

Wetenschappelijke doorbraken de klas in!

Malaria, Jheronimus Bosch en Geheugen

Sanne Dekker & Jan van Baren-Nawrocka

Hoofdstuk 5: Geheugen



Sanne Dekker & Jan van Baren-Nawrocka (redactie)



wetenschapsknooppunt
Radboud Universiteit



Colofon

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

Copy-editing: Luutje Niemantsverdriet

Opmaak: Ferdie Westen

Druk en afwerking: Zalsman B.V. Zwolle

Coverfoto's: Jimmy Israel, © WKRU

Eerste druk, januari 2018

ISBN: 978-90-818461-6-5

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



2018 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. 210).

Hoofdstuk 5 Geheugen

In dit hoofdstuk beschrijven we een project met als thema 'Geheugen'. Het thema is gebaseerd op het onderzoek van Christian Doeller en zijn team naar hoe we gebeurtenissen onthouden. Het hoofdstuk bestaat uit twee delen. In paragraaf 5.1 leggen de onderzoekers uit hoe ze hebben ontdekt dat er een verband is tussen het onthouden van routes en het onthouden van gebeurtenissen. Ook beschrijven ze welk inzicht deze kennis ons geeft in de werking van ons episodisch geheugen – het geheugen waarmee je gebeurtenissen onthoudt. Leraren kunnen deze paragraaf gebruiken als inhoudelijke voorbereiding voordat ze met het thema aan de slag gaan in de klas. In paragraaf 5.2 beschrijft het projectteam hoe leraren dit thema in de klas kunnen behandelen, waarbij ze de zeven stappen van onderzoekend leren volgen. De leidraad uit hoofdstuk 2, die een algemene handleiding voor onderzoekend leren beschrijft, vormt daarbij de basis. We raden dan ook aan om hoofdstuk 2 als uitgangspunt te nemen bij de uitvoering van een project met dit thema in de klas.

Projectteam 'Geheugen'

Dit hoofdstuk is gebaseerd op een project dat is vormgegeven door een projectteam waarin onderzoekers van de Radboud Universiteit samenwerken met basisscholen en het WKRU. Het projectteam 'Geheugen' werkte samen in het schooljaar 2016-2017 en bestond uit de volgende mensen:

Onderzoekers Radboud Universiteit

Prof. dr. Christian Doeller (hoogleraar), Silvy Collin (promovenda), Claudia van Dun (promovenda) en dr. Branka Milivojevic (postdoc). Alle vier zijn verbonden aan het Donders Instituut voor Neuroimaging, waar zij onderzoek doen naar de werking van het geheugen.

Scholen

OBS Weisterbeek, Horst: Janine Verbruggen (leraar), Annemie Lomme (leraar), Ellen Goertz (leraar)
De Tragellijn, Lobith: Erik Jägers (leraar), Reinder Rijzewijk (leraar)
Willibrordus, Spijk: Frank Hendriksen (leraar)

WKRU

Dr. Sanne Dekker (hoofd WKRU)

5.1 Onderzoek naar geheugennetwerken

Prof. dr. Christian Doeller, Silvy Collin (MSc), Claudia van Dun (MSc), Dr. Branka Milivojevic

Inleiding

De naam van je buurman kennen, de weg naar de supermarkt kunnen onthouden, kunnen fietsen, je de gesprekken herinneren die je gisteren met je collega's had: dit alles komt voort uit je geheugen. Juist omdat het geheugen een dergelijke belangrijke functie vervult in ons dagelijks leven, is het van groot belang om beter te leren begrijpen hoe het functioneert. Er zijn verschillende vormen van geheugen. Het onthouden van feiten noemen we het semantisch geheugen en het onthouden van vaardigheden het procedureel geheugen. In ons onderzoek zijn we echter geïnteresseerd in het episodisch geheugen. Met het episodisch geheugen bedoelen we het geheugen voor gebeurtenissen. Het episodisch geheugen stelt ons dan ook in staat om de vele gebeurtenissen die we meemaken daadwerkelijk te kunnen onthouden (zie 'Patiënt H.M.' bij Achtergrondinformatie). Hoe lukt het ons brein de vele gebeurtenissen die we meemaken in ons leven te onthouden? Onderzoek naar het episodisch geheugen is sterk verwant aan onderzoek naar ruimtelijke navigatie, dus naar hoe we onze weg vinden. Dezelfde hersengebieden blijken namelijk betrokken te zijn bij zowel ruimtelijke navigatie als episodisch geheugen. Om deze reden is onderzoek naar ruimtelijke navigatie ook erg informatief voor de werking van het brein bij episodisch geheugen.

Plaatscellen en rastercellen

Veel kennis over de werking van het brein tijdens het onthouden komt voort uit proefdieronderzoek. De onderzoekers John O'Keefe, en May-Britt en Edvard Moser deden bij onderzoek met proefdieren baanbrekende ontdekkingen over het geheugen. Om te onderzoeken hoe de hersenen ons in staat stellen om bijvoorbeeld de weg naar de supermarkt te vinden, implanteerden ze bij ratten elektroden in de hippocampus, het hersengebied dat betrokken is bij geheugen. Vervolgens moest de rat in een ruimte rondlopen terwijl een camera bijhield waar hij zich bevond. Ondertussen werd met behulp van de elektroden de hersenactiviteit van de hippocampus gemeten. Uit deze metingen bleek dat één specifieke groep cellen in de hippocampus altijd actief werd op één specifieke plaats in de ruimte. Andere groepen cellen in de hippocampus werden niet actief op die plaats, maar juist op andere plaatsen in de ruimte. Met dit onderzoek werd duidelijk dat er cellen zijn in onze hersenen die als het ware een kaart van onze omgeving in ons brein kunnen vormen. Deze landkaart in ons brein helpt ons vervolgens om bijvoorbeeld de weg naar de supermarkt te vinden. Deze cellen kregen de naam plaatscellen (zie afbeelding).



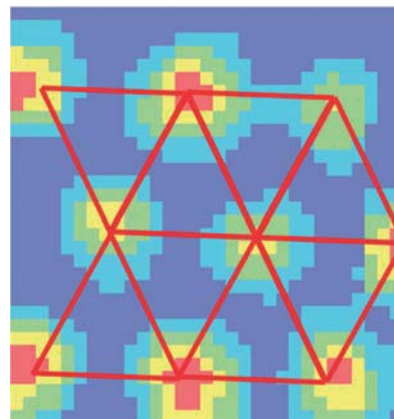
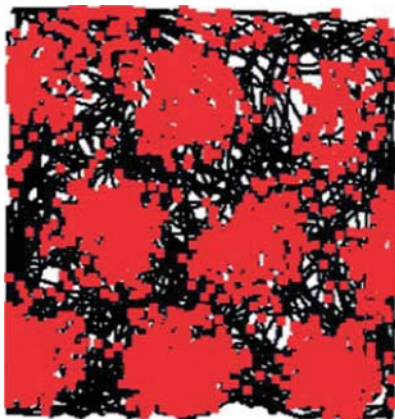
Dit is een voorbeeld van een plaatscel. De zwarte lijn geeft weer waar deze rat gelopen heeft. Ieder rood puntje geeft aan waar de plaatscel die op dit moment in de hippocampus van de rat gemeten wordt, actief wordt.



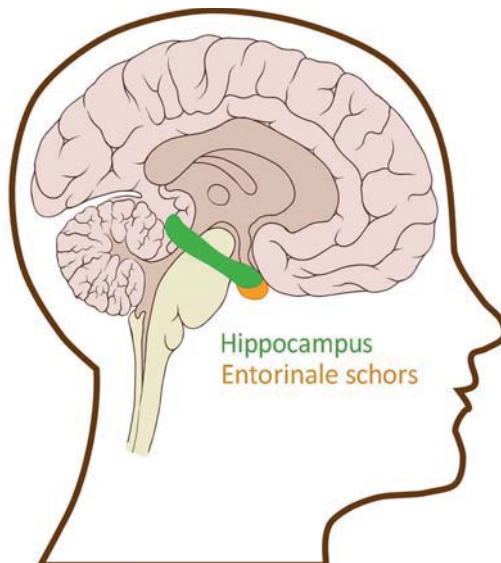
Prof. dr. Christian Doeller

“Ik raakte al vroeg geïnteresseerd in de menselijke psyche. Om die reden ging ik dan ook psychologie studeren. Tijdens deze studie kwam ik tot de conclusie dat ik menselijke cognitie alleen echt kon gaan begrijpen als ik het brein beter zou begrijpen. Als modelsysteem voor menselijke cognitie heb ik er toen voor gekozen om geheugen te gaan bestuderen. Dit omdat geheugen zo cruciaal is in ons leven! Het heeft immers een verwoestend effect wanneer het geheugen niet meer goed genoeg werkt. We weten best veel van de fysiologische kant van geheugen en navigatie, maar hoe houdt dit verband met cognitie? Mijn onderzoek bij het Donders Instituut (Radboud Universiteit) en Kavli Institute (Noorwegen) richt zich dan ook op het ontstaan van netwerken van herinneringen in ons brein en hoe deze netwerken ons helpen om onze omgeving in kaart te brengen. Naast het doen van onderzoek om het menselijk brein beter te leren begrijpen, vind ik het belangrijk dat wetenschap een grotere rol gaat spelen bij beleidsvorming. Om deze reden ben ik mede-oprichter van de Young Academy of Europe, een initiatief van wetenschappers om het Europese beleid omtrent wetenschap te beïnvloeden. Daarnaast is het natuurlijk van groot belang om de volgende generatie neuro-wetenschappers op te leiden. Zij moeten de best mogelijke training krijgen om alle kennis en vaardigheden op te doen die nodig zijn om de leiders van de toekomst te worden, zowel in als buiten de wetenschap.”

Edvard en May-Britt Moser deden daarna echter nog een belangrijke ontdekking, namelijk de ontdekking van rastercellen (zie afbeelding). Rastercellen vind je in de entorinale schors van je hersenen. Dit is een hersengebied dat direct naast de hippocampus ligt (zie afbeelding) en veel verbindingen heeft met de hippocampus. Rastercellen hebben deze naam gekregen omdat deze cellen niet op één specifieke plaats in de omgeving actief werden, maar op meerdere plaatsen in de omgeving. Het bleek echter dat dit niet zomaar willekeurige plekken zijn, maar dat deze een zeshoekig patroon vormen dat de hele omgeving bestrijkt. Dit zeshoekige patroon vormt als het ware een soort coördinatenstelsel van je omgeving dat ervoor zorgt dat je beter je weg kunt vinden in je omgeving.



