer miljoenen voorbeelden van kwaadaardige tumorcellen bestuderen. De overige 130 scans gebruikten we om te testen hoe goed de computer het deed. Voor elk van die 130 scans bepaalde de computer of er wel of geen kankercellen aanwezig waren. Om de diagnose van de computerprogramma's te kunnen vergelijken met het oordeel van een menselijke expert, hebben we één patholoog gevraagd om in dezelfde scans kankercellen op te sporen. De patholoog mocht alle tijd nemen die zij nodig had om te beoordelen of er wel of geen kankercellen aanwezig waren.



Herkenning van kankercellen in twee afbeeldingen van weefsel door een patholoog (links) en een drie verschillende computerprogramma's uit de top 5 (Afbeelding door auteurs)

We hebben zowel bij de computer als bij de patholoog gemeten hoeveel tijd zij nodig hadden om te bepalen of er wel of geen kwaadaardige tumor was en we hebben bekeken in hoeveel gevallen de computer het goed had. We ontdekten dat de computer net zo goed was in het herkennen van kwaadaardige tumoren als de patholoog die alle tijd nam. Dit betekent dat een computer even goed de kankercellen kan detecteren, maar dan in minder tijd. In werkelijkheid heeft een patholoog soms weinig tijd om een diagnose te stellen, omdat hij veel werk te doen heeft. Daarom hebben we ook een groep pathologen gevraagd om binnen twee uur, wat best weinig tijd is maar overeenkomt met de tijd die ze in werkelijkheid ook hebben, alle scans te beoordelen. We ontdekten dat in dat geval de computer minder vaak de kankercellen over het hoofd zag dan de pathologen. De beste computerprogramma's die meededen aan de wedstrijd konden dus beter borstkankercellen opsporen dan pathologen die onder tijdsdruk stonden. Ons onderzoek was een doorbraak, omdat er nooit eerder een studie was gedaan naar de vraag of een computer even goed borstkanker kon opsporen als een patholoog.

De toepassing van kunstmatige intelligentie in diagnostiek

Het is van groot belang te weten dat kunstmatige intelligentie een bijdrage kan leveren aan het stellen van de diagnose kanker, omdat het werk voor pathologen steeds meer toeneemt. Dat komt doordat kanker steeds vaker voorkomt en doordat er steeds meer mogelijkheden voor artsen zijn om nauwkeuriger en uitgebreider diagnostisch onderzoek te doen, zodat ook de hoeveelheid informatie per patiënt enorm toeneemt. Die informatie helpt artsen om de juiste keuze te maken uit het groeiende aantal verschillende manieren om kanker te behandelen. De computerprogramma's die wij ontwikkelen kunnen pathologen helpen om hun werk goed en efficiënt te blijven doen en elke patiënt de best mogelijke behandeling te geven. Daardoor kunnen we hopelijk meer patiënten beter maken.

Op dit moment zijn we bezig met een onderzoek om de beste computerprogramma's daadwerkelijk te testen in verschillende ziekenhuizen om te kijken wat het effect is op de dagelijkse praktijk. Daarbij is het goed om aan te geven dat we met dit onderzoek niet de pathologen proberen te

vervangen, maar voornamelijk hun werk eenvoudiger en sneller proberen te maken, waardoor zij meer tijd overhouden voor de moeilijkere vraagstukken.

Onderzoek naar kunstmatige intelligentie in medische diagnostiek

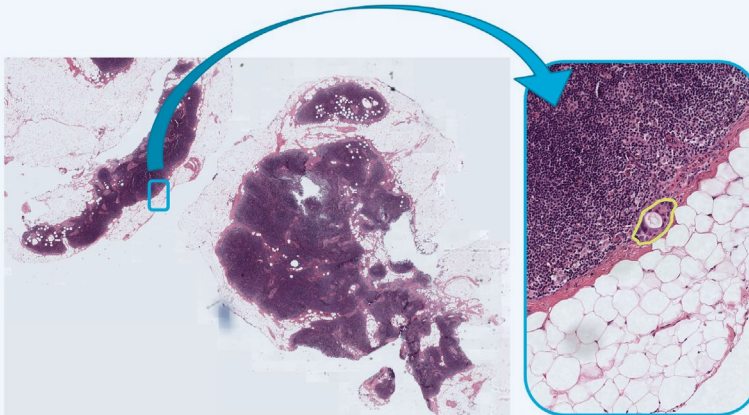
In onderstaand kader geven dr. ir. Geert Litjens en dr. Jeroen van der Laak een voorbeeld van hoe zij met hun team onderzoek hebben gedaan naar kunstmatige intelligentie in medische diagnostiek. Zij beschrijven hun onderzoeksvraag, de manier waarop zij deze vraag probeerden te beantwoorden, de resultaten die het onderzoek opleverde en de vervolgvragen die het onderzoek opriep. Hiermee willen we het verband laten zien tussen de aanpak van onderzoekers en die van de leerlingen.

Onderzoeksvraag	Wat is de nauwkeurigheid van een computerprogramma vergeleken met pathologen bij het opsporen van uitzaaïngen van borstkanker?
Hypothese	Een computerprogramma kan net zo goed als een patholoog uitzaaïngen van borstkanker opsporen.
Onderzoeksaanpak	We hebben scans van weefsel met uitzaaïngen van borstkanker verzameld en hierin heel nauwkeurig omljnd waar de kankercellen zitten. Deze scans zijn zeer gedetailleerd, de bestandsgrootte van elke scan is net zo groot als 1000 vakantiefoto's! Ook hebben we scans verzameld zonder uitzaaïngen van kanker. Die 270 scans hebben we aan onderzoekers over de hele wereld gegeven zodat ze een programma konden maken. Een tweede set van 130 scans met en zonder uitzaaïngen van borstkanker hebben we achter de hand gehouden om de computerprogramma's op te testen. Deze tweede set scans hebben we ook aan pathologen gegeven. De pathologen moesten van elke scan zeggen of er een uitzaaïng in te zien was. Zo konden we de computerprogramma's vergelijken met de pathologen. Eén patholoog mocht er zo lang over doen als ze wilde, maar de rest moest alle weefsels bekeken hebben binnen 2 uur, wat best weinig tijd is, maar overeenkomt met de tijdsdruk die pathologen soms ervaren.
Resultaten	We kregen vanuit de hele wereld tientallen computerprogramma's toegestuurd. Die hebben we allemaal getest en het allerbeste programma was gemaakt door onderzoekers uit Amerika. Dit programma beoordeelde in meer dan 99% van alle scans correct of er kankercellen in zaten of niet. Wanneer we een top 5 van beste computerprogramma's maakten en die vergeleken met de pathologen die binnen 2 uur klaar moesten zijn, zagen we dat de computers minder vaak de kankercellen over het hoofd zagen dan de pathologen. De patholoog die er zo lang over mocht doen als ze wilde was even goed als de top 5 van computerprogramma's.
Conclusie	In deze studie hebben we laten zien dat er computerprogramma's zijn die beter uitzaaïngen van borstkanker kunnen opsporen dan pathologen die onder tijdsdruk staan. Als een patholoog alle tijd heeft dan is hij net zo goed als de allerbeste programma's die er op dit moment zijn.
Wat betekenen deze resultaten voor het dagelijks leven van kinderen?	Iedereen kent wel iemand in zijn/haar omgeving die kanker heeft (gehad). Iedereen kan kanker krijgen, kinderen, ouderen, mannen, vrouwen. Omdat er steeds meer mensen kanker krijgen, moeten er ook meer dokters zijn die een goede diagnose kunnen stellen. Een goede diagnose is heel belangrijk, want zo kan de dokter bedenken welke operatie en medicijnen nodig zijn. De computerprogramma's die wij ontwikkelen kunnen pathologen helpen om hun werk goed te blijven doen.
Vervolg vragen	Natuurlijk willen we proberen om de computerprogramma's nog beter te maken dan in deze studie. En we willen de computerprogramma's graag in ziekenhuizen testen samen met de pathologen. Hier kunnen we echt testen of de computers de pathologen in de praktijk ook echt tijd besparen.

