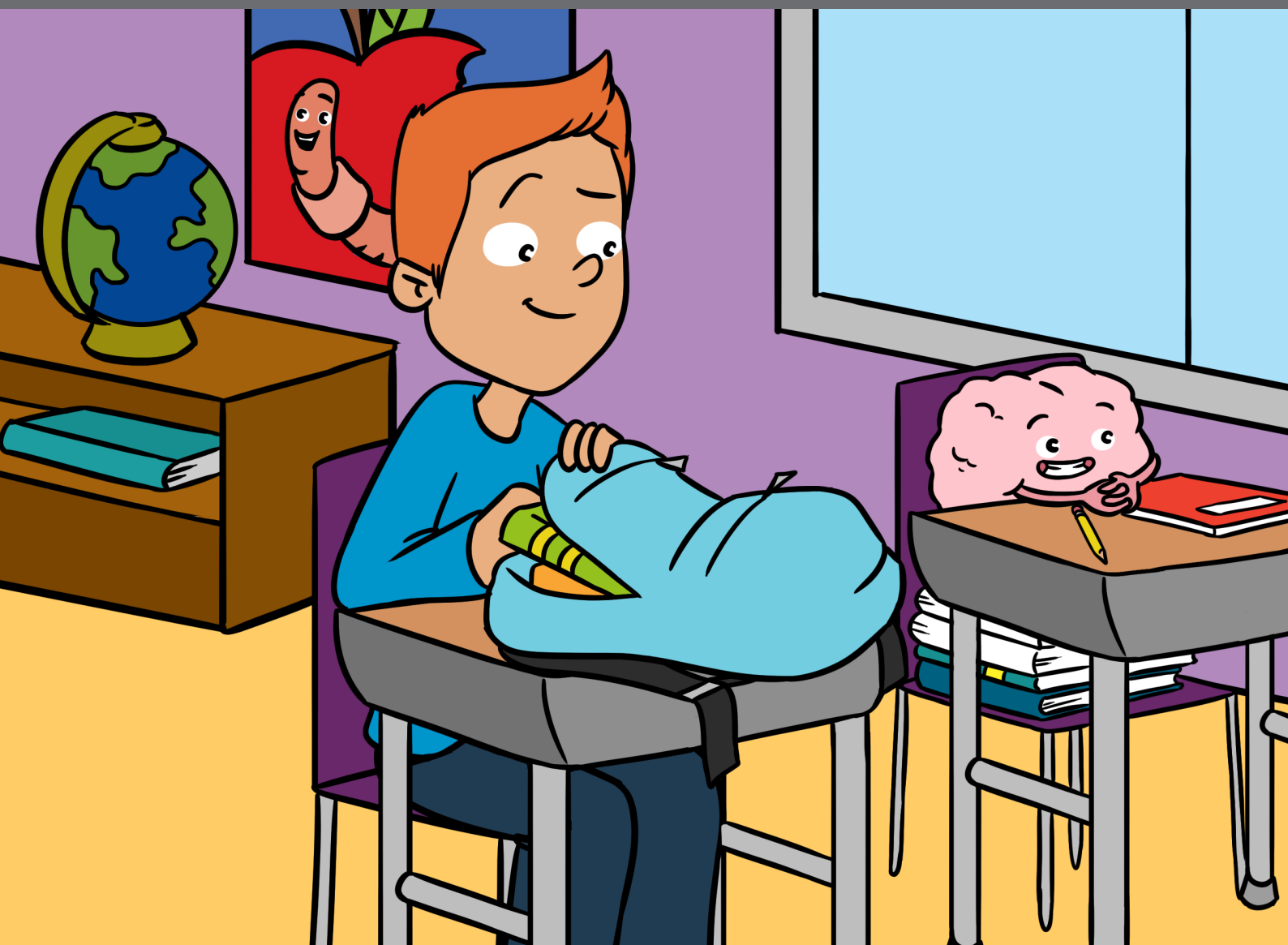


ALLES WAT JIJ EN JE LERAREN MOETEN WETEN OVER HET LERENDE BREIN

GEREDIGEERD DOOR: Sabine Peters, Nienke van Atteveldt,
Jessica Massonnié en Stephan E. Vogel

GEPUBLICEERD DOOR: Frontiers for Young Minds





frontiers

FOR YOUNG MINDS

Frontiers eBook

Auteursrechtenverklaring

Het auteursrecht op de tekst van de afzonderlijke artikelen in dit eBook is eigendom van de respectievelijke auteurs of van hun respectievelijke instellingen / financiers. Het auteursrecht op grafieken en afbeeldingen in elk artikel kan onder het auteursrecht van andere partijen vallen. In beide gevallen is hiervoor een licentie verleend aan Frontiers.