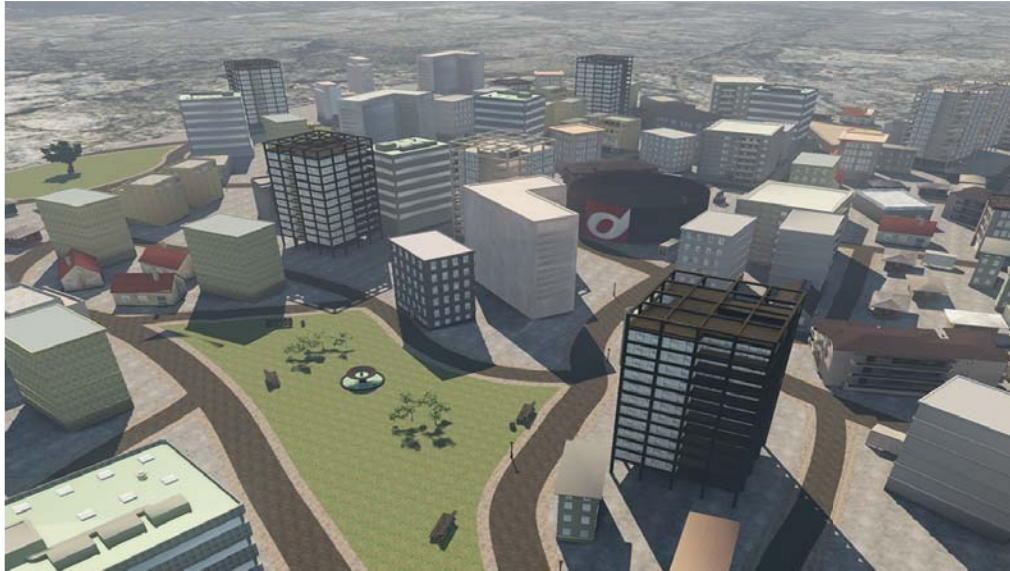
Dit is een voorbeeld van een rastercel. Aan de linkerkant zie je in het zwart waar de rat gelopen heeft en in het rood waar deze rastercel actief wordt. Aan de rechterkant zie je verduidelijkt wat met het zeshoekig patroon bedoeld wordt.



De hippocampus (groen) en entorinale schors (oranje) zijn hersengebieden diepegelegen in het brein

Geheugenonderzoek bij mensen

Dit alles gaf belangrijke inzichten in de werking van het geheugen, maar al deze onderzoeken zijn uitgevoerd bij ratten. Wij willen met ons onderzoek inzicht krijgen in hoe geheugenprocessen werken in de hersenen van mensen. Met behulp van een techniek die functionele **Magnetic Resonance Imaging** (fMRI) heet (zie 'Magnetic Resonance Imaging (MRI)' bij Achtergrondinformatie) hebben we nu ook bij mensen kunnen onderzoeken wat er gebeurt in het brein wanneer we de weg proberen te vinden. Dit hebben we gedaan door mensen op een computer te laten navigeren door een levens-echte virtuele stad (zie afbeelding). Uit ons onderzoek bleek dat activiteit in de entorinale schors tijdens navigatie een zeshoekig patroon laat zien, net als het zeshoekige patroon dat in de rastercellen van proefdieren ontdekt werd. Menselijke hersenen bevatten dus ook een soort landkaart van de omgeving. Zo'n landkaart helpt je bijvoorbeeld de weg naar de supermarkt te vinden.

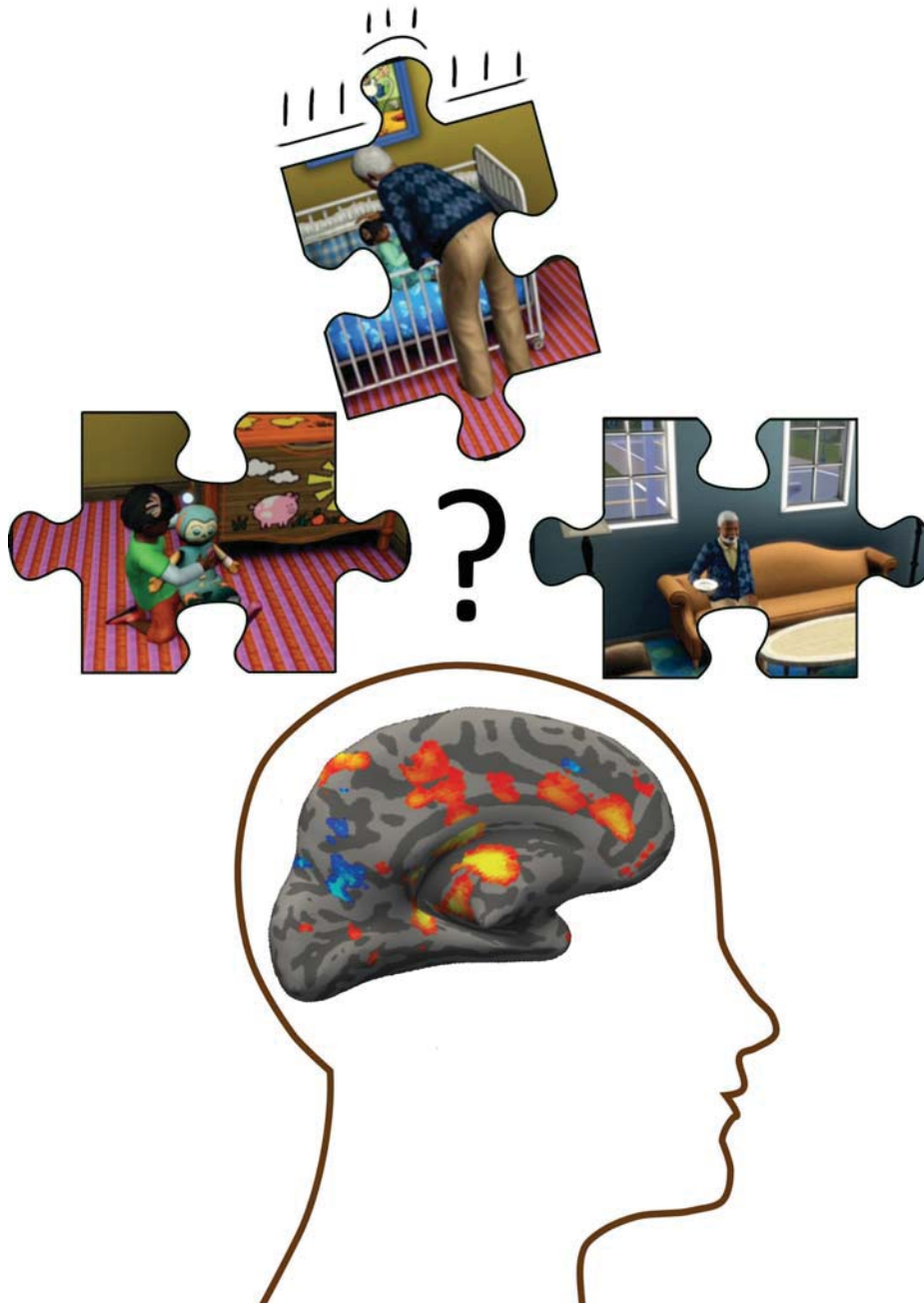


De virtuele stad die we hebben gemaakt om mensen in de MRI-scanner zich hun weg te laten vinden

Geheugennetwerken

Behalve de weg naar de supermarkt, onthoud je ook de dingen die je onderweg ziet en meemaakt. Bijvoorbeeld dat je in de supermarkt een goede vriend bent tegengekomen, dat je je boodschappen bij de kassa hebt afgerekend en dat je je auto op de parkeerplaats bij de supermarkt hebt gezet. Hoe kunnen we al deze verschillende gebeurtenissen onthouden? En hoe kunnen we onthouden welke gebeurtenissen bij elkaar horen en welke niet?

Wederom gebruikten we fMRI om te onderzoeken hoe onze hersenen verbanden leggen tussen gebeurtenissen in ons geheugen. Tijdens dit onderzoek lieten we proefpersonen filmpjes van gebeurtenissen zien, terwijl zij in een MRI-scanner lagen. Een voorbeeld: een filmpje liet een peuter zien die op haar kamer met een pop aan het spelen is. Een ander filmpje toonde een oudere man die soep zit te eten op de bank. Nadat de proefpersoon dergelijke filmpjes een aantal keren goed bekeken had, lieten we een nieuw filmpje zien. In dit filmpje bracht de oudere man de peuter naar bed. Nu je deze informatie gekregen hebt, weet je dat het filmpje van de op de grond spelende peuter en het filmpje van de man die op de bank soep eet eigenlijk samen in hetzelfde verhaal thuishoren (zie afbeelding). Het nieuwe filmpje gaf dus meer inzicht in hoe de voorgaande filmpjes een samenhangend verhaal konden vormen. De fMRI-scans lieten zien dat de hersenactiviteit in de hippocampus tijdens het kijken naar de filmpjes meer op elkaar begon te lijken zodra de proefpersonen wisten dat de filmpjes bij elkaar hoorden, omdat ze een samenhangend verhaal vertelden. De hippocampus maakt dus als het ware één nieuw netwerk dat herinneringen bevat van alle gebeurtenissen die bij elkaar horen.



De relatie tussen gebeurtenissen (linker- en rechterpuzzelstukje) wordt pas duidelijk wanneer de gebeurtenis in het missende puzzelstukje aan het licht komt (in het midden). In ons onderzoek werd duidelijk wat in de hersenen gerepresenteerd wordt wanneer mensen tot een dergelijk inzicht komen.