ACHTERGRONDINFORMATIE

Borstkanker

Borstkanker is de meest voorkomende vorm van kanker in Nederland. Bij borstkanker zit er in de borst een kwaadaardige tumor: een stukje weefsel dat bestaat uit cellen die veel harder groeien dan normale cellen. Daarnaast kan er sprake zijn van uitzaaiingen. Dit betekent dat de kankercellen niet alleen in de borst voorkomen, maar dat de kankercellen zich hebben verspreid door het gehele lichaam. De verspreiding van borstkankercellen vanuit de borst naar andere plekken in het lichaam noemen we een uitzaaiing. Borstkankercellen kunnen zich verspreiden via de lymfeklieren. De lymfeklieren zijn kleine verzamelplaatsen voor witte bloedcellen die ons beschermen tegen ziekteverwekkers van buiten, zoals bacteriën en virussen. Ieder mens heeft honderden lymfeklieren die zich door het hele lichaam bevinden. Het is bekend dat als borstkankercellen zich verspreiden, ze vaak eerst naar de lymfeklieren gaan die in de oksel zitten om vanuit daar naar de rest van het lichaam te gaan. Als een patiënt borstkanker heeft wordt er gekeken of er uitgezaaide borstkankercellen in de lymfeklieren in de oksel aanwezig zijn. Is dit het geval, dan betekent dit dat de ziekte al verder voortgeschreden is en de patiënt mogelijk extra behandeling nodig heeft. Behandeling bij borstkanker bestaat vaak uit een operatie, waarbij de tumor wordt verwijderd. Daarnaast kan er chemotherapie gegeven worden om eventuele resterende tumorcellen elders in het lichaam te verwijderen en bestraling op de borst, oksel en borstwand om gericht tumorcellen te doden.



Een lymfeklier onder de microscoop met geel omlijnd een groepje uitgezaaide kankercellen (Afbeelding door auteurs)

Weefselonderzoek door pathologen

Een patholoog is een dokter die cellen en weefsels onderzoekt en bekijkt of deze gezond of afwijkend zijn. Het gaat om uitstrijkjes (bijvoorbeeld bevolkingsonderzoek baarmoederhalskanker), vocht (bijvoorbeeld vocht uit buikholte), kleine of grotere 'hapjes' uit weefsel (bijvoorbeeld een verwijderde moedervlek of een borsttumor) en overleden patiënten. In dit hoofdstuk staat microscopisch onderzoek van lichaamsweefsel centraal. De behandelend arts neemt bij de patiënt een klein weefselhapje uit een orgaan of uit een deel van het lichaam, dit heet een *biopt*. Soms wordt een groter deel van het lichaam verwijderd, dan heet het een *resectie*. Voordat de patholoog aan de slag kan, moet het weefsel bewerkt worden zodat het klaar is voor de microscoop. In het laboratorium wordt het eerst gefixeerd met de vloeistof formaline ('sterk water'). Fixatie zorgt dat het weefsel lang goed blijft. Dan ondergaat het een hardingsproces en wordt het weefsel in paraffineblokjes (was) gegoten. Nu kunnen laboranten er plakjes van snijden die zo dun zijn, dat je er met een microscoop doorheen kunt kijken (coupes). Dan krijgen de plakjes een behandeling met kleurstoffen. Alle elementen



*Een patholoog kijkt door een microscoop
(Foto: Tom Watanabe)*

waaruit het weefsel is opgebouwd krijgen een eigen kleur, zoals eiwitten, celkernen en delen van het DNA. Zo kan de patholoog ze goed herkennen door de microscoop en ziekt van gezond weefsel onderscheiden. De patholoog onderzoekt of de patiënt een ziekte heeft en zo ja, welke; of behandeling mogelijk is en welke de meest passende is; hoe het verdere verloop van de ziekte is; of wat het effect is van medische zorg. Soms onderzoeken we bij overledenen wat de doodsoorzaak is. De patholoog bespreekt zijn bevindingen in een team van artsen die gespecialiseerd zijn in een bepaald ziektebeeld.

Kunstmatige intelligentie

Een computer is natuurlijk nooit 'echt' intelligent zoals een mens dat is, maar toch spreken we over kunstmatige intelligentie. Wanneer vinden we een computer 'slim' of 'intelligent'? Dit heeft voornamelijk te maken met de associaties die we als mens hebben bij de taak die de computer uitvoert. Betreft het een taak waarvan we de moeilijkheid herkennen, dan vinden we sneller dat het 'computerintelligentie' vereist om deze uit te voeren (bijvoorbeeld schaken of spraakherkenning). Ook als het gaat om een taak waarbij er sprake is van een leerproces vinden we eerder dat het om intelligentie gaat, mensen moeten ten slotte ook vaak iets stapje voor stapje leren. Een computer die razend ingewikkelde berekeningen maakt vinden we vaak niet intelligent, dat is iets waarvan we weten dat computers het nou eenmaal beter kunnen dan mensen. Specifiek bedoelen wij met 'slimme computers' computers die niet geprogrammeerd zijn om een taak uit te voeren, maar dat zelf geleerd hebben. Zo'n computer kan bijvoorbeeld leren om katten en honden te herkennen in foto's, maar ook om appels en peren te herkennen, zonder dat een mens hem opnieuw moet programmeren. Een computer leert dit dus zelf! Wij programmeren dus niet de computer om een taak uit te voeren, maar wij programmeren het 'leerproces'. Enkele voorbeelden van 'slimme computers' zijn de televisie die je aanraadt welke programma's je leuk zou vinden op basis van wat je eerder hebt gekeken of de thermostaat die aan de hand van je leefgewoontes voorspelt wanneer het huis verwarmd moet worden.