De compilatie van de artikelen waaruit dit eBook bestaat, is eigendom van Frontiers.

Elk artikel in dit eBook, en het eBook zelf, zijn gepubliceerd onder de meest recente versie van de Creative Commons CC-BY licentie. De versie die geldt op de datum van publicatie van dit eBook is CC-BY 4.0. Als de CC-BY licentie wordt bijgewerkt, wordt de door Frontiers verleende licentie automatisch aangepast aan de nieuwe versie.

Bij het uitoefenen van enig recht volgens de CC-BY licentie, moet Frontiers worden vermeld als de oorspronkelijke uitgever van het artikel of eBook.

Het is de verantwoordelijkheid van de auteurs om ervoor te zorgen dat alle afbeeldingen of andere materialen die eigendom zijn van anderen onderdeel zijn van de CC-BY licentie, en dit moet worden gecontroleerd voordat men zich beroept op de CC-BY licentie om deze materialen te reproduceren. Alle auteursrechtmeldingen met betrekking tot deze materialen moeten worden nageleefd.

De vermeldingen inzake auteursrecht en bronvermelding mogen niet worden verwijderd en moeten worden opgenomen in elke kopie, afgeleid werk of gedeeltelijke kopie die de elementen in kwestie bevat.

Alle auteursrechten worden beschermd door nationale en internationale auteursrechtwetten. Het bovenstaande is slechts een samenvatting. Lees voor meer informatie de gebruiksvoorwaarden van Frontiers' website en de copyrightverklaring en de toepasselijke CC-BY-licentie.

ISSN 2296-6846

ISBN 978-2-8325-2940-9

DOI 10.3389/978-2-8325-2940-9

Over Frontiers

Frontiers is niet alleen een open-access uitgeverij van wetenschappelijke artikelen: het heeft ook een baanbrekende benadering van de academische wereld en verbetert radicaal de manier waarop wetenschappelijk onderzoek wordt beheerd. De visie van Frontiers is een wereld waarin iedereen gelijke kansen heeft om naar kennis te zoeken, te delen en te genereren. Frontiers biedt onmiddellijke en permanente toegang tot al haar online publicaties. Dit alleen, echter, is niet genoeg om onze visionaire doelen te realiseren.

Over Frontiers for Young Minds

Frontiers for Young Minds gelooft dat er maar één manier is om grensverleggende wetenschappelijke ontdekkingen beschikbaar te maken voor een jonger publiek: wetenschappers en jongeren laten samenwerken om artikelen te creëren die zowel nauwkeurig als spannend zijn.

In dit model worden vooraanstaande wetenschappers uitgenodigd om over hun baanbrekende ontdekkingen te schrijven in een bewoording die toegankelijk is voor jonge lezers. Het is dan aan de jongeren zelf - met de hulp van een wetenschappelijke mentor - om feedback te geven en de auteurs suggesties aan te dragen hoe ze hun artikel kunnen verbeteren voordat het gepubliceerd wordt.

Het resultaat is een verzameling van gratis toegankelijke wetenschappelijke artikelen geschreven door vooraanstaande wetenschappers en vormgegeven voor en door een jonger publiek.

Wat zijn Frontiers for Young Minds Collecties?

Een Collectie is een reeks artikelen rondom een onderzoeksthema, samengesteld door deskundigen in dit gebied. De artikelen belichten het onderzoeksthema en diens resultaten van verschillende kanten, waardoor de Collectie leidt tot beter begrip van dit fundamentele wetenschappelijke onderzoeksveld.

Onze Frontiers for Young Minds Collecties bieden onze internationale gemeenschap van jongeren toegang tot de meest recente en meest fundamentele onderzoeksresultaten; bovendien, en misschien wel belangrijker, hebben de jongeren inspraak in hoe hun leeftijdsgenoten en het bredere publiek wordt bereikt. Elk artikel ondergaat een beoordelingsprocedure volgens de principes van Frontiers for Young Minds.