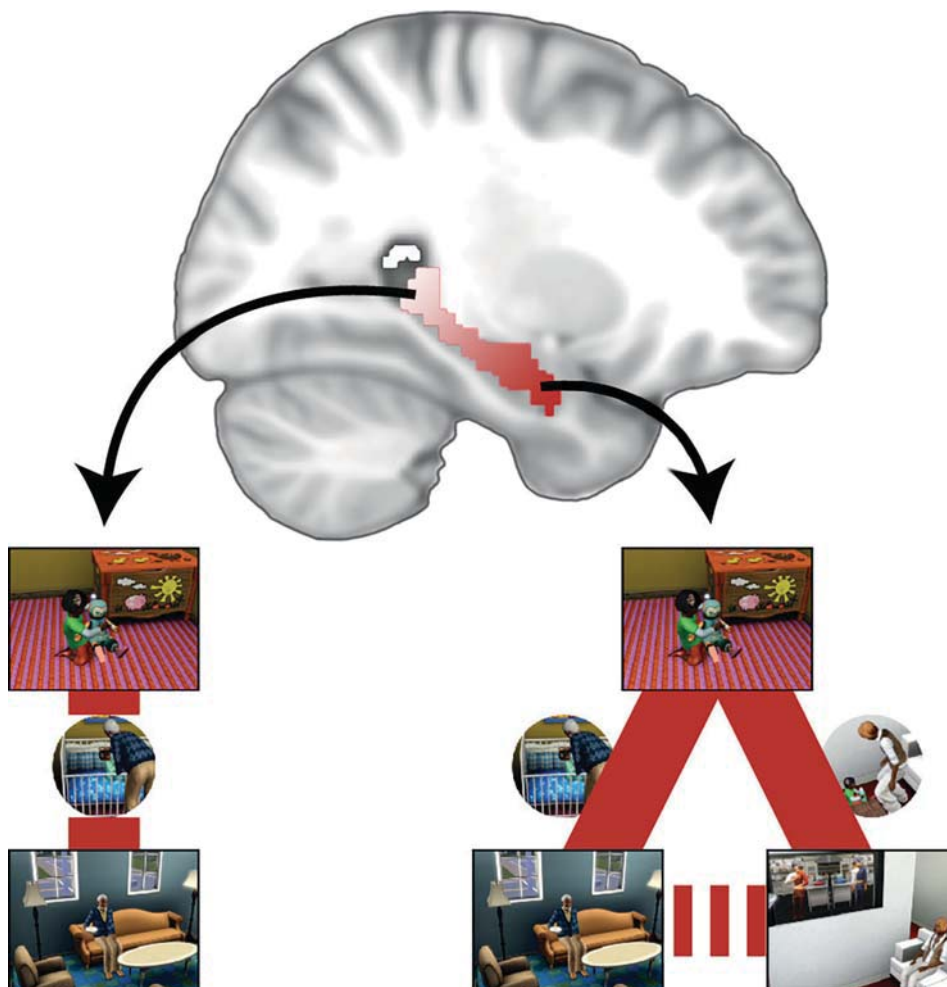
Het is tevens belangrijk om nieuwe herinneringen te kunnen koppelen aan eerdere herinneringen. Ook als er veel tijd zit tussen verschillende gebeurtenissen moet je namelijk kunnen onthouden dat deze gebeurtenissen bij elkaar horen. Naast de hippocampus is ook de mediale prefrontale schors, een hersengebied aan de voorkant van de hersenen, belangrijk bij het koppelen van nieuwe informatie aan al eerder opgedane kennis. Een methode die gebruikmaakt van het vermogen van het brein om nieuwe informatie aan bestaande kennis te koppelen is de methode van Loci. Bij deze methode koppel je nieuwe (te onthouden) informatie aan bekende locaties van een bepaalde route waardoor je de nieuwe informatie gemakkelijker en sneller kunt onthouden. Loci betekent 'locaties'. Neem bijvoorbeeld de route van je huis naar je werk. Als je een aantal dingen moet onthouden, kun je deze (voor jou) bekende route van huis naar werk afleggen en elke specifieke locatie van deze route als het ware koppelen aan een van de dingen die je moet onthouden. Als je dezelfde route nogmaals aflegt en dus dezelfde locaties weer tegenkomt, kun je je gemakkelijker herinneren welke dingen je probeerde te onthouden. Dit werkt ook als je de bekende route niet daadwerkelijk aflegt, maar als je deze route in gedachten aflegt. Mensen met een superieur geheugen, bijvoorbeeld mensen die meedoen aan wereldkampioenschappen geheugen, geven vaak aan deze methode te gebruiken als ze in korte tijd veel informatie moeten onthouden. Om vervolgens te kunnen testen hoe goed mensen informatie onthouden hebben, kun je gebruikmaken van verschillende soorten geheugentesten die ieder op een andere manier het geheugen testen (zie 'Geheugentesten' bij Achtergrondinformatie).

Hiërarchie

Herinneringen aan gebeurtenissen kunnen dus een rechtstreeks verband hebben met elkaar. Daarnaast vormen gebeurtenissen ook een bepaalde hiërarchie. Neem bijvoorbeeld het eerdergenoemde voorbeeld over het onthouden van de verschillende gebeurtenissen die je meemaakt bij een bezoek aan de supermarkt, zoals het parkeren van je auto op de parkeerplaats, het tegenkomen van een vriend in de supermarkt en het betalen van je boodschappen aan de kassa. Naast de specifieke gebeurtenissen die bij het supermarktbezoek horen, zijn er nog veel meer gebeurtenissen in je geheugen opgeslagen die in meer of mindere mate een verband hebben met dit supermarktbezoek, zoals een eerder bezoek aan dezelfde supermarkt een maand geleden. Al deze herinneringen vormen samen een hiërarchie. Op het laagste niveau in de hiërarchie staan heel gedetailleerde herinneringen aan een specifieke gebeurtenis (herinneringen met een fijne resolutie). Op het hoogste niveau staan herinneringen op een veel algemener niveau (herinneringen met een grove resolutie). Zo zou in het voorbeeld dat hierboven beschreven wordt 'naar de supermarkt gaan' het hoogste niveau in de hiërarchie zijn. Op dat grove niveau in de hiërarchie vormt zich één groot netwerk met alle herinneringen van gebeurtenissen die op een of andere manier met 'naar de supermarkt gaan' te maken hebben. Een niveau lager in de hiërarchie vind je de herinneringen aan alle specifieke keren dat je naar precies deze supermarkt bent geweest. Weer een niveau lager in de hiërarchie vind je de specifieke gebeurtenissen tijdens elk van je afzonderlijke supermarktbezoekjes, zoals het tegenkomen van je vriend afgelopen zaterdag in de supermarkt. Zo kun je dus alle gebeurtenissen die je meemaakt meerdere keren terugvinden (in verschillende resoluties) op verschillende niveaus in een hiërarchie. Daarbij zoomen de herinneringen op een laag niveau in de hiërarchie als het ware in op enkele specifieke gebeurtenissen met een direct verband met elkaar. Herinneringen op een hoog niveau in de hiërarchie bevatten juist weinig details maar geven wel een overzicht over vele gebeurtenissen die op een of andere manier aan elkaar gerelateerd zijn.

Geheugen

In een van onze onderzoeken legden wij proefpersonen in een MRI-scanner terwijl ze filmpjes te zien kregen van verschillende gebeurtenissen. Deze gebeurtenissen werden vervolgens aan elkaar gekoppeld, waarbij sommige gebeurtenissen een rechtstreeks verband kregen met elkaar en andere gebeurtenissen indirect iets met elkaar te maken hadden. Bijvoorbeeld, het parkeren van je auto bij de supermarkt afgelopen zaterdag had een rechtstreeks verband met het tegenkomen van je vriend tijdens hetzelfde supermarktbezoek. Echter, dit heeft een indirect verband met een herinnering aan een andere keer toen je besloot om samen met deze vriend boodschappen te gaan doen. Zo bouwden we als het ware een hiërarchie van deze gebeurtenissen. Uit dit onderzoek bleek dat de achterkant van de hippocampus de herinneringen van het laagste en meest gedetailleerde niveau van de hiërarchie opslaat. Tegelijkertijd slaat de voorkant van de hippocampus de herinneringen op een hoger niveau in de hiërarchie op (zie afbeelding). Zo zorgen de hersenen er dus voor dat je kunt onthouden welke specifieke gebeurtenissen plaatsvinden terwijl je tevens het overzicht kunt houden over hoe deze gebeurtenissen met elkaar in verband staan.



Ons onderzoek toonde aan dat de grove resolutie van een herinnering aan de voorkant van de hippocampus gerepresenteerd wordt (rechterkant van het figuur) en de fijne resolutie aan de achterkant (linkerkant van het figuur)

Conclusie

Ons onderzoek heeft aangetoond wat er in onze hersenen gebeurt terwijl we onze weg vinden van A naar B en herinneringen vormen van de gebeurtenissen die we onderweg meemaken. De hippocampus blijkt een belangrijke rol te spelen bij zowel het vinden en onthouden van de weg door je omgeving als bij het opslaan van de herinneringen aan gebeurtenissen die je meemaakt. Ons onderzoek toonde aan dat de hippocampus het hersengebied is dat verbanden legt tussen verschillende bij elkaar horende gebeurtenissen. De hippocampus maakt dus als het ware een mentale kaart van de gebeurtenissen die je meemaakt. Diezelfde hippocampus vormt, samen met de naastgelegen entorinale schors, als het ware een kaart van je omgeving in je brein die je helpt bij het vinden en onthouden van de weg. Dit werd duidelijk doordat onderzoek aantoonde dat de entorinale schors van mensen een bepaald patroon aan activatie laat zien dat gelijk is aan het patroon van activatie van de rastercellen in de hippocampus van ratten.

Dit soort onderzoek leidt tot basale kennis van de werking van het brein bij geheugen, maar het kan ook de aanzet zijn voor onderzoek dat leidt tot belangrijke toepassingen. De hippocampus is namelijk tevens het hersengebied dat het eerst aangetast wordt bij de ziekte van Alzheimer. Onderzoek liet zien dat mensen met een verhoogd risico op de ziekte van Alzheimer al een minder stabiel zeshoekig activatiepatroon hebben in hun entorinale schors, ver voordat ze symptomen van de ziekte kregen. Deze mensen hebben dus een minder stabiele mentale landkaart van hun omgeving in hun brein. Hopelijk kunnen dit soort ontdekkingen er in de toekomst uiteindelijk toe leiden dat de ziekte van Alzheimer in een vroeger stadium wordt ontdekt. Het onderzoek naar geheugennetwerken laat zien hoe belangrijk het is om tijdens het leren van nieuwe informatie, eerdere informatie die hieraan gerelateerd is zich actief te herinneren. Door de veranderingen die we hebben gezien in het brein, weten we dat het voor kinderen gemakkelijker is om nieuwe informatie te koppelen aan al bekende gerelateerde informatie. Op deze manier worden de kinderen dus gestimuleerd om sterke geheugennetwerken te vormen die hen kunnen helpen nieuwe informatie snel te onthouden.

Onderzoek naar geheugennetwerken

In onderstaand kader staat een voorbeeld van hoe Christian Doeller en zijn team onderzoek hebben gedaan naar geheugennetwerken. Vanuit een onderzoeksvraag beschrijven ze wat hun aanpak is geweest, welke resultaten het heeft opgeleverd en welke vervolgvragen het oproept. Hiermee willen we de link laten zien tussen de aanpak van de onderzoekers en die van leerlingen.

Onderzoeksvraag

Hoe zorgt je brein ervoor dat je kunt onthouden welke gebeurtenissen bij elkaar horen en welke niet?

Hoe doen we dit onderzoek?

Het onderzoek bestond uit drie delen waarbij proefpersonen in de MRI-scanner naar filmpjes keken. Zo konden we plaatjes van hun hersenen verzamelen terwijl ze naar de filmpjes keken.

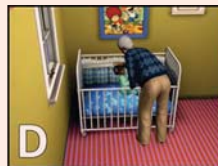
Deel 1

Tijdens deel 1 van het onderzoek zagen proefpersonen een aantal filmpjes van gebeurtenissen die niets met elkaar te maken lijken te hebben, zoals de filmpjes A, B en C die je hieronder ziet.



Deel 2

In deel 2 van het onderzoek zagen de proefpersonen nieuwe filmpjes, waardoor ze erachter konden komen hoe de filmpjes uit deel 1 bij elkaar horen. Zoals filmpje D hieronder.



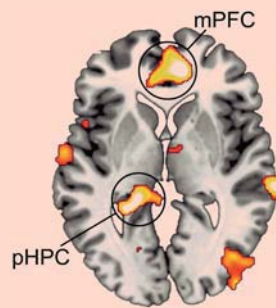
In dit voorbeeld worden filmpje A en B uit deel 1 met elkaar verbonden door filmpje D. In dat filmpje zien we namelijk hoe de oude man, die we in filmpje B zagen, het meisje uit filmpje A in bed legt. Filmpje C hoort er niet bij en fungeert als controlefilmpje.

Deel 3

In deel 3 van het onderzoek zagen de proefpersonen nogmaals filmpjes A, B en C uit deel 1 van het onderzoek. Op dit moment weten de proefpersonen welke filmpjes bij elkaar horen. Tijdens het bekijken van de filmpjes wordt hun hersenactiviteit gemeten.