Verder lezen, kijken en luisteren

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

Video's WKRU

- Videoportret Geert Litjens en Jeroen van der Laak bij uitreiking Radboud Science Awards 2018 ●
- Lezing voor kinderen door Geert Litjens en Jeroen van der Laak bij uitreiking Radboud Science Awards 2018 ●

Meer informatie over het onderzoek van de groep van Geert en Jeroen

- Uitzending van Nieuwsuur over het werk van de onderzoekers ●
- Item van omroep Gelderland: "Nijmeegse primeur: computer analyseert straks kankercellen" met Geert Litjens ●
- Mini college over kunstmatige intelligentie in het ziekenhuis ●
- Toegankelijk artikel op Radboud Recharge over het onderzoek naar slimme computers ●
- Engelstalig filmpje van Philips Healthcare waarin de onderzoekers uitleggen hoe pathologie er in de toekomst uit ziet ●
- Engelstalige website waarop de wedstrijd voor het maken van een computerprogramma dat kankercellen kan detecteren stond uitgeschreven ●

Meer informatie over pathologie

- Filmpje over het werk van pathologen ●
- Filmpje van Randstad over het werk van pathologen, gemaakt op de afdeling van de onderzoekers ●

Meer informatie over de lymfeklieren

- Filmpje van 'Er was eens... het leven' over de lymfeklieren ●

Meer informatie over (borst)kanker

- Filmpje van het KWF over wat kanker is ●
- Filmpje van het UMC Utrecht over de diagnose van borstkanker ●

Slimme computers

- Uitlegfilmpje 'Kunstmatige intelligentie voor dummy's in 2 minuten' ●
- De slimme computer van de onderzoekers die kankercellen kan herkennen ●
- Nederlandse versie van Google's teachable machine ●
Met deze website kun je zelf een computer slim maken.
- Google Lens ●
Dit slimme programma verkent via de camera van je telefoon de omgeving en voorziet je van informatie. Het kan bijvoorbeeld geschreven tekst omzetten in getypte tekst.

Prijswinnende wetenschappelijke artikel waarop het project is geïnspireerd:

Bejnordi, B. E., Veta, M., Van Diest, P. J., Van Ginneken, B., Karssemeijer, N., **Litjens, G., van der Laak, J. A. W. M., ...**, & The CAMELYON16 Consortium (2017). Diagnostic assessment of deep learning algorithms for detection of lymph node metastases in women with breast cancer. *JAMA*, 318(22), 2199-2210.

3.2 Onderzoek naar slimme computers die dokters helpen de klas in!

Radboud Science Team 'Slimme computers'

Deze paragraaf beschrijft hoe je in de klas een project onderzoekend leren kunt opzetten bij het thema 'Slimme computers helpen de dokter'. Je vindt hier diverse activiteiten voor de introductie en verkenning van het project. Deze activiteiten zijn als eerste uitgevoerd bij basisschool de Gazelle in Arnhem.

Alle activiteiten samen vormen een beeld van het onderzoek naar kunstmatige intelligentie in medische diagnostiek 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.



Een leerkracht van de Gazelle kruipt in de huid van een patholoog (Foto: Merel van 't Leven)



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: WAAR IS WILLEM

Leerlingen zoeken in een zoekplaat naar verschillende figuren en maken zo kennis met het thema.

Doelen

- Leerlingen maken kennis met het thema.
- Leerlingen worden geactiveerd en geënthousiasmeerd.
- Leerlingen leren dat het vinden van een zieke cel in een stukje weefsel vergelijkbaar is met het zoeken van een figuur in een zoekplaat.

Duur

20 minuten

Werkvorm

In tweetallen

Benodigheden

- PowerPoint 'Waar is Willem?' ●
- Per tweetal de in kleur afgedrukte zoekplaat ●
- Per tweetal een pen of stift

Vorbereiding

Leg per tweetal de zoekplaat klaar met de achterkant boven, zodat leerlingen deze nog niet kunnen zien.

Activiteit

Laat de dia 'Dit is Willem' in de PowerPoint zien. Vraag de leerlingen vervolgens hun zoekplaat om te draaien en naar Willem te zoeken. Wanneer ze hem hebben gevonden mogen ze hem omcirkelen op de zoekplaat. Bespreek met de leerlingen hoe ze te werk zijn gegaan tijdens het zoeken en hoe ze het figuur sneller zouden kunnen vinden. Geef nu de leerlingen de opdracht om alle slapende mensen te zoeken en te omcirkelen. Geef hierna de leerlingen de opdracht om het duiveltje te zoeken en te omcirkelen. Bespreek ook deze zoektochten na met de leerlingen. Ging het zoeken de tweede en derde keer beter nu de leerlingen hadden nagedacht over wat de beste manier was om te zoeken? Laat de leerlingen nu tegelijkertijd alle rolstoelen en mensen met grijs haar zoeken.

Afronding

Bespreek na hoe het was om tegelijkertijd alle rolstoelen en alle mensen met grijs haar te moeten zoeken. Was het lastiger nu de leerlingen naar twee dingen tegelijkertijd moesten zoeken? Leg met behulp van de tekst bij 'Verbinding met het thema' uit wat deze activiteit met het thema te maken heeft.

Verbinding met het thema

Om mensen beter te kunnen maken, moet een dokter te weten komen welke ziekte een patiënt heeft. Soms lukt dit niet door middel van het stellen van vragen alleen, dan kan er bij de patiënt een stukje weefsel worden afgenomen. Dat betekent meestal dat er een heel klein hapje uit je lichaam wordt genomen met een naald. Een dokter die zo'n stukje weefsel onderzoekt heet een patholoog. Deze probeert de zieke cellen te vinden tussen de gezonde cellen.

Het vinden van zieke cellen in het weefsel kan je vergelijken met het vinden van een figuur in de zoekplaat. Het is lastig om de juiste figuur te vinden in de zoekplaat, omdat er op de plaat veel te zien is en omdat de figuren op de zoekplaat op elkaar lijken; er zijn meerdere poppetjes met een gele trui en een blauwe broek. Op eenzelfde manier is het lastig om zieke cellen in een stukje weefsel te vinden: ook hierin is vaak enorm veel te zien en zieke cellen lijken soms heel erg op gezonde cellen. Daarnaast moet de patholoog op heel veel verschillende dingen tegelijkertijd letten. Dat maakt het nog lastiger. Denk maar terug aan de opdracht van het tegelijkertijd zoeken naar de rolstoelen en mensen met grijs haar in de zoekplaat. Mensen hebben hier vaak moeite mee, maar voor een computer is dit geen probleem. Daarom bedachten de onderzoekers dat computers misschien zouden kunnen helpen om zieke cellen te vinden. Door onderzoek hebben ze ontdekt dat computers daar inderdaad heel goed bij kunnen helpen.



Leerlingen van de Gazelle zoeken ijverig naar 'Willem' (Foto: De Gazelle)



Stap 2. Verkenning

In de verkenningsfase 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 onderzoekers eerder hebben gegeven  en de informatie die in paragraaf 3.1 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:

- Slimme computers
- Diagnose



Notebooks vormen belangrijke hulpmiddelen die leerlingen van de Gazelle nodig hebben bij de activiteiten over 'Slimme computers'
(Foto: Merel van 't Leven)

ACTIVITEIT 1: WANNEER ZIJN COMPUTERS EIGENLIJK SLIM?