Zelf een Frontiers for Young Minds Collectie organiseren? Of wilt u een artikel schrijven? Neem dan contact op met de redactie: kids@frontiersin.org

ALLES WAT JIJ EN JE LERAREN MOETEN WETEN OVER HET LERENDE BREIN

Geredigeerd door:

Sabine Peters, Universiteit van Leiden, Nederland

Nienke van Atteveldt, Vrije Universiteit Amsterdam, Nederland

Jessica Massonnié, University College London, Verenigd Koninkrijk

Stephan E. Vogel, Universiteit van Graz, Oostenrijk

Kinderen gaan naar school om te leren, en leren gebeurt met de hersenen. In de tijd dat kinderen naar school gaan, ondergaan hun hersenen nog grote veranderingen. Daarom zijn de neurowetenschappen (de studie van de hersenen) en onderwijs nauw met elkaar verbonden. Leren is alleen mogelijk omdat de hersenen plastisch zijn: plasticiteit verwijst naar het vermogen van de hersenen om hun structuur te reorganiseren en daardoor functie en gedrag te veranderen.

Maar wat verandert er precies in de hersenen als we iets nieuws leren? Wat zijn de optimale omstandigheden voor de hersenen om te leren? En waarom vergeten we ook dingen? Welke ontwikkelingsveranderingen treden op in de hersenen tijdens de kindertijd en de adolescentie, en hoe zijn deze gelijk of verschillend vergeleken met de neurale mechanismen van leren en geheugen?

Neuro-imaging onderzoek, of "hersenscanning", heeft ons huidige inzicht in de ontwikkeling van de hersenen, leren, geheugen en andere schoolgerelateerde vaardigheden zoals lezen en rekenen vergroot, en heeft ook de kennis vergaard betreffende creativiteit, metacognitie en leer-gerelateerde emoties en angsten versneld. Maar wat meten deze hersenscantechnieken eigenlijk? Wat voor vragen kunnen we met neuro-imaging beantwoorden, en wat zijn de beperkingen?

In deze Collectie wordt een toegankelijk overzicht gegeven van de huidige inzichten in de mechanismen van hersenontwikkeling, leren en geheugen. De artikelen zullen kinderen helpen begrijpen hoe hun hersenen leren en zich ontwikkelen, en hoe deze processen worden gevormd door hun omgeving en hun eigen inspanningen. Bovendien laten we zien waarom het belangrijk is dat hun leerkrachten en andere onderwijsmensen kennis hebben van de hersenen en neurowetenschappelijke methoden. Ten slotte zullen we ook uitleggen wat er gebeurt als er verkeerde ideeën over de hersenen circuleren, of als de juiste kennis verkeerd wordt geïnterpreteerd. Neuromythen zoals 'we gebruiken maar 10 procent van onze hersenen' zijn hardnekkig, en het is belangrijk om daar tegenin te gaan door uit te leggen waarom ze onjuist zijn, en wat er in plaats daarvan waar is.

Dankbetuigingen: De volgende vrijwilligers hebben geholpen bij het vertalen, redigeren, en proeflezen van deze Nederlandse versie van de Collectie: Maarten Vandijck, Emma Overmaat, Reinier Prosee, en Hedwig Ens.

Citatie: Peters, S., van Atteveldt, N., Massonnié, J., Vogel, S. E., eds. (2023). Alles Wat Jij En Je Leraren Moeten Weten Over Het Lerende Brein. Lausanne: Frontiers Media SA.
doi: 10.3389/978-2-8325-2940-9

Inhoudsopgave

DEEL 1

HOE LEREN DE HERSENEN, EN WAAROM MOET JE DAT WETEN?