Resultaten

Om antwoord te vinden op onze vraag hebben we de plaatjes van de hersenen van onze proefpersonen geanalyseerd. Door de hersenplaatjes van deel 1 en deel 3 van het onderzoek met elkaar te vergelijken, konden we nagaan wat er gedurende het experiment veranderde. Het enige verschil tussen deel 1 en deel 3 is dat in deel 3 de proefpersonen weten welke filmpjes bij elkaar horen en welke niet, terwijl dat nog niet het geval is in deel 1. Zo kunnen we bekijken wat er in de hersenen gebeurt wanneer je erachter komt welke gebeurtenissen bij elkaar horen en welke niet.



Het resultaat hiervan zie je in het hersenplaatje in de afbeelding. Wat bleek is dat voornamelijk de hippocampus (een hersengebied diepgelegen in het brein, aangegeven in het onderstaande plaatje als pHPC) en de mediale prefrontale schors (een hersengebied vooraan in het brein gelegen en aangegeven in het plaatje als mPFC) de losse stukjes herinnering aan elkaar verbinden. De hersenactiviteit in de hippocampus en mediale prefrontale schors ging namelijk meer op elkaar lijken wanneer er een verband was tussen herinneringen van gebeurtenissen. Deze hersengebieden vormen dus een soort geheugennetwerken van de gebeurtenissen.

Wat betekenen deze resultaten voor het dagelijks leven van de kinderen?

Onze resultaten geven basale kennis over het functioneren van het brein tijdens het onthouden van gebeurtenissen. Het resultaat wijst erop dat sommige gebieden in de hersenen losse stukjes herinnering aan elkaar koppelen om zo gebeurtenissen beter te kunnen onthouden. Door deze inzichten op school toe te passen, zou je kinderen makkelijker kunnen laten leren. Bijvoorbeeld door kinderen te helpen informatie aan elkaar te koppelen, door hen zelf te laten bedenken hoe nieuwe informatie verband houdt met wat ze al weten, of door hen inzicht te geven in hoe het geheugen werkt.

Wat willen we nog meer onderzoeken?

We zijn benieuwd naar hoe de hersenen de ontstane geheugennetwerken weer kunnen aanpassen nadat er nieuwe gebeurtenissen plaatsgevonden hebben. En naar hoe we mensen kunnen trainen om beter te worden in het vormen van dergelijke geheugennetwerken.

ACHTERGRONDINFORMATIE

Patiënt H.M.

Veel van wat we nu weten over het episodisch geheugen, hebben we te danken aan baanbrekend onderzoek dat werd uitgevoerd bij een patiënt die bekend is komen te staan als "H.M.". Deze patiënt had een ernstige vorm van epilepsie waartegen medicatie niet hielp. Om hem van de epilepsie af te helpen, werd besloten de hippocampus aan beide kanten van zijn hersenen te verwijderen. Aangezien zijn epileptische aanvallen telkens in de hippocampus ontstonden, hielp deze operatie hem inderdaad van zijn epilepsie af. Echter, de operatie had een grote bijwerking. Patiënt H.M. kon namelijk vanaf dat moment geen nieuwe gebeurtenissen meer onthouden. Als hij bekenden tegenkwam die hij na de operatie had ontmoet, was het steeds alsof hij ze voor het eerst ontmoette. Zelfs heel ernstige gebeurtenissen die na de operatie plaatsvonden, zoals het overlijden van zijn vader, kon H.M. zich niet herinneren. H.M. heeft sindsdien aan veel geheugenonderzoeken deelgenomen. Onderzoek bij patiënt H.M. heeft dus voor het eerst aangetoond hoe belangrijk de hippocampus is voor het onthouden van gebeurtenissen.

Magnetic Resonance Imaging (MRI)

MRI is een onderzoeksmethode waarmee we de structuur en de functie van het brein onderzoeken. Als je de structuur van het brein wilt onderzoeken, maak je gebruik van structurele MRI (MRI). Wanneer je de functie van het brein wilt onderzoeken, maak je gebruik van functionele MRI (fMRI). Een MRI-scanner ziet eruit als een soort tunnel die aan beide kanten open is. Tijdens een hersenonderzoek wordt de proefpersoon met het hoofd in deze tunnel geschoven. De MRI-scanner is eigenlijk een heel sterke magneet en in de tunnel van de MRI-scanner is er dan ook een sterk magnetisch veld. Hiermee kunnen de hersenen in kaart gebracht worden, omdat de verschillende delen van de hersenen anders reageren op de magneet. De grijze stof van de hersenen (cellichamen van zenuwcellen) reageert namelijk anders op de magneet dan de witte stof (uitlopers van deze zenuwcellen). Er is een groot verschil met het eerder omschreven hersenonderzoek bij proefdieren waarbij elektroden in de rattenhersen worden geplaatst. De elektroden in de rattenhersen meten de hersenactiviteit namelijk rechtstreeks. Een MRI-scanner kan de activiteit van je hersenen niet rechtstreeks meten. Maar wat meten we dan wel? Wanneer een hersengebied actief wordt, verbruikt het gebied meer zuurstof; die wordt aangeleverd via de bloedvaten. Met functionele MRI meten we eigenlijk de verandering in zuurstofdeeltjes in het bloed. Met behulp van deze verandering van zuurstofdeeltjes in het bloed kan een MRI-scanner plaatjes maken van de hersenen.

Geheugentesten

Er zijn verschillende manieren om het geheugen te testen. De manier waarop je test heeft invloed op hoeveel mensen zich kunnen herinneren. Bij het opzetten van een geheugenonderzoek is het dus belangrijk om goed na te denken over wat het doel van het onderzoek is. Met andere woorden, wat wil ik vast kunnen stellen over het geheugen van deze proefpersonen? Op basis daarvan kies je dan een geschikte geheugentest. Dit wordt ook toegepast op scholen, bijvoorbeeld bij de keuze tussen meerkeuze- of open vragen.



Een MRI-scanner op het Donders Instituut

Wat is de beste manier om geheugen te testen? Onderzoekers hebben verschillende manieren ontwikkeld om geheugen te testen. Bij een 'herkenningstest' laat je de informatie die de proefpersonen hebben moeten leren in een willekeurige volgorde zien en kijk je vervolgens of je proefpersoon de informatie nog herkent. Om het moeilijker te maken, voeg je informatie toe die je proefpersoon niet heeft gezien en kijk je of je proefpersoon inderdaad correct aangeeft deze informatie nog niet eerder gezien te hebben. Bij een 'herinneringstest' vraag je enkel en alleen aan je proefpersoon om de informatie op te noemen die ze gezien hebben en moet je proefpersoon vervolgens zelf opnoemen welke informatie zij zich nog herinnert. Een 'herinneringstest met aanwijzingen' is gelijk aan een 'herinneringstest', maar je mag een beetje hulp aan de proefpersoon geven, bijvoorbeeld door te vragen naar specifieke informatie. De manier van testen kan invloed hebben op hoeveel proefpersonen zich herinneren, want herkennen is gemakkelijker dan herinneren.

Verder lezen, kijken en luisteren 🕒

Video's WKRU

- Videoportret Christian Doeller bij uitreiking Radboud Science Awards 2016
<https://www.youtube.com/watch?v=fQNgd2raqww>
- Lezing voor kinderen door Christian Doeller bij uitreiking Radboud Science Awards 2016
<https://www.youtube.com/watch?v=IQqBzbo4q1k>
- Lezing voor leraren door Christian Doeller bij de Winterschool 2017
<https://www.youtube.com/watch?v=u7sgSqlInfe0>

Video's en informatie over geheugenonderzoek

- In november 2016 organiseerde het Donders Instituut een Donders Event waar, geïnspireerd door hersenonderzoek, nieuwe ideeën ontwikkeld zijn voor softwareapplicaties voor onderwijsdoel-einden. <http://www.ru.nl/dondershackathon/> (voor algemene informatie over dit event) en <http://www.ru.nl/dondershackathon/outcomes/> (voor achtergrondinformatie en een korte video uitleg van ieder idee).
- In Katja's Bodyscan van 5 maart 2015 (NPO1) kwam Katja Schuurman naar het Donders Instituut om meer te leren over het geheugen en over het gebruik van MRI voor geheugenonderzoek
http://www.npo.nl/katja-s-bodyscan/05-03-2015/KN_1667196.
- Klokhuis filmpje over het geheugen: <http://www.hetklokhuis.nl/algemeen/Het%20Klokhuis%20over%20hersen/tv-episode/3221/Geheugen>
- TED Talk over de participatie van kinderen in wetenschappelijk onderzoek. 'Science is for everyone, kids included' https://www.ted.com/talks/beau_lotto_amy_o_toole_science_is_for_everyone_kids_included.
- TED Talk over de betrouwbaarheid van ons geheugen. 'How reliable is your memory' https://www.ted.com/talks/elizabeth_loftus_the_fiction_of_memory.

Overige lesideeën over het brein

Wil je meer opties voor lesgeven over het brein op school? Kijk op www.ru.nl/donders/teachingkit

Artikelen

- In het 'Diligentia jaarboek 94, 2015/2016' staat een artikel genaamd 'De TomTom in ons brein' (te downloaden van de website van de Koninklijke Maatschappij voor Natuurkunde: <http://natuurwetenschappen-diligentia.nl/jaarboeken/>).
- Meer lezen over wetenschappelijk onderzoek over het brein? De website <http://blog.donders.ru.nl/> wordt wekelijks aangevuld met nieuwe artikelen over hersenonderzoek en wetenschap. Een paar voorbeelden van interessante blogs over geheugen en/of MRI-onderzoek:
 - 'geheugensystemen en leren': <http://blog.donders.ru.nl/?p=5669>
 - 'herinneringen hebben meer impact op geluk dan ervaringen': <http://blog.donders.ru.nl/?p=5502>
 - 'denken tegen dementie': <http://blog.donders.ru.nl/?p=2598>
 - 'de lerende mens': <http://blog.donders.ru.nl/?p=3711>
 - 'zo maakt een MRI-scanner hersenplaatjes': <http://blog.donders.ru.nl/?p=2794>
- Een Engelstalig artikel over het belang van koppelen van informatie bij leren
<https://www.theguardian.com/education/2016/jan/09/what-you-already-know-is-the-key-to-learning-new-things>.

5.2 Onderzoek naar geheugen de klas in!

Projectteam 'Geheugen'

In deze paragraaf beschrijven we hoe je als leraar in de klas een project onderzoekend leren kunt opzetten bij het thema 'Geheugen'. Voor de introductie en verkenning van het project bieden we activiteiten, die alle samen genomen een beeld geven van het onderzoek naar het geheugen zoals in de voorgaande paragraaf beschreven. In de afronding van de activiteiten kun je telkens gebruikmaken van de informatie over de verbinding met het thema. De activiteiten zijn uitgevoerd bij basisschool Weisterbeek in Horst, basisschool De Tragellijn in Lobith en Willibrordus in Spijk.

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. De materialen staan op de website onder 'Boeken'.

Kerdoelen

In aanvulling op de kerndoelen die van toepassing zijn op onderzoekend leren als geheel (zie Leidraad onderzoekend leren), komt onderstaand kerndoel in dit project aan bod.

Natuur en techniek

41. De leerlingen leren over de bouw van planten, dieren en mensen en over de vorm en functie van hun onderdelen.



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: ROUTE TEKENEN

De leerlingen tekenen vanuit hun geheugen de route van hun huis naar school

Doelen

- De leerlingen maken kennis met het thema geheugen.
- Leerlingen ervaren het volgen van een bekende route in hun geheugen.