In deze activiteit verdelen leerlingen verschillende apparaten en computers in slimme en niet-slimme computers. Ze maken kennis met de definitie van slimme computers van de onderzoekers en bekijken of ze hun verdeling van slimme en niet-slimme computers willen aanpassen.

Subthema

Slimme computers

Doelen

- De leerlingen kunnen uitleggen wat slimme computers zijn.
- De leerlingen kunnen voorbeelden geven van slimme computers.
- De leerlingen leren dat kunstmatige intelligentie de gangbare term is om slimme computers aan te duiden.

Duur

30 minuten

Werkvorm

In viertallen

Benodigdheden

- Per groepje: Kaartjes met slimme en niet-slimme computers
- Uitlegfilmpje 'Kunstmatige intelligentie voor dummy's in 2 minuten'
- Twee vellen A3 papier voor de muurkrant
- Antwoordmodel met welke apparaten slim zijn en welke niet

Vorbereiding

Knip van tevoren de kaartjes met slimme en niet-slimme computers uit, zodat de leerlingen hier makkelijk mee aan de slag kunnen. Maak een muurkrant door boven het ene A3 vel 'Slimme computers' te schrijven en op het andere vel 'Niet-slimme computers'.

Activiteit

Geef ieder groepje de kaartjes en vraag de leerlingen deze in twee groepen te verdelen: een groep met slimme computers en een groep met niet-slimme computers. Laat ze kort in hun groepje overleggen wat volgens hen maakt dat een computer slim is. Wat is het verschil tussen een slimme computer en een niet-slimme computer? Laat de kaartjes liggen en ga het gesprek aan met de klas over de verdeling die ieder groepje heeft gemaakt. Het is vooral belangrijk te ontdekken waarom ze deze indeling hebben gemaakt. Wat maakt een computer slim?

Vertel welke definitie de onderzoekers gebruiken in hun onderzoek: een slimme computer is een computer die beslissingen maakt op basis van ervaringen uit het verleden. Vertel er ook bij dat in plaats van slimme computers meestal de term 'kunstmatige intelligentie' wordt gebruikt. Laat ter ondersteuning van de uitleg over slimme computers het uitlegfilmpje zien. Laat de leerlingen na deze uitleg kijken of ze kaartjes willen verplaatsen van de groep met slimme computers naar de groep met niet-slimme computers of andersom.

Afronding

Bespreek klassikaal welke apparaten de leerlingen naar de andere groep verplaatst hebben. Waarom hebben ze deze aanpassing gedaan? Hadden de groepjes zo'n beetje dezelfde verdeling, of een heel andere? Probeer tot een gezamenlijk besluit te komen waar de verschillende computers bij horen en verdeel de plaatjes over de twee categorieën op de muurkrant. Gebruik voor dit gesprek eventueel het antwoordmodel. De muurkrant kan tijdens de rest van het project blijven hangen, waardoor je nieuwe apparaten die de leerlingen later nog tegenkomen kunnen toevoegen.

Verbinding met het thema

Er zijn veel verschillende woorden voor slimme computers. De meest gangbare Nederlandse term is kunstmatige intelligentie. Maar wat is een slimme computer eigenlijk? De onderzoekers hanteren de definitie dat een slimme computer een computer is die beslissingen neemt op basis van ervaringen uit het verleden. Zo lijkt een smartwatch misschien slim, omdat ook het woordje 'smart' in de naam zit. Maar is een smartwatch wel slim volgens de definitie van de onderzoekers als deze feitelijk alleen de tijd en de hartslag meet en mensen belt op grond van ingevoerde informatie? En is een koelkast slim omdat deze verbonden is met het internet, zodat je op afstand kunt zien wat er in zit? In deze activiteit denken de leerlingen hierover na.



Leerlingen van de Gazelle bespreken welke computers zij slim vinden en welke niet (Foto: De Gazelle)

ACTIVITEIT 2: SLIMME COMPUTERS IN EN OM JE HUIS

De leerlingen gaan op zoek naar slimme computers in en om hun eigen huis.

Subthema

Slimme computers

Doelen

- De leerlingen leren wat voor slimme computers ze thuis hebben.
- De leerlingen realiseren zich dat slimme computers in huis een relatief nieuw fenomeen zijn.

Duur

20 minuten, leerlingen zoeken thuis naar slimme computers

Werkvorm

Individueel en klassikaal

Benodigdheden

Optioneel: muurkrant uit activiteit 1

Activiteit

Vraag leerlingen om samen met hun ouders op zoek te gaan naar slimme computers in en om het huis. Welke van deze slimme computers hadden hun ouders in huis toen zij zelf kind waren? Laat hen de antwoorden opschrijven, tekenen of laat hen een collage maken (waarbij ook eigen foto's kunnen worden gebruikt).

Afronding

Bespreek na welke slimme computers de leerlingen thuis allemaal hebben gevonden. Maak samen met de klas een klassentop 3 van slimme computers die thuis het meest voorkomen. Indien je activiteit 1 hebt gedaan, kun je foto's en tekeningen van slimme computers die thuis zijn gevonden op de muurkrant plakken. Welke van deze slimme apparaten/toepassingen hadden de ouders van de leerlingen vroeger toen zij kind waren in huis? Is er veel veranderd in het aantal slimme apparaten dat je ouders in huis hadden toen zij klein waren en nu?

Verbinding met het thema

Een slimme computer is volgens de onderzoekers een computer die beslissingen neemt op basis van ervaringen uit het verleden. Tijdens deze activiteit merken leerlingen waar je slimme computers zoal kunt tegenkomen in het dagelijks leven. Ook ontdekken ze dat het gebruik van slimme computers in en om het huis een vrij recente ontwikkeling is.

ACTIVITEIT 3: ZELF EEN COMPUTER SLIM MAKEN

In deze activiteit maken de leerling kennis met een slimme zelflerende computer. Ze trainen de computer zodat deze drie verschillende plaatjes kan onderscheiden.

Subthema

Slimme computers

Doelen

- De leerlingen leren dat je een computer iets kunt laten leren.
- De leerlingen leren hoe je een slimme computer traint.
- De leerlingen ontdekken wat een computer wel of niet kan leren.

Duur

60 minuten

Werkvorm

Klassikaal en in tweetallen

Benodigdheden

- YouTube filmpje 'Rocken door je vingers te bewegen' 
- Website van de onderzoeker waarop het computerprogramma staat 

Per tweetal:

- Een computer, laptop of tablet (iPads zijn niet getest, controleer eerst of het hierop werkt)
 - met een aangesloten webcam
 - met Chrome/Firefox als webbrowser
 - met een werkende internetverbinding
- Instructieblad 'Zelf een computer slim maken' 

Vorbereiding

Bekijk het YouTube filmpje om een idee te krijgen van hoe de website werkt. Probeer vervolgens de website zelf uit door in ieder geval opdracht 1 van het instructieblad zelf uit te voeren. Bekijk ook de andere opdrachten om een beeld te krijgen. Test of de website werkt op elk van de computers die de leerlingen zullen gaan gebruiken.