05 **BEGRIJP JE BREIN OM BETER TE LEREN**

Jérémie Blanchette Sarrasin, Lorie-Marlène Brault Foisy,
Geneviève Allaire-Duquette en Steve Masson

13 **WAAROM BEN JE ZOALS EEN HAAI: HET MUTUALISME IDEE TESTEN**

Rogier A. Kievit, Ivan L. Simpson-Kent en Delia Fuhrmann

21 **LEREN VAN FOUTEN: HOE GAAN DE HERSENEN OM MET FOUTEN?**

Knut Overbye, Rune Bøen, Rene J. Huster en Christian K. Tamnes

29 **GEBRUIK JE HERINNERINGEN OM BETER TE LEREN**

Marlieke van Kesteren en Martijn Meeter

36 **JE BEST DOEN OF NIET JE BEST DOEN? HOE JE BREIN BEPAALT!**

Anne-Wil Kramer, Hilde M. Huizenga, Lydia Krabbendam en
Anna C. K. van Duijvenvoorde

45 **SOCIAAL LEREN EN HET BREIN: HOE LEREN WE VAN EN OVER ANDERE MENSEN?**

Bianca Westhoff, Iris J. Koele en Ilse H. van de Groep

DEEL 2

NEUROMYTHES: NIET ALLES WAT JE LEEST OVER LEREN EN DE HERSENEN IS WAAR!

54 **NEURO-MYTHEN IN DE KLAS**

Victoria C. P. Knowland en Michael S. C. Thomas

63 **HET IS INGEWIKKELD: LEREN EN ONDERWIJZEN GAAT NIET OVER "LEERSTIJLEN"**

Breanna C. Lawrence, Burcu Yaman Ntelioglou en Todd Milford

DEEL 3

GROTER EN SLIMMER: HOE ONTWIKKELEN DE HERSENEN ZICH?

70 **JE BREIN IN DE PUBERTEIT**

Marjolein E. A. Barendse, Theresa W. Cheng en Jennifer H. Pfeifer

78 **WAAROM HET PUBERBREIN ECHT GEWELDIG IS**

Kathryn L. Mills en Jeya Anandakumar

DEEL 4

HOE KUNNEN WE IN HET LERENDE BREIN KIJKEN?

87 **HET METEN VAN HERSENGOLVEN IN DE KLAS**

Nienke van Atteveldt, Tieme W. P. Janssen en Ido Davidesco

96 **LICHT GEBRUIKEN OM TE BEGRIJPEN HOE DE HERSENEN IN DE KLAS WERKEN**

Mojtaba Soltanlou en Christina Artemenko

104 DE MAGIE VAN MAGNETISCHE RESONANTIE-IMAGING OM HET LEZENDE BREIN TE ONDERZOEKEN

Nora Maria Raschle, Réka Borbás, Carolyn King en Nadine Gaab

DEEL 5

WAT DOEN JE HERSENEN TIJDENS WISKUNDE EN LEZEN?

112 HOEVEEL IS 2×4 ? INZICHT IN HOE JE BREIN REKENPROBLEMEN OPLOST

Nikolaus Koren, Judith Scheucher en Stephan E. Vogel

121 MAAK RUIMTE VOOR RUIMTELIJK DENKEN! WAAROM RUIMTELIJK DENKEN ZO BELANGRIJK IS OM TE LEREN REKENEN

Katie A. Gilligan

129 TWEEËNVEERTIG OF VEERTIG-TWEE: LEREN REKENEN IN VERSCHILLENDE TALEN

Julia Bahnmueller, Hans-Christoph Nuerk en Krzysztof Cipora

137 HOE KUNNEN WEWOORDEN IN EEN VREEMDE TAAL GEMAKKELIJKER LEREN?

Brian Mathias, Christian Andrä, Katja M. Mayer, Leona Sureth, Andrea Klingebiel, Gesa Hartwigsen, Manuela Macedonia en Katharina von Kriegstein