Duur

25-30 minuten

Werkvorm

Klassikaal

Benodigheden

- Papier om op te tekenen
- Potloden

Activiteit

Deel papier en potloden uit en vraag alle leerlingen in een kwartier de route te tekenen die ze elke dag nemen van huis naar school. De leerlingen werken hier individueel aan. Als ze klaar zijn met hun route vraag je de leerlingen de belangrijke herkenningspunten op de route erbij te tekenen: een vreemde boom, een bushokje, een bepaalde winkel, etc.

Afronding

Na afloop laten de leerlingen hun route aan elkaar zien. Het doel van de activiteit was de leerlingen in hun hoofd de route van huis naar school te laten lopen. Zagen ze de route voor zich terwijl ze hem tekenden? Zagen de leerlingen de herkenningspunten voor zich toen ze die moesten tekenen? Was het gemakkelijk of moesten ze er even over nadenken? Waren ze verrast dat ze de route zo goed kenden?

Tip

De route hoeft niet per se de route van huis naar school te zijn. Als een leerling een andere route beter kent, is dat ook prima.



Stap 2. Verkennen

In de verkenningfase gaan de leerlingen het onderwerp breed verkennen. Dit is het moment waarop de inhoudelijke basis voor het project wordt gelegd. Het gaat in er deze fase om op verschillende manieren kennis op te doen. De nadruk ligt op het zich actief eigen maken van het thema met behulp van verschillende activiteiten die de leerlingen soms in groepjes en soms klassikaal uitvoeren. Het is belangrijk om telkens de verbinding te leggen tussen de activiteit en wat daaruit te leren valt over het thema. Bij iedere activiteit is deze verbinding beschreven.

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 voor meer diversiteit tussen vragen die leerlingen stellen. We hebben daarom ook binnen dit thema een aantal subthema's aangebracht. Bij de activiteiten is aangegeven bij welk subthema ze passen.

- Geheugentechnieken
- Geheugentesten

Geheugen

ACTIVITEIT 1: WOORDEN LEREN MET JE LICHAAM

Leerlingen leren een geheugentechniek, de methode van loci, te gebruiken om snel woordjes te leren.

Subthema

Geheugentechnieken

Doel

- Leerlingen maken kennis met de methode van loci.
- Leerlingen ervaren dat het koppelen van woorden aan iets herkenbaars kan helpen ze gemakkelijker te onthouden.

Duur

15-20 minuten

Werkvorm

Klassikaal

Benodigdheden

- Powerpointpresentatie met te onthouden woorden ☉
- Ter voorbereiding: voorbeeldverhalen om het visualiseren gemakkelijker te maken ☉

Voorbereiding

Online staat voor elk lichaamsdeel een verhaal waarmee je het visualiseren gemakkelijker kan maken ☉. Oefen het verhaaltje en de bewegingen een aantal keer. Omdat de leerlingen zich de woorden in combinatie met het lichaamsdeel echt moeten inbeelden, helpt het als je het verhaal zo levendig mogelijk vertelt, bijpassende bewegingen maakt en de woorden waar het om gaat met nadruk uitspreekt. Om de activiteit te laten slagen is het noodzakelijk dat je de activiteit goed in je hoofd hebt zitten.

Activiteit

Vraag alle leerlingen te gaan staan. Leg uit dat ze een rijtje woorden uit hun hoofd gaan leren met behulp van hun lichaam. Daarvoor oefenen ze eerst een rijtje van tien lichaamsdelen: (1) voeten, (2) knieën, (3) bovenbenen, (4) buik, (5) borst, (6) schouders, (7) armen, (8) handen, (9) mond, (10) hoofd. Terwijl je de woorden hardop uitspreekt, leg je extra nadruk op de lichaamsdelen door ze te bewegen of door het lichaamsdeel aan te raken. Daarna vraag je de leerlingen om mee te doen: samen noemen ze hardop de lichaamsdelen in de vaste volgorde en bewegen ze het lichaamsdeel of raken ze het aan zoals jij dat hebt voorgedaan. Nadat dit een paar keer is herhaald en iedereen de volgorde kent, gaat de activiteit verder.

Start nu de powerpointpresentatie met de woorden op. Koppel elk lichaamsdeel, in de volgorde die is geoefend, aan twee woorden in de presentatie. Dus: koppel voeten aan 'boek' en 'arrest', knieën aan 'weg' en 'eng', de bovenbenen aan 'was' en 'show', enz. Maak de koppelingen door het verhaaltje te vertellen waarin zowel de woorden als het lichaamsdeel een rol spelen ☉. Neem per lichaamsdeel voldoende tijd.

Als alle lichaamsdelen en woorden aan bod zijn gekomen, herhaal je het rijtje nog een paar keer klassikaal zonder het verhaal, maar met de bewegingen. Als je ervan overtuigd bent dat de klas het rijtje goed kent, noem je tot slot alleen het lichaamsdeel en roepen de leerlingen welke woorden erbij hoorden.



Leraren oefenen tijdens de Winterschool de methode van loci

Afronding

Breng een klassengesprek op gang: hoe was het om op deze manier te onthouden? Leg uit dat de leerlingen hebben geoefend met de methode van loci, een bekende methode om dingen gemakkelijker te kunnen onthouden. Kunnen ze zelf bedenken wanneer deze techniek zou kunnen helpen? Vertel dat het rijtje woorden eigenlijk niet willekeurig gekozen was, maar dat de woordcombinaties samen lijken op de namen van de tien grootste steden van Europa horen (zie Voorbeeldverhaaltjes [🔗](#)). Loop de powerpoint nog eens door en laat de leerling bij elke slide benoemen bij welk land de steden horen.

Verbinding met het thema

De methode van loci is een bekende techniek waarmee je dingen gemakkelijker kunt onthouden. Loci betekent 'locaties'. In deze methode koppel je informatie die je moet onthouden aan verschillende locaties langs een bekende route. Dit kan bijvoorbeeld de weg van school naar huis zijn, maar ook de weg van je voordeur naar de slaapkamer; alles is goed, zolang je de route maar goed kent. Je kunt de route dus ook vervangen door iets anders bekends, zoals het lichaam. In de klassieke uitvoering van deze techniek beeld je je in dat je een wandeling maakt langs deze bekende route. Terwijl je de route in je hoofd bewandelt, 'leg' je dat wat je wilt onthouden op de route. Als je een boodschappenlijstje wilt onthouden, leg je bijvoorbeeld een zak appels voor de voordeur, een brood op de

Geheugen

trap, een pak melk op het gangkastje en zo verder. Je beeldt je heel levendig in hoe de boodschappen op de route liggen. Als je je het lijstje wilt herinneren, ga je in gedachten de route weer af en zul je zien dat het veel gemakkelijker is alles te onthouden. Hoe gekker de combinatie, hoe beter het werkt. Zo is het gemakkelijker om te onthouden dat er een stronk broccoli in de toiletpot lag, dan dat er broccoli in de keuken lag.

Je kunt met deze methode alles onthouden: boodschappenlijstjes, jaartallen, namen van mensen, stukjes tekst, enzovoorts. De methode werd al door de Grieken en Romeinen gebruikt om teksten te onthouden. De methode is ook favoriet bij mensen die deelnemen aan geheugenwedstrijden.

ACTIVITEIT 2: JE EIGEN DIERENTUIN IN DE SCHOOL

De leerlingen passen zelf de methode van loci toe om iets te kunnen onthouden.

Subthema

Geheugentechnieken

Doelen

- Leerlingen leren hoe ze de methode van loci zelf kunnen toepassen.
- Leerlingen ervaren dat de methode van loci een positief effect op hun geheugen heeft.

Duur

60 minuten

Werkvorm

In viertallen

Benodigdheden

Per groepje:

- Dezelfde lijst met twaalf verschillende dieren
- Papier en kleurpotloden

Activiteit

Geef elk groepje leerlingen dezelfde lijst met twaalf dieren. De leerlingen maken per groepje tekeningen van alle dieren op de lijst. Vervolgens bedenken ze een gemakkelijke route in de school die ze vaak afleggen (bijvoorbeeld van de voordeur naar de eigen klas) en leggen ze elke tekening *in volgorde van de lijst* ergens op deze route. Bij iedere gekozen plek verzinnen ze een verhaaltje waarom ze dat dier op die plek zetten. Vertel de leerlingen dat het verhaaltje zo gek mogelijk mag zijn. Bijvoorbeeld, 'De giraffe staat bij de deur van de kleuters. Hij is zo groot dat hij helemaal gebogen in het lokaal staat: zijn ene voet staat in de waterbak, de andere in de zandbak, weer een andere in de leeshoek, en zijn nek steekt buiten de deur.' Als alle tekeningen een plek hebben gekregen, lopen de leerlingen hun route en benoemen ze hardop welke dieren ze waar zien met het zelfbedachte verhaal.

Afronding

Als de leerlingen weer terug zijn in de klas, vraag je hen of ze de twaalf dieren in de juiste volgorde kunnen opnoemen. Bespreek hoe ze het herinneren aanpakken: volgen ze in hun hoofd opnieuw de route? Denken ze aan hun zelfbedachte verhalen? Vraag ze na een dag en na een week nog eens of ze de twaalf dieren in volgorde weten. Wie vindt dit een prettige manier om te onthouden? Wanneer zou je deze techniek nog meer kunnen toepassen?

Verbinding met het thema

De leerlingen passen in deze activiteit de methode van loci zelf toe. De uitleg over de methode staat beschreven bij activiteit 1.

Geheugen



Leerlingen van De Tragelijijn zoeken afbeeldingen van dieren

Tips

- De activiteit kan ingekort worden door, in plaats van de leerlingen zelf de dieren te laten tekenen, plaatjes van dieren uit te delen die ze op de door hun uitgekozen route kunnen leggen.
- Zorg dat de groepjes ieder in een ander deel van de school een route uitzetten, of doe het om en om, zodat ze elkaar niet in de weg zitten.
- Je kunt de leerlingen ook zelf een lijst met dieren laten bedenken. Zorg wel dat alle groepjes dezelfde lijst gebruiken in dezelfde volgorde.
- Je kunt de activiteit uitbreiden met een test waarin de leerlingen een tweede lijst met dieren moeten onthouden, maar dan zonder de methode van loci te gebruiken. Zorg ervoor dat de lijst even lang en ongeveer even moeilijk is. Op de website [De Tragelijijn](#) is een tweede lijst te vinden. Lukt het onthouden van deze lijst net zo goed als met de methode van loci?

ACTIVITEIT 3: VIDEO MET EN ZONDER KIJKOPDRACHT

De leerlingen kijken filmfragmenten over het geheugen en testen of een kijkopdracht invloed heeft op hoe goed ze kunnen onthouden.

Subthema

Geheugentesten

Doelen

- De leerlingen maken kennis met onderzoek naar geheugen.
- De leerlingen leren over de werking van het geheugen.
- De leerlingen ontdekken wat invloed kan hebben op hun geheugen.