Activiteit

Verdeel de leerlingen in tweetallen en laat hen gedurende vijf tot tien minuten met de website aanrommelen. Laat hen de uitleg op de website overslaan door op 'sla de uitleg over' te klikken. Demonstreer pas daarna de website klassikaal door de stappen van opdracht 1 voor de klas te doorlopen.

Geef de tweetallen een instructieblad en laat ze de opdrachten uitvoeren. Daarmee onderzoeken ze wat dit programma allemaal kan leren, wat makkelijk is om te leren herkennen en wat juist moeilijk. In opdracht 3 wordt de leerlingen gevraagd zelf te bedenken hoe ze een slimme computer andere gezichten kunnen laten herkennen dan van de persoon die de computer eerst heeft getraind. Als ze hier niet uitkomen kun je suggereren dat ze zoveel mogelijk verschillende gezichten dezelfde emotie



Twee leerlingen van de Gazelle leren de computer specifieke bewegingen te herkennen (Foto: Merel van 't Leven)

laten tonen. Herkent de computer emotie in al die gezichten? En lukt het nu misschien ook om bij nog heel andere gezichten de emotie te herkennen?

In opdracht 4 wordt leerlingen gevraagd om zelf te bedenken wat ze de computer willen leren. Spreek met ze af hoeveel tijd ze hiervoor krijgen en hoe ze hier verslag van doen. Dit kan bijvoorbeeld met behulp van een muurkrant, een tekening of met behulp van een filmpje.

Afronding

Besprek de activiteit na. Wat kon de computer wel/niet leren? Zijn de leerlingen erachter gekomen hoe je de computer het best iets kan laten herkennen (bijvoorbeeld: hoe meer voorbeelden bij de training, hoe beter het gaat)?

Verbinding met het thema

De leerlingen leren dat je een computer onderscheid kunt laten maken tussen verschillende handbewegingen, emoties, et cetera. De computer leert tijdens het trainen te voorspellen wat het nieuwe is dat hij ziet, bijvoorbeeld de handbeweging die je live uitvoert voor de webcam. Soms lukt dit wel, maar niet altijd. Mogelijk hebben de leerlingen kunnen ervaren dat ook computers niet alles kunnen leren en hun beperkingen hebben. Soms gaan slimme computers ook na de training door met leren. Een slimme schaakcomputer bijvoorbeeld wordt dan nog beter in schaken door tegen een heel goede menselijke schaker te spelen.

Tips

- Lukt het de computer niet je handgebaren te herkennen? Meer plaatjes/trainingsdata (langer de 'Oefen' knop ingedrukt houden) maakt de slimme computer beter.
- Zorg ervoor dat de kinderen goed voor de webcam zitten tijdens het trainen en testen.
- Het is ook mogelijk om de 'Uitkomst' te veranderen in andere plaatjes. Wil je één van de plaatjes veranderen in een boom? Klik dan op het woord 'Plaatje' en typ het Engelse woord voor boom 'Tree' in de zoekbalk. Je kunt ook een geluid of een woord koppelen aan een van de handgebaren. Om dit te doen klik je op het woord 'Geluid' of 'Woord'.

ACTIVITEIT 4: ZELF EEN DIAGNOSE STELLEN

Tijdens deze activiteit leren de leerlingen door middel van een rollenspel hoe een dokter een diagnose stelt.

Subthema

Diagnose

Doelen

- Leerlingen leren dat het om iemand beter te maken belangrijk is te weten wat deze heeft.
- Leerlingen leren dat dit diagnose stellen heet.
- Leerlingen leren hoe een dokter een diagnose stelt door met beslisbomen te werken.

Duur

30 minuten

Werkvorm

In drietallen

Benodigdheden

Per groepje: in kleur uitgeprint document 'Zelf diagnose stellen' ●

Activiteit

Peil bij de leerlingen of ze weten wat een diagnose is en benadruk dat een diagnose stellen de taak is van een dokter. Verdeel de klas in drietallen en laat twee leerlingen de rol van dokter kiezen en één leerling de rol van patiënt.

Deel 1: Aan de hand van zelfbedachte vragen een diagnose stellen

Gebruik de gele kaartjes. Geef de patiënt-leerlingen de pagina met de patiënt en laat ze de kaartjes uitknippen. Geef de dokter-leerlingen de pagina met daarop de omschrijving van griep of voedselvergiftiging. De patiënt-leerling kiest één van de twee kaartjes; ze weet zelf niet bij welke ziektes deze symptomen horen. De dokter-leerlingen proberen erachter te komen welke van de twee ziektes de patiënt-leerling heeft. Dit doen zij door zelf tenminste drie gesloten vragen te bedenken. De patiënt-leerling mag enkel antwoorden met ja of nee. Om te weten wat hij moet antwoorden gebruikt hij de omschrijving op zijn kaartje. Als de dokter-leerlingen vragen stellen over iets waar geen informatie over op het kaartje staat, is het antwoord altijd nee. Laat de leerlingen dit vijf minuten proberen en bespreek na hoe het ging.

Deel 2: Aan de hand van een beslisboom een diagnose stellen

Laat de patiënt-leerling de gele kaartjes husselen. Hij/zij trekt vervolgens blind één van de kaartjes en bekijkt deze. Geef de dokter-leerlingen nu de afbeelding van de gele beslisboom en geef hen opnieuw de opdracht om achter het ziektebeeld van de patiënt-leerling te komen. Ze doen dit door de vragen uit de beslisboom te stellen. Hoe ging dit?

Laat de leerlingen die dat willen van rol wisselen. Er zijn nog steeds twee dokter-leerlingen en één patiënt-leerling. Herhaal de activiteit met de blauwe kaartjes en beslisboom.

Afronding

Bespreek de activiteit klassikaal na. Hoe ging het? Hielp de beslisboom met het stellen van een diagnose?

Verbinding met het thema

Leerlingen leren dat dokters diagnoses stellen door een beslisboom te gebruiken. Ze leren dat een ziekte een totaal is van een aantal kenmerken, waarvan voorbeelden zijn weergegeven in de beslisboom. De dokter is getraind om de combinatie van deze kenmerken te herkennen en in haar hoofd te koppelen aan een ziekte. Soms is het uitvragen en direct observeren van de patiënt niet voldoende. Dan kan verder onderzoek worden uitgevoerd door bijvoorbeeld een stukje weefsel af te nemen bij de patiënt. Dit stukje weefsel wordt dan geanalyseerd door de patholoog. Dit thema gaat over hoe computers de patholoog hierbij kunnen helpen.



Een beslisboom helpt deze twee leerlingen van de Gazelle om de juiste diagnose bij de klachten te stellen (Foto: Merel van 't Leven)

ACTIVITEIT 5: DIAGNOSTIEK DOOR DE PATHOLOOG

In deze activiteit nemen de leerlingen de rol in van een patholoog en proberen ze kankercellen te herkennen. Het onderwerp kanker kan gevoeligheden raken. Je kunt zelf het beste aanvoelen hoe de klas hierop zal reageren en welke leerlingen het hier eventueel moeilijk mee kunnen hebben. Belangrijk is dat de ouders goed op de hoogte worden gesteld van het thema zodat dit niet als een verrassing komt.