DEEL 6

DINGEN DIE HET LEREN KUNNEN STIMULEREN... OF JUIST MOEILIJKER MAKEN

147 WIL JE JE HERSENEN TRAINEN? LEES DAN DIT ARTIKEL!

Dietsje Jolles en Linda Van Leijenhorst

155 MUZIEK EN LEREN: MAAKT MUZIEK JE SLIMMER?

Gabriella Musacchia en Alexander Khalil

162 WANNEER DE KEUZE OM NIET TE LUISTEREN, JE HELPT TE HOREN EN TE LEREN

Angela M. AuBuchon en Ryan W. McCreery

170 MIND GAMES: TECHNOLOGIE EN HET PUBERBREIN

Lucía Magis-Weinberg en Estelle L. Berger

179 CANNABIS EN HET LERENDE BREIN

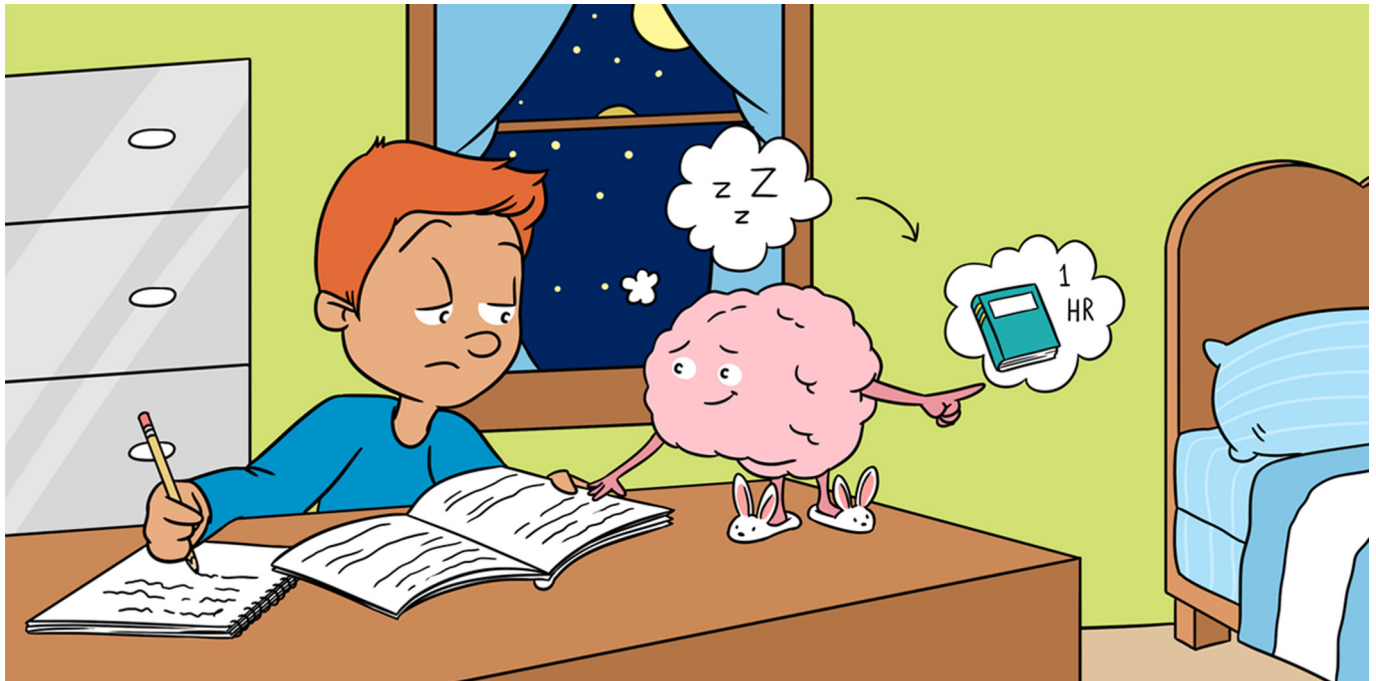
Lana Vedelago, Jillian Halladay, Catharine Munn, Katholiki Georgiades en Michael Amlung

187 EEN GOEDE NACHTRUST: ESSENTIEEL VOOR JONGE GEESTEN

M. Elisabeth Koopman-Verhoeff en Jared M. Saletin

196 VAN ZZZ'S TOT AAA'S: WAAROM SLAAP EEN BELANGRIJK ONDERDEEL VAN JE LEERPLANNING IS

Emma James, Ann-Kathrin Joechner en Beate E. Muehlroth



BEGRIJP JE BREIN OM BETER TE LEREN

Jérémie Blanchette Sarrasin^{1,2*}, Lorie-Marlène Brault Foisy^{1,2}, Geneviève Allaire-Duquette³ en Steve Masson^{1,2}

¹Département de Didactique, Université van Québec in Montréal, Montréal, QC, Canada

²Laboratory for Research in Neuroeducation, Montréal, QC, Canada

³Department of Mathematics, Science and Technology Education, The Constantiner School of Education, Université van Tel Aviv, Tel Aviv, Israël

JONGE REVIEWERS:

DR. H.
BAVINCK
SCHOOL

LEEFTIJD:

8–12

LOCARNO

HIGH
SCHOOL

LEEFTIJD:

17–18

In de afgelopen jaren zijn veel belangrijke ontdekkingen gedaan over hoe ons brein leert. Die inzichten kunnen leraren misschien helpen bij het ontwerpen van hun lessen, zodat jij beter kunt leren. Het begrijpen van de hersenen kan dus nuttig zijn voor leraren, maar zeker ook voor jou als leerling. Het kan je bijvoorbeeld laten inzien dat je je eigen vaardigheden kunt verbeteren. Als je dat inzielt, is de kans groter dat je moeite doet om te leren, en dat je goede strategieën gebruikt om te leren [1]. In dit artikel leggen we enkele kernprincipes uit van het lerende brein en stellen we leerstrategieën voor, gebaseerd op hersenonderzoek, die je op school of thuis kan uitproberen.

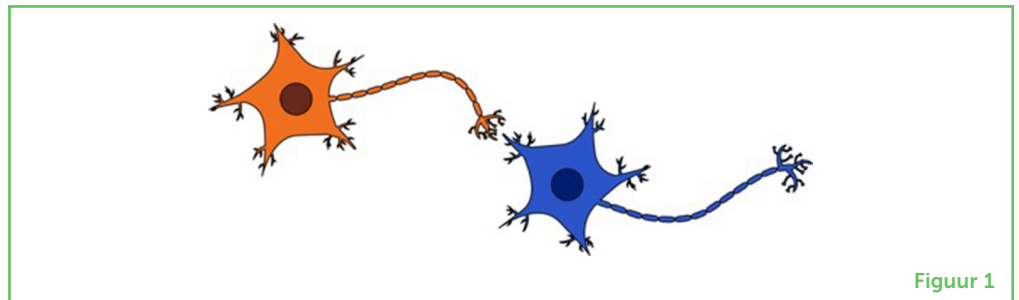
WAT GEBEURT ER IN MIJN BREIN ALS IK IETS LEER?

Je hersenen bestaan uit ongeveer 85 miljard neuronen. Dat is meer dan het aantal sterren dat je met het blote oog 's nachts in de lucht kunt zien! Een neuron is een cel die als een boodschapper werkt,

en informatie in de vorm van zenuwimpulsen (elektrische signalen) naar andere neuronen stuurt (zie **Figuur 1**). Als je bijvoorbeeld iets schrijft, verzenden sommige neuronen in je hersenen de boodschap "vingers bewegen" naar andere neuronen, en deze boodschap reist dan door de zenuwen helemaal naar je vingers (zoals door elektriciteitskabels). De elektrische signalen die van het ene neuron naar het andere worden gestuurd, zorgen ervoor dat jij alles kunt doen wat je doet: schrijven, denken, zien, springen, praten, rekenen, enzovoort. Elk neuron kan verbonden zijn met wel 10.000 andere neuronen, waardoor er een groot aantal verbindingen is in je hersenen [2], dat eruitziet als een zeer dicht spinnenweb (zie **Figuur 2**).

Figuur 1

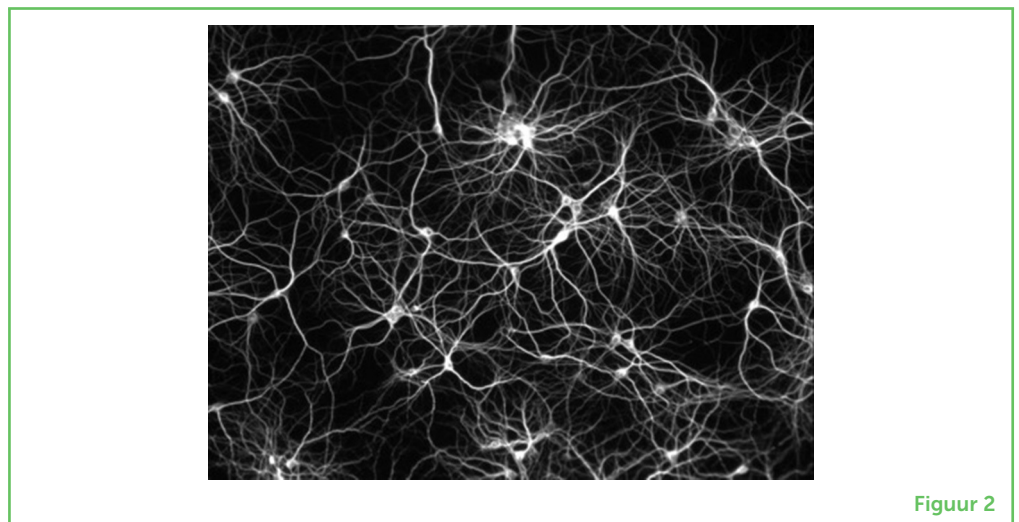
Twee neuronen die verbonden zijn.