Duur

70 minuten

Werkvorm

Klassikaal

Benodigheden

- Aflevering Katja's Bodyscan: 'Hoe kan ik mijn geheugen verbeteren', 5 maart 2015 
- Aflevering over het geheugen van het Klokhuis 
- Apparatuur om filmfragmenten klassikaal te bekijken
- Voor de helft van de groep: papiertje met de tekst: 'Ik ben trots op onze klas!' 
- Voor de helft van de groep: papiertje met de tekst: 'Je krijgt straks een test over de video, let dus goed op!' 
- Vraag- en antwoordblad over de fragmenten 

Voorbereiding

Neem de vragen en antwoorden over de fragmenten van tevoren door. Het kan handig zijn om de apparatuur en fragmenten te testen om te zien of alles naar behoren werkt.

Activiteit

Geef de leerlingen als ze de klas in komen allemaal een briefje, zeg dat ze deze goed moeten lezen en geheim moeten houden voor hun klasgenoten. De ene helft krijgt het briefje waarop staat dat je trots op de klas bent, de andere helft krijgt het briefje over de test. Vertel dat jullie twee afleveringen gaan kijken over de werking van het geheugen, zonder te verwijzen naar de boodschap op de briefjes. Je kunt de fragmenten tussendoor pauzeren, om ruimte te geven voor het stellen van vragen.

Na het kijken van de fragmenten kondig je aan dat de leerlingen een test krijgen om te zien hoe goed ze de informatie onthouden hebben. Je leest de vragen voor, de leerlingen schrijven de antwoorden op in hun schrift.



Leerlingen van de Weisterbeek kijken naar Katja's bodyscan

Afronding

Vertel nu dat sommige leerlingen van tevoren wisten dat er een test zou volgen. Hoe hebben zij naar de video gekeken? Hebben ze rekening gehouden met de test? Kijk de test klassikaal na en bereken de gemiddelde score van leerlingen die wisten dat ze getest gingen worden en die van leerlingen die niet wisten wat hun te wachten stond. Zijn er verschillen? Zo ja, hoe kunnen we deze verschillen verklaren? Zo nee, waarom niet?

Bespreek daarna de inhoud van de aflevering met de leerlingen na en beantwoord eventuele inhoudelijke vragen die de leerlingen hebben.

Verbinding met het thema

Door de video's krijgen leerlingen een eerste indruk van geheugenonderzoek en het gebruik van MRI-scans voor geheugenonderzoek, zoals dat ook in het onderzoek van Christian Doeller wordt gedaan. De activiteit voegt hieraan toe dat leerlingen bijvoorbeeld ontdekken dat het invloed heeft op je geheugenprestatie als je weet dat je getest gaat worden. Zo maken ze nader kennis met geheugentesten.

ACTIVITEIT 4: HET EFFECT VAN EEN TITEL

Leerlingen leren zinnen uit hun hoofd, één keer met en één keer zonder titel en ontdekken dat een informatieve titel helpt om structuur in de zinnen te brengen en ze daarmee beter te onthouden.

Subthema

Geheugentechnieken

Doelen

- Leerlingen ontdekken waarom het belangrijk is losse informatie te verbinden.
- Leerlingen leren informatie beter te onthouden door te letten op de context ervan.

Duur

20 minuten

Werkvorm

Klassikaal

Benodigdheden

- Tekst over het maken van een vlieger, met en zonder informatieve titel
- Pen en papier

Activiteit

Vertel de leerlingen dat ze een korte tekst uit het hoofd moeten leren. *Belangrijk is niet te vertellen dat de tekst over het maken van een vlieger gaat, anders werkt het experiment niet!* Geef de helft van de klas de tekst met informatieve titel ('het maken van een vlieger'), en de andere helft de tekst zonder informatieve titel ('tekst'). Zorg dat de leerlingen niet overleggen en dat leerlingen die bij elkaar zitten dezelfde versie krijgen. De leerlingen moeten de zinnen onthouden in deze volgorde. Geef ze tijd om het te leren. Haal dan de blaadjes weer op. Vervolgens schrijven de leerlingen voor zichzelf de tekst op die ze onthouden hebben.

Afronding

Kijk samen met de leerlingen na wat ze hebben opgeschreven. Hoeveel zinnen hebben ze correct onthouden? Vertel dat de helft van de groep wist waar de tekst over ging, doordat er een informatieve titel boven de tekst stond. Voor de andere helft was onduidelijk wat de zinnen met elkaar te maken hadden. Is er een verschil tussen de groepen in hoeveel ze onthouden hebben? Wat kunnen ze daarvan leren? Wat betekent dit als je iets gaat leren? Zouden de leerlingen deze strategie ook op school kunnen gebruiken?

Verbinding met het thema

Alle gebeurtenissen die je meemaakt bestaan uit een heleboel losse stukjes. Het koppelen van informatie tot één samenhangend geheel heeft positieve invloed op leren en herinneren. In deze activiteit activeert de informatieve titel de voorkennis van de leerlingen over vliegeren, waardoor ze de zinnen beter kunnen plaatsen en ze zich gemakkelijker kunnen herinneren. Mensen kunnen dingen gemakkelijker onthouden wanneer ze het verband tussen deze dingen zien. Uit het onderzoek over het geheugen bleek dat gebeurtenissen die bij elkaar horen in een soort netwerk in de

Geheugen

hersenen opgeslagen worden. Deze netwerken zijn ook belangrijk voor het onthouden en het zich herinneren van verhalen: mensen die geen sterke netwerken hebben, herinneren zich de verhalen niet goed. De hersenen verbinden dus losse stukjes herinnering tot één verhaal en slaan dit vervolgens op in het geheugen.

ACTIVITEIT 5: HOE KUN JE KENNIS TESTEN?

De leerlingen maken kennis met verschillende soorten geheugentesten.

Subthema

Geheugentesten

Doelen

- Leerlingen leren dat er verschillende soorten geheugentesten zijn.
- Leerlingen kunnen zelf een herkenningstest en een herinneringstest afnemen als proefleider.
- Leerlingen denken na over de toepassing van verschillende testen in het onderwijs (open en gesloten vragen).

Duur

15-20 minuten

Werkvorm

In viertallen

Benodigdheden

Per groepje:

- Ongeveer twintig verschillende voorwerpen, waarvan
 - Vijf sets van twee voorwerpen die veel op elkaar lijken (bijvoorbeeld een blauwe en een rode pen; een stressbal met opdruk en een stressbal zonder opdruk; een kleine en een grote dobbelsteen; een gum in twee verschillende vormen; enz.)
 - Tien andere voorwerpen
- Theedoek
- Stopwatch
- Pen en papier

Activiteit

De leerlingen testen in groepjes het geheugen van hun klasgenoten. Per groepje zijn twee leerlingen proefleider en twee leerlingen proefpersoon. De proefleiders bereiden het proefje voor door tien voorwerpen te kiezen, waarvan vijf voorwerpen van verschillende sets en vijf andere voorwerpen. Deze leggen ze op een tafel. Ze bedekken de voorwerpen met een doek, want de proefpersonen mogen ze niet zien. Dan vragen ze de proefpersonen erbij. De proefleiders vragen de proefpersonen de voorwerpen goed te bekijken en te onthouden. Na ongeveer 15-20 seconden bedekken ze deze weer met de doek. Ze vragen de proefpersonen zich om te draaien en op te schrijven welke voorwerpen ze onthouden hebben. De proefpersonen mogen niet met elkaar overleggen.

In de tussentijd veranderen de proefleiders onder de doek het een en ander aan de selectie voorwerpen. Ze kunnen drie voorwerpen van de sets verwisselen en twee van de andere voorwerpen. Daarnaast voegen ze nog drie van de andere voorwerpen toe. Als alles weer klaar staat, vragen ze hun klasgenoten om zich om te draaien en voor elk voorwerp op te schrijven of deze wel of niet eerder getoond is.



In een experiment van leerlingen van de Weisterbeek probeert een leerling zoveel mogelijk voorwerpen te onthouden

De proefpersonen en proefleiders vergelijken de antwoorden. Daarna kunnen de proefpersonen en proefleiders wisselen van rol en het experiment herhalen.

Afronding

Het eerste deel van de proef was een geheugentest op basis van actief herinneren: de proefpersonen moesten zelf bedenken wat ze nog wisten. Het tweede deel was een geheugentest op basis van herkennen. De leerlingen bespreken klassikaal hun antwoorden. Was een van de tests moeilijker? Wat zegt dit over je geheugen? Op school wordt dit ook toegepast, bij open vragen en meerkeuzevragen. Wat zijn de ervaringen van leerlingen hiermee? Wat vinden ze prettiger en waarom? Bereiden ze zich anders voor afhankelijk van de soort vragen?

Verbinding met het thema

Onderzoekers hebben verschillende manieren ontwikkeld om het geheugen te testen. Bij de 'herinneringstest' vraag je aan je proefpersonen om op te noemen wat ze gezien hebben. Een 'herinneringstest met aanwijzingen' is gelijk aan een 'herinneringstest', maar daarbij mag de proefleider wat hulp aan de proefpersoon geven door vragen te stellen (Wat kun je je nog herinneren van ...). Bij een 'herkenningstest' laat je zien wat de proefpersoon heeft moeten leren en kijk je vervolgens of je proefpersoon datgene nog herkent. Om het moeilijker te maken, stop je er ook dingen tussen die je proefpersoon niet eerder heeft gezien en kijk je of je proefpersoon inderdaad correct aangeeft dit nog niet eerder gezien te hebben.

De manier van testen kan invloed hebben op hoeveel proefpersonen zich herinneren, want het is gemakkelijker om te herkennen dan te herinneren. Het is dus belangrijk om na te denken over het doel van het onderzoek als we een test kiezen. We gebruiken een herkenningstest als we willen weten of mensen iets onthouden hebben. We gebruiken een herinneringstest als we willen weten of mensen zich iets echt goed kunnen herinneren. Dit wordt ook toegepast op scholen, bijvoorbeeld bij de keuze tussen open of gesloten vragen.

Tips

- De activiteit kan moeilijker gemaakt worden door het aantal voorwerpen uit te breiden.
- De activiteit kan nóg moeilijker worden gemaakt door ook te vragen de plaats van de voorwerpen te onthouden. De leerlingen kunnen dan bijvoorbeeld een raster maken (3x3 of 4x3) en daar de voorwerpen in leggen.

ACTIVITEIT 6: ZELF ONDERZOEKSMATERIAAL MAKEN

Leerlingen maken hun eigen testmateriaal voor een onderzoek naar episodisch geheugen.

Subthema

Geheugentesten

Doelen

- Leerlingen ontdekken dat zij zelf hun eigen onderzoeksmateriaal kunnen maken.
- Leerlingen leren nadenken over het ontwerp van een geheugentest.
- Leerlingen leren nauwkeurig observeren.

Duur

60 min

Werkvorm

In tweetallen

Benodigheden

Per groepje:

- Computer
- Verhalend computerspel, bijvoorbeeld De Sims

Voorbereiding

Kies een computerspel waar de leerlingen plaatjes van kunnen maken die samen een verhaal vormen. Test of het spel werkt op de computers en check of er bijvoorbeeld een knipprogramma ('snipping tool') op de computer staat waarmee leerlingen plaatjes kunnen maken.