Subthema

Diagnose

Doelen

- De leerlingen maken kennis met het werk van een patholoog.
- De leerlingen leren dat het lastig is om zieke (kanker)cellen van gezonde cellen te onderscheiden in plaatjes van echt weefsel.

Duur

60 minuten

Werkvorm

In tweetallen

Benodigdheden

- PowerPoint 'Diagnostiek door de patholoog' over cellen, in deze presentatie staat ook het antwoordmodel
- Per tweetal: Werkblad 'Diagnostiek door de patholoog' in kleur afgedrukt
- Per tweetal: Een zwarte stift

Activiteit

Vertel dat het opsporen van zieke cellen belangrijk is voor het stellen van de diagnose en verwijs, indien je deze gedaan hebt, naar activiteit 4. Pols wat de leerlingen nu al weten over cellen en kankercellen. Leg daarna aan de hand van de PowerPoint presentatie uit wat cellen zijn en wat het werk van de patholoog inhoudt. Vertel daarna wat kankercellen zijn en leg de parallel uit tussen het vinden van kankercellen in een stuk weefsel en het vinden van Willem in de zoekplaat, indien je de introductieactiviteit gedaan hebt. Geef nu aan de hand van de PowerPoint een aantal voorbeelden en kenmerken van gezonde en zieke cellen. Aan welke kenmerken herkennen we zieke cellen?

Verdeel de klas in tweetallen en laat ze zelf ontdekken of ze de kankercellen op het werkblad kunnen onderscheiden. Laat daarbij dia 20 van de PowerPoint op het digibord staan als hulpmiddel. Laat hen op de drie platen, in volgorde van nummering (oplopende moeilijkheid) die cellen omcirkelen waarvan ze denken dat het zieke cellen zijn.

Afronding

Bespreek de activiteit klassikaal na. Laat het antwoordmodel zien. Vonden de kinderen het lastig? Laat eventueel de andere cellen zien om aan te tonen dat je bij het diagnosticeren naast zieke en gezonde cellen ook nog te maken hebt met hele andere categorieën cellen zoals bijvoorbeeld

vetcellen. Noem hierbij dat het herkennen van zieke cellen belangrijk is voor het stellen van een diagnose. Bespreek welke rol een slimme computer kan spelen in het herkennen van kankercellen.

Verbinding met het thema

In deze activiteit leren de kinderen meer over het vak van de patholoog. Ze leren dat het best lastig en tijdrovend kan zijn om te weten waar je precies op moet letten om kankercellen te herkennen. De onderzoekers toonden met hun onderzoek aan dat de computer het werk van de patholoog kan ondersteunen.



Leerlingen van de Gazelle ervaren hoe lastig het is om kankercellen te herkennen (Foto: Merel van 't Leven)

ACTIVITEIT 6: KANKER DIAGNOSTICEREN MET DE COMPUTER

In deze activiteit onderzoeken de leerlingen hoe goed de computer kankercellen kan herkennen. Het onderwerp kanker kan voor sommige leerlingen en ouders van leerlingen gevoelig liggen. Je kunt zelf het beste inschatten voor welke leerlingen dit geldt. Met deze leerlingen (en eventueel hun ouders) kan je van tevoren bespreken dat jullie een activiteit gaan doen in relatie tot dit onderwerp zodat ze hierop zijn voorbereid.

Subthema's

- Slimme computers
- Diagnose

Doelen

- De leerlingen maken kennis met een slimme computer die kankercellen van gezonde cellen kan onderscheiden.
- De leerlingen zien het verschil tussen hoe goed een computer en hoe goed zij zelf kankercellen kunnen identificeren.

Duur

60 minuten

Werkvorm

In viertallen

Benodigdheden

Per groepje:

- Een computer, laptop of tablet (iPads zijn niet getest, controleer eerst of het hierop werkt)
 - Zet daarop de afbeeldingen van kanker- en gezonde cellen
 - Open de website die kankercellen kan herkennen
- Werkblad 'Kanker diagnosticeren met de computer'
- Eerste pagina werkblad 'Diagnostiek door de patholoog' (activiteit 5)
- Antwoordsleutel 'Gezonde of zieke cel?'

Voorbereiding

Deze activiteit bouwt voort op activiteiten 3 en 5. Zorg dus dat je deze activiteiten met je klas hebt uitgevoerd voor je aan deze activiteit begint.

Download op elke computer die de leerlingen gaan gebruiken de afbeeldingen van kankercellen en gezonde cellen en pak het zip-bestand uit. Het uitpakken van het zip-bestand kan even duren omdat er veel plaatjes inzitten. Je ziet nu een map met oefenplaatjes en een map met testplaatjes. De oefenplaatjes hebben bestandsnamen waaruit blijkt wat erin zit (bijvoorbeeld kankercellen_000.jpg of normale_cellen_000.jpg). De testplaatjes hebben geen herkenbare bestandsnaam (bijvoorbeeld cellen_000.jpg). Probeer eerst zelf de activiteit uit.

Activiteit

Vertel de leerlingen dat ze gaan onderzoeken hoe goed een computer kankercellen kan herkennen. Ze doen dat met een website die lijkt op de slimme computer uit activiteit 3.

Deel 1: Kennismaking met de slimme computer

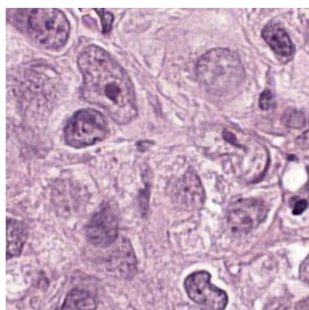
Vertel de leerlingen waar ze de website en de map met oefenplaatjes kunnen vinden. Laat hen dan vijf minuten hiermee aanrommelen. Stel de leerlingen daarna de vraag hoe goed ze denken dat de computer is in het herkennen van kankercellen.

Op de website kunnen plaatjes van cellen worden geüpload. Klik op de knop 'Probeer een plaatje' en selecteer 1 tot maximaal 4 plaatjes tegelijk. Dit kunnen plaatjes zijn van zowel normale cellen als kankercellen. In het gele balkje komt te staan op hoeveel van de plaatjes *de computer denkt* dat er een kanker cel te zien is. Daaronder staan nogmaals de geüploade plaatjes met daaronder de naam van het plaatje. Aan deze bestandsnaam kun je zien of *pathologen dachten* dat het een plaatje is van een gezonde of van een zieke cel. Aan de percentages die direct onder de kleine versie van de geüploade plaatjes staan kun je zien *hoe zeker de computer is* dat dit een gezonde of een zieke cel is. Hoe hoger het percentage, hoe zekerder de computer was.