Figuur 1

Figuur 2

Hier zie je hoe groot het aantal verbindingen tussen neuronen is in je brein.



Figuur 2

NEUROPLASTICITEIT

Het vermogen van je hersenen om te kunnen veranderen, dat wil zeggen verbindingen tussen je neuronen maken, versterken, verzwakken, of verwijderen.

Wanneer je aan het leren bent, vinden er belangrijke veranderingen plaats in je hersenen. Er worden bijvoorbeeld nieuwe verbindingen gemaakt tussen je neuronen. Dit fenomeen wordt **neuroplasticiteit** genoemd. Hoe meer je oefent, hoe sterker deze verbindingen worden. Naarmate je verbindingen sterker worden, worden de boodschappen (zenuwimpulsen) steeds sneller verzonden, waardoor ze beter gaan werken [3]. Zo word je beter in alles wat je leert, of het nu gaat om voetballen, lezen, of tekenen. Je kunt de verbindingen tussen je neuronen vergelijken met paden in een bos (zie **Figuur 3**). Het is moeilijk om door een bos lopen waar geen pad is, omdat je de planten en takken uit de weg moet duwen om er doorheen te kunnen. Hoe vaker je hetzelfde pad gebruikt, hoe gemakkelijker je erop kunt lopen.

Figuur 3

Een pad in het bos. Net als bij verbindingen tussen neuronen, wordt een bospad sterker als er vaker op gelopen wordt.



Figuur 3

Omgekeerd, als je stopt het pad te gebruiken, groeien de planten terug en verdwijnt het pad langzaam. Dit lijkt erg op wat er in je hersenen gebeurt - wanneer je stopt met iets te oefenen, worden de verbindingen tussen je neuronen weer zwakker en kunnen ze uiteindelijk verdwijnen. Daarom kan het zo moeilijk lijken om weer met lezen te beginnen als school weer begint na de zomervakantie. Het is ook mogelijk dat sommige netwerken zo sterk worden dat de verbindingen nooit volledig verdwijnen.

Het feit dat leren de verbindingen tussen je neuronen verandert, laat zien hoe dynamisch (kneedbaar) je hersenen zijn. Je hersenen veranderen continu, hoe (goed) je hersenen werken ligt niet vast. Door veel te oefenen en te herhalen, worden de verbindingen tussen je neuronen sterker en leer je. Deze veranderingen beginnen al als je nog als baby in de buik van je moeder zit, en gaan je hele leven lang door. Dus de vraag is, hoe kun je je neuronen helpen hun verbindingen te maken en te versterken? Hier presenteren we twee strategieën die beter lijken aan te sluiten bij hoe je hersenen werken en je zouden kunnen helpen beter te leren.

HERHAALDELIJK ACTIVEREN VAN JE NEURONEN

Via veel oefenen de informatie uit je geheugen ophalen, door bijvoorbeeld een concept uit te leggen aan een vriend of quizvragen te beantwoorden.

WELKE LEERSTRATEGIEËN PASSEN HET BEST BIJ JE HERSENEN?