Activiteit

Deel 1. De leerlingen starten het computerspel, bijvoorbeeld De Sims. Ze laten hun poppetje handelingen verrichten (naar de winkel gaan, douchen, koken, enz.) en maken van die handelingen screenshots. De leerlingen maken ongeveer twintig beelden die verschillend zijn maar veel op elkaar lijken, én ongeveer vijftien beelden die compleet anders zijn. Ze maken minstens 35 plaatjes. Vervolgens kiezen de leerlingen vijftien plaatjes die ze op een A4 zetten. Dit noemen ze 'versie 1'. Dan maken ze een tweede A4 waarin ze zeven plaatjes hetzelfde laten, vijf plaatjes vervangen en drie plaatjes verschuiven. Dit wordt 'versie 2'.

Deel 2. Nu gaan de leerlingen hun eigen geheugenonderzoek uitvoeren. De basis van het onderzoek is dat proefpersonen versie 1 moeten onthouden, en bij versie 2 aangeven wat er veranderd is.

Afronding

De leerlingen bespreken klassikaal het eindresultaat van hun zelfgemaakte geheugentest. Welke keuzes hebben ze gemaakt bij het selecteren van plaatjes en waarom? Hoe hebben ze bepaald welke plaatjes er in versie 2 moesten komen? Hoe zouden ze de test moeilijker of gemakkelijker kunnen maken?



Leerlingen van de Weisterbeek proberen plaatjes te onthouden

Verbinding met het thema

Bij hersenonderzoek naar het episodisch geheugen wordt vaak gebruikgemaakt van een MRI-scanner. Met een MRI-scanner kun je meten wat er in iemands hersenen gebeurt terwijl diegene een bepaalde taak doet. Om het zich herinneren van dagelijkse gebeurtenissen na te bootsen in zo'n experimentele omgeving, wordt gebruikgemaakt van plaatjes en filmpjes van gebeurtenissen. Die filmpjes kunnen worden gemaakt met computerspel De Sims. Er zijn inmiddels belangrijke inzichten verkregen over de hersenen (in het bijzonder het hersengebied 'de hippocampus') door de hersenen te bekijken terwijl proefpersonen filmpjes van gebeurtenissen te zien kregen waar ze een verhaal van konden maken.

Tips

- Vertel de leerlingen dat een geheugentest moeilijker wordt als plaatjes veel op elkaar lijken.
- Leerlingen kunnen de plaatjes ook uitprinten en op een A4 plakken, als het te lastig is om dit op de computer te doen.



Stap 3. Opzetten onderzoek

STAP 3A. DE ONDERZOEKSVRAAG

Hieronder staan vijf onderzoeksvragen die leerlingen van Weisterbeek, De Tragellijn en Willibrordus hebben geformuleerd en onderzocht. Waar dit voor de helderheid nodig was zijn vragen soms aangepast. Deze vragen kunnen als voorbeeld dienen om een idee te krijgen van wat voor soort vragen leerlingen over dit onderwerp zouden kunnen stellen. Let er echter op dat de leerlingen niet te vroeg worden gestuurd; ze zijn prima in staat om zelf een vraag te bedenken. Onderstaande vragen zijn immers ook bedacht door leerlingen.

Per vraag is aangegeven wat de verbinding is met het onderzoek in het eerste deel van het hoofdstuk en onder welk subthema deze vallen.

- 1 Hoeveel plaatjes kunnen kinderen uit onze klas achter elkaar onthouden voor ze er één vergeten? (Subthema Geheugentesten)*

De onderzoekers hebben onderzoek gedaan naar het episodisch geheugen, dat je gebruikt als je gebeurtenissen en routes onthoudt. Bij activiteit 5 hebben de onderzoekers ook laten zien dat er nog andere soorten geheugen zijn, en op welke manieren je die kunt testen. Met deze vraag doen de leerlingen onderzoek naar een ander soort geheugen: het geheugen dat je gebruikt om op korte termijn iets te onthouden. En ze testen hoe groot dat geheugen is, door te onderzoeken hoeveel plaatjes je in één keer kunt onthouden.
- 2 Wie halen een hogere score bij memory, kinderen of volwassenen? (Subthema Geheugentesten)*

Ook het spelen van memory is een manier om het kortetermijngeheugen te testen. Hoewel de onderzoekers daar met hun onderzoek niet mee bezig zijn geweest, past het testen van geheugen door memory te spelen wel bij activiteit 3 en 5, waarin de leerlingen kennis maken met onderzoek naar geheugen. Deze vraag test of er een verschil is in het kortetermijngeheugen van kinderen en volwassenen.
- 3 Op welke manier onthoud je de meeste woordjes, door ezelsbruggetjes te verzinnen of door de woordjes op een route te plaatsen? (Subthema Geheugentechnieken)*

Activiteit 1 en 2 laten de leerlingen kennismaken met de methode van loci, een beproefde manier om snel iets uit je hoofd te leren. De leerlingen haken in op deze twee activiteiten. Zij testen de effectiviteit van de methode van loci ten opzichte van een andere methode om woordjes uit je hoofd te leren.
- 4 Op welke manier onthoud je de meeste woordjes, als je zelf woordjes leert of als je de woordjes leert door je te laten overhoren? (Subthema Geheugentechnieken)*

Deze vraag haakt in op het onderzoek naar de effectiviteit van geheugentechnieken. De leerlingen testen een geheugentechniek die ze heel gemakkelijk kunnen inzetten bij het leren voor school en die ze misschien ook al weleens hebben gebruikt. Ze zetten zo de kennis die ze opdoen aan het hand van het project meteen in voor hun eigen leerpraktijk.

5 *Kan je beter woordjes onthouden als je sport voor je gaat leren of als je niet sport voor je gaat leren?*
(Subthema Geheugentechnieken)

Met verschillende geheugentechnieken kun je woordjes, getallen of feiten uit je hoofd leren. Met meer kennis over hoe ons geheugen werkt en welke verschillende soorten geheugen er zijn, leren we ook steeds meer over welke methoden effectief zouden kunnen zijn. Met deze vraag gaan de leerlingen nog een stapje verder, door onderzoek te doen naar de context waarin dingen worden onthouden: maakt het uit wat je doet voorafgaand aan het onthouden of niet? Dit kan wellicht nuttig zijn om nog eens te kijken naar de verdeling van het rooster: de planning van de pauze en de gymlessen bijvoorbeeld.



Leerlingen van De Tragellijn bespreken hun eigen geheugentest

STAP 3B. HET ONDERZOEKSPLAN

Op de volgende pagina staat een voorbeeld van een onderzoeksplan dat leerlingen hebben uitgewerkt. Online staan uitgewerkte onderzoeksplannen van alle hierbovenstaande vragen [🔗](#).

ONDERZOEKSPLAN VAN: Gijs, Damian en Chermaine

1. Wat is onze onderzoeksvraag?

Hoeveel plaatjes kunnen kinderen uit onze klas achterelkaar onthouden voor ze er één vergeten?

2. Wat is volgens ons het antwoord op de onderzoeksvraag? En waarom denken we dat?

[Dit noemen onderzoekers een 'hypothese']

We denken ongeveer vijf, omdat het al best lastig is als je naar de winkel gaat en vijf dingen moet onthouden.

3. Hoe gaan we dit onderzoeken?

[Denk aan: Wie of wat gaan we onderzoeken, op welke manier gaan we meten en hoe vaak of bij hoeveel mensen moeten we het onderzoek doen om echt antwoord te krijgen op de vraag]

We gaan meten hoeveel plaatjes kinderen uit onze klas achterelkaar kunnen onthouden voor ze er één vergeten. We verzamelen zestien plaatjes en zetten die op een blad. We vragen vijftien kinderen uit onze klas om de plaatjes te bestuderen. Ze krijgen er vijf minuten de tijd voor. Daarna vragen we hen om de plaatjes op te noemen die ze zich nog herinneren. We noteren welke plaatjes ze onthouden hebben.

4. Wat moet in het onderzoek hetzelfde blijven en wat verandert (eerlijk onderzoek)?

Hetzelfde: De instructie, het blad met zestien plaatjes, de tijd die ze hebben om te bestuderen

Anders: De proefpersonen

5. Hoe schrijven we de resultaten op tijdens het uitvoeren van het onderzoek?

[Antwoorden kort opschrijven, in een tabel opschrijven, streepjes zetten, ...]

We maken een tabel. Daarin schrijven we hoeveel plaatjes de proefpersonen goed hebben onthouden. Ook maken we een kolom voor het aantal fouten dat ze maken.

6. Welke hulp en materialen hebben we nodig? Hebben we van iemand toestemming nodig?

- Een blad met zestien plaatjes
- Pen en papier

Toestemming nodig van: de kinderen uit de klas

**7. Schrijf hieronder in stappen op wanneer jullie wat gaan doen.
Schrijf er ook bij wie het gaat doen.**

Taak	Wie?	Wanneer?	Waar?
Zestien plaatjes zoeken	Gijs	Maandag 13 maart	Op school
De plaatjes op een werkblad zetten	Chermaine	Dinsdag 14 maart	Op school
Een tabel maken om de resultaten te kunnen noteren	Damian	Dinsdag 14 maart	Op school
Vijftien kinderen verzamelen die mee willen doen	Damian en Gijs	Woensdag 15 maart	In onze klas
Één voor één alle proefpersonen de test laten afnemen en de antwoorden noteren	Allemaal (ieder test er vijf)	Woensdag 15 t/m vrijdag 17 maart	In een rustige ruimte op school

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; studenten, docenten en onderzoekers van de Faculteit Educatie, Hogeschool van Arnhem en Nijmegen; en het basisonderwijs.

Expertise

De expertise van het WKRU ligt op het gebied van onderzoekend leren: een didactiek die een onderzoekende houding stimuleert. In de afgelopen jaren heeft het WKRU diverse materialen en hulpmiddelen ontwikkeld die leraren kunnen inzetten in hun klas. Deze materialen zijn gratis beschikbaar via www.wkru.nl en www.wetenschapdeklasin.nl. De kennis en ervaring van het WKRU op het gebied van onderzoekend leren 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 (aankomend) leraren, scholen en onderzoekers. Elk jaar ontwikkelen drie projectteams van onderzoekers, leraren en pabo-studenten een project onderzoekend leren op basis van actueel wetenschappelijk onderzoek. Daarnaast organiseert het WKRU jaarlijks de Winterschool, een professionaliseringsdag over wetenschap en onderzoekend leren. Gedurende het schooljaar worden studiemiddagen, cursussen en coaching aangeboden op het gebied van onderzoekend leren. Bij het project 'Onderzoeker in de klas' bereiden we onderzoekers voor op een bezoek aan een basisschoolklas. Meer activiteiten van het WKRU zijn te vinden op de hoofdwedite van het WKRU.