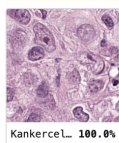
Kankercellendetector

Voeg hier plaatjes toe en zie welke plaatje tumorcellen bevatten

Probeer een plaatje!



Results: 1 plaatje geclassificeerd, 1 (100%) bevat er kankercellen.



De kankercellendetector zoekt zelf naar zieke cellen. Daarvoor hoeft alleen een scan van een weefselcoupe te uploaden.

Deel 2: Hoe goed zijn jij en de computer in het vinden van zieke cellen?

Geef hierna ieder groepje een werkblad en laat ze vanaf nu werken met testplaatjes. Laat hen vijf willekeurige plaatjes kiezen. Eerst proberen ze zelf te diagnosticeren of er gezonde of kankercellen op het plaatje staan. Dit doen zij aan de hand van de kenmerken van kankercellen die ze geleerd hebben in activiteit 5. Ze noteren hun eigen inschatting op het werkblad. Daarna laten ze de plaatjes aan de computer zien door ze te uploaden naar de website. Ze noteren of de computer dacht dat er een kanker cel op het plaatje te zien was (te zien in het gele balkje) en hoe zeker de computer is of dit

gezonde of zieke cellen zijn (het percentage achter de bestandsnaam van het plaatje). Wanneer de leerlingen hiermee klaar zijn, geef je ze de antwoordsleutel, zodat ze zelf hun eigen antwoorden en die van de computer kunnen nakijken.

Afronding

Bespreek de activiteit klassikaal na. Hoe ging het? Konden ze zelf goed de kankercellen van de gezonde cellen onderscheiden? Hoe vonden ze dat de computer het deed? Op welke manier zou zo'n slimme computer de dokter kunnen helpen?

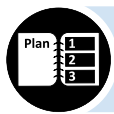
Verbinding met het thema

In deze activiteit komen de twee componenten van het thema samen: slimme computers en diagnostiek. De website waarop de leerlingen de te diagnosticeren plaatjes zien, is getraind op dezelfde manier als de slimme computer uit activiteit 3: hij heeft heel veel plaatjes gezien van zowel gezonde cellen als kankercellen. Op deze plaatjes stond weergegeven of en waar de kankercellen zich bevonden. Op basis van wat de 'computer' daarbij geleerd heeft, bepaalt hij nu of hij denkt dat er kankercellen in de testplaatjes zitten en waar.

De computer kan de dokter helpen om een diagnose te stellen. De leerlingen hebben mogelijk ook ervaren dat het best even duurt om erachter te komen of er op het plaatje kankercellen te vinden waren of niet. De computer kan dit sneller en bijkomend voordeel is ook dat deze niet moe wordt. Zo kan de computer de dokter ondersteunen bij diagnostiek.

Tip

Als de webpagina blijft hangen, kan je hem weer aan de gang krijgen door de webbrowser opnieuw op te starten.



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

Hieronder staan drie voorbeelden van onderzoek dat is bedacht en uitgevoerd door leerlingen van basisschool de Gazelle in Arnhem. Deze voorbeelden geven een beeld van de soort vragen die leerlingen over het thema 'Slimme computers' zouden kunnen stellen.

Kun je een slimme computer voor de gek houden?

Subthema: Slimme computers

Een onderzoeksgroepje wilde ontdekken of ze de slimme zelflerende computer uit activiteit 3 het onderscheid konden leren maken tussen een echte hand en een getekende hand. Dit deden ze door deze allebei aan de computer te laten zien. De leerlingen wisten of de computer het onderscheid kon maken, als deze een ander plaatje zou laten zien voor de echte hand dan voor de getekende hand. De computer kon dit en dit kwam overeen met wat de leerlingen hadden voorspeld. Verder kon hij ook het onderscheid maken tussen een echt gezicht en een tekening van een gezicht. Het lukte de computer niet om onderscheid te maken tussen een afbeelding van een dab-dansbeweging en een echte dab-dansbeweging. Mogelijk komt dit omdat de afbeelding van de dansbeweging een foto was en een foto meer lijkt op het camerabeeld van een fysiek persoon dan een tekening.



Leerlingen van de Gazelle testen of hun computers in staat zijn om bewegingen te identificeren (Foto: Merel van 't Leven)

*Wat vinden dokters van werken met slimme computers?**Subthema: Slimme computers*

Het onderzoeksgroepje had voorspeld dat dokters slimme computers handig zouden vinden omdat hun werk dan sneller af is. Ze hebben hiervoor drie artsen geïnterviewd. De eerste vraag was: 'Werkt u weleens met een slimme computer en hoe vaak?' Alle artsen antwoordden dat ze dagelijks met de gewone computer werken voor administratie of het opzoeken van informatie. Eén van de artsen werkte ook met een robot. Dit robotoharnas werd gebruikt om revalidatiepatiënten opnieuw te leren lopen. Dit harnas vangt hen op wanneer zij dreigen te vallen. Op de vraag of artsen bang zijn dat slimme computers hun werk zullen overnemen antwoordden ze allemaal dat dit niet het geval is. De reden die één van de artsen gaf, is dat de meeste slimme dingen die computers nu kunnen zijn 'ingesteld' door mensen. Ze denken juist dat de computer hen werk uit handen kan nemen, net zoals de leerlingen hadden voorspeld.

*Wat is de meest voorkomende manier waarop mensen een figuur in een zoekplaat zoeken?**Subthema: Diagnose*

De leerlingen hadden geleerd dat het doel van slimme computers is dokters te helpen sneller te kunnen zoeken. Maar op wat voor manier zoeken mensen eigenlijk? Gebruiken ze hiervoor alleen hun ogen of gebruiken ze ook hun vinger door bijvoorbeeld op een zoekplaat aan te wijzen waar ze waren gebleven? En welke zoekmethode is het snelste? Het groepje onderzocht deze vragen door vijftig medeleerlingen een zoekplaat te geven en hen daarop een figuur (Willem) te laten zoeken. Met een stopwatch hielden ze bij hoe lang iemand erover deed om Willem te vinden. Het bleek dat de meeste proefpersonen zowel hun ogen als hun vinger gebruikten bij het zoeken. Verder bleek dat zoeken met de ogen en de vinger net iets sneller was dan zoeken met alleen de ogen. Het groepje merkte wel dat het lastig was om precies te zien wat hun proefpersonen deden: de oog- en vingerbewegingen waren klein en het zoeken ging erg snel.

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 de Faculteit Educatie (Hogeschool van Arnhem en Nijmegen) en het Onderwijsinstituut Pedagogische Wetenschappen en Onderwijskunde (Radboud Universiteit).

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.