Sponsors

Het werk van het WKRU wordt mogelijk gemaakt door financiële bijdragen van de Radboud Universiteit en het Radboudumc, de Koninklijke Nederlandse Akademie van Wetenschappen en de Faculteit Educatie van de Hogeschool van Arnhem en Nijmegen.

www.wkru.nl

www.wetenschapdeklasin.nl

 @wkru1

 <http://Inked.in/WKRU1>

Overzicht van de boeken

Tot nu toe zijn er 21 projecten met een wetenschappelijk thema ontwikkeld voor in de klas:

Boek 1: Angst, Grafeen en Denkbeelden over het begin (2012)

Boek 2: DNA, Gedrag en Infecties onder de loep (2013)

Boek 3: Waarnemen en bewegen, Onder invloed en Gevaarlijke ideeën (2014)

Boek 4: Higgsdeeltje, Netwerken in het brein en Wonderkind (2015)

Boek 5: Typisch Nederlands, Elkaar begrijpen en Het oog (2016)

Boek 6: Molecuulbotsingen, Stress en Taal der zintuigen (2017)

Boek 7: Malaria, Jheronimus Bosch en Geheugen (2018)

Vier van deze thema's zijn gebundeld in een **Engelse uitgave:**

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

Aan de boekenreeks is een website gekoppeld, www.wetenschapdeklasin.nl, waar per project diverse materialen, werkbladen en filmpjes te vinden zijn. Daarnaast is de leidraad onderzoekend leren uit het meest recente boek online beschikbaar. Met uitzondering van het laatste boek staan tevens alle thematische hoofdstukken in digitale vorm op deze website.

Over de boekenreeks

De boekenreeks Wetenschappelijke doorbraken de klas in! is een initiatief 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- en gamma-onderzoek. De boeken zijn bedoeld om ideeën te geven hoe leraren, volgens de didactiek van onderzoekend leren, met wetenschappelijke thema's aan de slag kunnen in de klas. De boeken geven houvast bij het vormgeven van een project en kunnen een bron van inspiratie zijn voor leraren die wetenschap de klas in willen brengen.

Hoe komen de projecten tot stand?

De Radboud Universiteit reikt elk jaar een prijs uit aan drie topwetenschappers die in het afgelopen jaar een belangrijke doorbraak hebben gehad in hun onderzoeksgebied. Deze prijs, de Radboud Science Award, betekent voor de winnende onderzoekers dat zij hun onderzoek mogen vertalen naar activiteiten voor de bovenbouw van het basisonderwijs. Na de uitreiking van de Radboud Science Awards aan de start van het schooljaar, wordt rond elke winnaar een projectteam gevormd. Een projectteam bestaat uit de onderzoekers en hun teams, leraren van twee basisscholen, eventuele stagiair(e)s en het WKRU.

Ieder projectteam werkt een jaar lang samen aan de ontwikkeling van een project. In januari presenteren zij de ontwikkelde activiteiten voor het eerst op de Winterschool van het WKRU. Tijdens deze professionaliseringsdag op het gebied van wetenschap en onderzoekend leren geven de winnende onderzoekers een inhoudelijke lezing en verzorgen de projectteams een workshop aan collega-leraren, pabo-docenten en pabo-studenten.

Daarna gaat het project echt de klas in en maken de leerlingen kennis met het onderwerp. De bedoeling is dat leerlingen enthousiast en nieuwsgierig worden en dat er veel vragen bij hen opkomen. Ze formuleren uiteindelijk één vraag die ze zelf gaan onderzoeken.

Aan het eind van het schooljaar beschrijven de onderzoekers de inhoudelijke achtergrond van het project. Deze wordt samen met de ervaringen en activiteiten in de klas gebundeld tot een hoofdstuk in de boekenreeks *Wetenschappelijke doorbraken de klas in!*.

Naast de thematische hoofdstukken bevat elk boek een leidraad onderzoekend leren. Deze leidraad wordt elk jaar herzien aan de hand van literatuur en ervaringen in de klas. Het is daarom aan te raden altijd de leidraad uit het meest recente boek te gebruiken. Het nieuwste boek wordt elk jaar in januari gepresenteerd op de Winterschool.

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 © WKRU 2018. Deze foto's mogen wel worden gebruikt in een integrale kopie van minimaal twee pagina's.

Foto's op de volgende pagina's zijn gemaakt door Jimmy Israel. Deze foto's zijn eigendom van het WKRU: p.8, 14, 22, 27, 32, 34, 40, 45, 48, 49, 68, 72, 75, 95, 113, 115, 122, 125, 147, 158, 161 en 187.

Hoofdstuk 2: Leidraad onderzoekend leren

- De stappen van onderzoekend leren, CC BY-NC-SA 4.0 WKRU 26
- Voorkant 7 x nieuwsgierig, CC BY-NC-SA 4.0 WKRU 36
- Het vragenmachientje, CC BY-NC-SA 4.0 WKRU 47

Hoofdstuk 3: Malaria

- Ouders wachten bij een malariakliniek, CC BY 2.5. Verkregen van Alibu et al. (2003). 74
- Teun Bousema, CC BY-NC-SA 4.0 WKRU 75
- Een stekende malariamug, foto Jim Gathany, publiek domein 76
- De cyclus van malariabesmetting, CC BY-SA 4.0 Teun Bousema en Sophie van Kempen 77
- Een malariaparasiet heeft vele vormen, CC BY 2.5. Verkregen van Frevert et al. (2005). 78
- Laborante neemt bloed af voor onderzoek, CC BY-SA 4.0 Teun Bousema 79
- Laborant aan het werk in Burkina Faso, CC BY-SA 4.0 Teun Bousema 80
- Mug drinkt bloed uit muggenvoeder, © Fabien Beilhe 81
- Een mug wordt opengesneden, © ZorginBeeld/Frank Muller 81
- Teun Bousema met zijn team, CC BY-SA 4.0 Teun Bousema 82
- Malariamuggen met hun eitjes, © ZorginBeeld/Frank Muller 83
- Meisje verkoopt medicijnen op de markt, CC BY-SA 4.0 Teun Bousema 84
- Poster die aanspoort muggen te verdelgen, publiek domein 85
- Basaal reproductiegetal, CC BY-SA 4.0 Teun Bousema en Sophie van Kempen 87
- Angolese kinderen bij klamboe, publiek domein 90
- Grafieken, CC BY-NC-SA 4.0 WKRU 107, 109
- Karakterkaarten activiteit malariamuggen, publiek domein, met uitzondering van: 111
 - Burger, CC BY 2.0 Dylan Walters
 - Arts-onderzoeker, CC BY-SA 4.0 Teun Bousema

Hoofdstuk 4: Jheronimus Bosch

- Portret Jheronimus Bosch door Cornelis Cort, publiek domein 124
- Handtekening, uitsnede uit Jheronimus Bosch, *Aanbidding der Koningen*, publiek domein 124
- Jos Koldewey, CC BY-NC-SA 4.0 WKRU 125
- Jheronimus Bosch, *Laatste Oordeel*, publiek domein 125
- Jheronimus Bosch, *Tuin der lusten*, uitsneden, publiek domein 126
- Jheronimus Bosch, *Verzoeking van de heilige Antonius*, uitsneden, publiek domein 126
- Fragment "Jheronimus van Aken, alias Bosch...", publiek domein 127
- Het team van het Bosch Research and Conservation Project verricht onderzoek, © BRCP 128
- Jheronimus Bosch, *Heilige Johannes de Doper*, uitsnede, © BRCP 129

• Schematisch overzicht van de gelaagde structuur van een schilderij, © BRCP	129
• Jheronimus Bosch, <i>De dood en de vrek</i> , uitsnede, in infraroodfotografie, © BRCP	131
• Jheronimus Bosch, <i>De dood en de vrek</i> , uitsnede, in zichtbaar licht, publiek domein	131
• Jheronimus Bosch, <i>Landloper</i> , publiek domein	132
• Jheronimus Bosch, <i>Hooiwagen</i> , buitenzijde, publiek domein	133
• Uilen door Jheronimus Bosch in de database van het BRCP, © BRCP	135
• Anoniem, <i>De Markt in 's Hertogenbosch</i> , publiek domein	137
• Jheronimus Bosch, <i>Aanbidding der Koningen</i> , linkerluik, publiek domein	138
• Jheronimus Bosch, <i>Tuin der lusten</i> , buitenzijde, publiek domein	139
• Jheronimus Bosch, <i>Tuin der lusten</i> , binnenzijde, publiek domein	140-141
• Jheronimus Bosch, <i>Hellelandschap</i> , publiek domein	142
• Jheronimus Bosch, <i>Visioenen van het hiernamaals</i> , publiek domein	143
• Schilderij met ondertekening leerling Haafakkers, CC BY-NC-SA 4.0 WKRU	155
• Thé Tjong-Khing, illustratie uit het boek <i>Bosch, Het vreemde verhaal van Jeroen, zijn pet, zijn rugzak en de bal...</i> , © 2015 Thé Tjong-Khing	157

Hoofdstuk 5: Geheugen

• Plaatscel, © 2012 Sage Publications. Verkregen van Doeller et al. (2012), Figuur 1.	170
• Christian Doeller, CC BY-NC-SA 4.0 WKRU	171
• Rastercel, © 2012 Sage Publications. Verkregen van Doeller et al. (2012), Figuur 1.	171
• Hippocampus en entorinale schors, CC BY-NC-SA 4.0 WKRU, samengesteld uit:	172
– Omtrek hoofd, publiek domein	
– Brain human sagittal section, CC BY 2.5 Patrick J. Lynch	
• Virtuele stad, CC BY-NC-SA 4.0 Christian Doeller, afbeelding gemaakt met Unreal® Engine 2013. Unreal® is een beeldmerk of geregistreerd beeldmerk van Epic Games, Inc. in de Verenigde Staten en daarbuiten. Unreal® Engine, Copyright 1998-2017, Epic Games, Inc. All rights reserved.	173
• Aha-moment, CC BY-SA 4.0 Branka Milivojevic, samengesteld uit:	174
– Omtrek hoofd, publiek domein	
– The Autobiographical-Memory Network, © 2015 Elsevier Ltd. Verkregen van Milivojevic et al. (2015), Figuur 6.	
– Sims puzzelstukjes, gemaakt in spel <i>The Sims</i> , © EA Inc.	
• Grove en fijne resolutie herinneringen, CC BY-SA 4.0 Silvy Collin	176
– Sims afbeeldingen, gemaakt in spel <i>The Sims</i> , © EA Inc.	
• Sims afbeeldingen, gemaakt in spel <i>The Sims</i> , © EA Inc.	178
• Hersenplaatje, © 2015 Elsevier Ltd. Verkregen van Milivojevic et al. (2015).	179
• MRI-scanner, © Dick van Aalst	181

Referenties:

- Alibu, V.P. & Egwang, T.G. (2003). Genomics Research and Malaria Control: Great Expectations. *PLoS Biology*, 1(2): e39.
- Doeller, C.F., Barry, C. & Burgess, N. (2012). From Cells to Systems: Grids and Boundaries in Spatial Memory. *The Neuroscientist*, 18, 6, p.556-566.
- Frevert U, Engelmann S, Zougbedé S, Stange J, Ng B, Matuschewski K, et al. (2005). Intravital Observation of Plasmodium berghei Sporozoite Infection of the Liver. *PLoS Biology*, 3(6): e192.
- Milivojevic, B., Vincente-Grabovetsky, A. & Doeller, C.F. (2015). Insight Reconfigures Hippocampal-Prefrontal Memories. *Current Biology*, 25(7), p.821-830.

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

Radboud Universiteit



KONINKLIJKE NEDERLANDSE
AKADEMIE VAN WETENSCHAPPEN

Radboudumc

Hogeschool



van Arnhem en Nijmegen



platform
Bèta Techniek