Sponsors

Het werk van het WKRU wordt mogelijk gemaakt door de Radboud Universiteit. Aanvullende sponsors van het WKRU zijn het Radboudumc en de Faculteit Educatie van de Hogeschool van Arnhem en Nijmegen.

www.wkru.nl

www.wetenschapdeklasin.nl



@wkru1



<http://lnked.in/WKRU1>

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 9** **Sport** – Wat is het effect van intensief sporten op de gezondheid van ons hart?
- Boek 9** **Slimme computers** – Hoe kunstmatige intelligentie dokters kan helpen bij het stellen van een diagnose
- Boek 9** **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?
- Boek 8** **Magneten** – Ontdek hoe magneten werken en welke invloed licht hierop heeft
- Boek 8** **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?
- Boek 7** **Jheronimus Bosch** – Wat maakt deze schilder zo bijzonder?
- Boek 7** **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
- Boek 6** **Stress** – Ontdek verschillende manieren waarop je op stress kunt reageren
- Boek 6** **Taal der zintuigen** – De invloed van taal en cultuur op zintuigelijke waarnemingen
+ een didactisch hoofdstuk: *'Begeleiden vanuit een groeimindset'*
- Boek 5** **Typisch Nederlands** – Kenmerken en vorming van de Nederlandse identiteit
- Boek 5** **Elkaar begrijpen** – Hoe komt het dat we elkaar begrijpen?
- Boek 5** **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
- Boek 4** **Netwerken in het brein** – Hoe werkt ons brein en wat is de relatie met DNA?
- Boek 4** **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
- Boek 3** **Onder invloed** – De invloed van de omgeving op risicovol gedrag
- Boek 3** **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
- Boek 2** **Gedrag** – Hoe zorgen je hersenen ervoor dat je verleidingen kunt weerstaan?
- Boek 2** **Infecties onder de loep** – De groei en eigenschappen van bacteriën en schimmels
- Boek 1** **Angst** – Wat is angst en hoe kun je het beïnvloeden?
- Boek 1** **Grafeen** – Wat zijn de verschillende unieke eigenschappen van grafeen?
- Boek 1** **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 en onderzoekers zijn hieronder niet apart vermeld, deze vallen alle onder het copyright van het Wetenschapsknooppunt Radboud Universiteit ©WKRU 2020. Deze foto's mogen wel worden gebruikt in een integrale kopie van minimaal twee pagina's.

Hoofdstuk 2: Sporten is gezond, toch?

- Evolutie van de mens achter de computer, aangepast van: Évolution du langage C++, door Jae-Zun, Florent B, Olivier H en Theppitak Karoonboonyanan, CC BY-SA 3.0 (bron: commons.wikimedia.org) 21
- Beweegnorm in beeld, © Kenniscentrum Sport, met toestemming geplaatst 22
- Dosis-respons relatie, Reprinted and translated from Exercise at the Extremes: *Journal of the American College of Cardiology*, vol. 67 no. 3, Thijs Eijvogels, Silvana Molossi, Duck-chul Lee, Michael Emery and Paul Thompson, The Amount of Exercise to Reduce Cardiovascular Events, p. 318, Copyright 2019, with permission from Elsevier 23
- Hypothese over dosis-respons relatie in extreme sporters, vertaald van: Conceptual overview of the "Extreme Exercise Hypothesis", door Thijs Eijvogels, Paul Thompson en Barry Franklin, CC BY 4.0 (bron: doi.org/10.1007/s11936-018-0674-3) 23
- Kransslagaders, aangepast van: Atherosclerosis, door Blausen, adapted by Oregon State University, CC BY-SA 2.0 (bron: flickr.com) 24
- Bloedsomloop, aangepast van: Blood Flow Through the Heart, door OpenStax College, CC BY 3.0 (bron: commons.wikimedia.org) 27

Hoofdstuk 3: Slimme computers helpen de dokter

- Een biopsienaald, CC BY-NC-SA 4.0 Maschenka Balkenhol, Meyke Hermsen, Jeroen van der Laak en Geert Litjens 57
- Een patholoog maakt gebruik van een computerscherm, CC BY-SA 2.0 ZEISS Microscopy (bron: commons.wikimedia.org) 58
- Moeilijk te herkennen kankercellen, CC BY-NC-SA 4.0 Maschenka Balkenhol, Meyke Hermsen, Jeroen van der Laak en Geert Litjens 59
- Herkenning van kankercellen, CC BY-NC-SA 4.0 Maschenka Balkenhol, Meyke Hermsen, Jeroen van der Laak en Geert Litjens 60
- Een lymfeklier onder de microscoop, CC BY-NC-SA 4.0 Maschenka Balkenhol, Meyke Hermsen, Jeroen van der Laak en Geert Litjens 63
- Patholoog kijkt in een microscoop, U.S. Navy, foto door Tom Watanabe, publiek domein (bron: commons.wikimedia.org) 64
- Kankercellendetector, schermafbeelding van geertlitjens.nl/metastaticcellclassifier, programma gemaakt door @brensudol, aangepast door Geert Litjens, onder Apache License 2.0 80

Hoofdstuk 4: Automatisch gedrag

• Telefoongebruik in de auto, door Roman Pohorecki, CC 0 (bron: stocksnap.io)	87
• Kuikentjes en bakjes popcorn, CC BY-NC-SA 4.0 WKRU, samengesteld uit:	89
-Kuikentjes, door Rafael Fernandez, Pixabay License (bron: pixabay.com)	
-Popcorn, door lee_2, Pixabay License (bron: pixabay.com)	
-Wielen, door OpenClipart-Vectors, Pixabay License (bron: pixabay.com)	
• Verloop van computerspel in het lab, CC BY-NC-SA 4.0 WKRU, samengesteld uit:	91
-Hand, door VintageSnipsAndClips, Pixabay License (bron: pixabay.com)	
-Button, door OpenClipart-Vectors, Pixabay License (bron: pixabay.com)	
• Straf en beloning, CC BY-NC-SA 4.0 WKRU, samengesteld uit:	92
-Spin, door Mohamed Hassan, Pixabay License (bron: pixabay.com)	
-Chocola, door Trang Le, Pixabay License (bron: pixabay.com)	
• Edelstenen die voorkomen in het computerspel, CC BY-NC-SA 4.0 WKRU, samengesteld uit:	95
-Man, door OpenClipart-Vectors, Pixabay License (bron: pixabay.com)	
-Hand, door VintageSnipsAndClips, Pixabay License (bron: pixabay.com)	
-Button, door OpenClipart-Vectors, Pixabay License (bron: pixabay.com)	
• De resultaten van het onderzoek, CC BY-NC-SA 4.0 WKRU, samengesteld uit:	96
-Hand, door VintageSnipsAndClips, Pixabay License (bron: pixabay.com)	
-Button, door OpenClipart-Vectors, Pixabay License (bron: pixabay.com)	
• De prefrontale cortex in dieren en mensen, CC BY-NC-SA 4.0 WKRU, aangepast van:	96
Evolution connection, door CNX OpenStax, CC BY 4.0 (bron: cnx.org)	
• Dopamine in de zenuwcel, CC BY-NC-SA 4.0 WKRU, aangepast van:	97
Generic Neurotransmitter System, door NIDA (NIH), publiek domein (bron: commons.wikimedia.org)	

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.

Sponsoren

Het WKRU wordt mogelijk gemaakt door:

Radboud Universiteit



Aanvullende sponsoren:

Radboudumc



HAN_UNIVERSITY
OF APPLIED SCIENCES