Strategie 1: *Herhaaldelijk activeren van je neuronen*

Omdat je de verbindingen tussen je neuronen meerdere keren moet gebruiken om ze sterker en sneller te laten worden, is een eerste belangrijke strategie: het herhaaldelijk activeren van je neuronen. Dit betekent dat om bijvoorbeeld de tafel van negen te leren met rekenen, je deze heel vaak moet oefenen om de verbindingen tussen

je neuronen die je hierbij gebruikt, te versterken. Als baby kon je ook niet in één dag praten en lopen: je hebt veel geoefend. Alleen vluchtig een blik werpen op de tafel van negen zal niet veel nut hebben voor het verbinden van je neuronen. Om de verbindingen tussen je neuronen te leggen, moet je de antwoorden van de tafel van negen steeds weer uit je geheugen ophalen. Oftewel, je moet proberen het antwoord zelf op te halen om je verbindingen te activeren. We zeggen niet dat dit makkelijk is! Ook vind je het misschien best saai. Wetenschappers denken echter dat deze “worsteling” het leren verbetert, omdat de uitdaging betekent dat je nieuwe verbindingen bouwt. Vergeet niet dat het leren van iets nieuws is zoals wandelen in een stuk bos zonder pad: in het begin zal je waarschijnlijk langzaam lopen, maar als je blijft wandelen, zullen er zich paden vormen en uiteindelijk loop je op goed gebaande paden. Bovendien, als je probeert te herinneren wat je hebt geleerd en fout hebt gedaan, kan dit je helpen erachter te komen aan welk bospadje nog gewerkt moet worden.

Wetenschappers hebben ook opgemerkt dat het *maken* van een toets je kan helpen informatie beter te onthouden dan wanneer je alleen maar *leert* voor een toets [4]. Als je bijvoorbeeld de tafel van negen leert, afgewisseld met het maken van een toets, zal je de tafel van negen waarschijnlijk beter onthouden dan als je alleen had geleerd. Waarom? Voor de toets is het nodig dat je de informatie ophaalt uit de neuronen waarin de informatie is opgeslagen, waardoor je de verbindingen tussen die neuronen activeert en ze sterker worden. Wat je kunt proberen is om dit “ophalen” op een leuke manier te oefenen. Er zijn verschillende strategieën die je thuis kunt proberen, bijvoorbeeld het beantwoorden van oefenvragen of het gebruiken van flashcards. Hiermee leer je beter dan als je alleen de sommen en antwoorden van de tafel van negen doorleest (zolang je de flashcard niet omdraait voordat je het antwoord hebt opgehaald!). Andere strategieën zijn: het voorbereiden van vragen om aan een klasgenoot of je ouders te stellen, of het maken van een oefentoets. Gebruik je fantasie! Wat je moet onthouden, is dat je eerst de informatie moet ophalen om ervoor te zorgen dat je neuronen hun verbindingen versterken. Dus alleen lezen van of luisteren naar het antwoord werkt minder goed. Ten tweede is het belangrijk om feedback te krijgen om te weten of je iets goed of fout hebt. Wees niet ontmoedigd als je voor uitdagingen staat, dit is alleen maar goed voor het leerproces dat plaatsvindt in je hersenen!

HET SPREIDEN VAN HET ACTIVEREN VAN NEURONEN EN VERBINDINGEN

Oefen vaker, maar minder lang. Bijvoorbeeld, in plaats van 2 uur achter elkaar te studeren, 4 periodes van 30 minuten over een paar dagen studeren geeft je hersenen de kans om te pauzeren en slapen, wat jou helpt om op de lange termijn beter te onthouden.

Strategie 2: Het spreiden van het activeren van neuronen en verbindingen

Nu je weet dat neuronen herhaaldelijk moeten worden geactiveerd om te kunnen leren (en dat dit betekent dat je informatie moet ophalen), vraag je je waarschijnlijk af hoe vaak je moet oefenen. Wetenschappers die het lerende brein onderzoeken, hebben gevonden dat pauzes en slaap tussen leerperiodes het leren verbeteren, en ervoor zorgen dat je minder vergeet [5]. Het lijkt daarom beter om vaker korter te

leren en je kennis op te halen, en deze oefensessies te spreiden, dan één keer heel lang leren. Bijvoorbeeld, in plaats van 3 uur leren of huiswerk maken, waarna je je waarschijnlijk toch uitgeput zou voelen, zou je deze leerperiode kunnen opdelen in 3 periodes van een uur of zelfs in 6 periodes van een half uur. Kortom, wanneer je je ophaaloefening verspreidt, met pauzes ertussen, laat je je hersenen de verbindingen die je tijdens je oefensessies versterkt, nog efficiënter maken. Als je even stopt met oefenen, laten we zeggen een pauze van 20 minuten, dan kunnen de *receptoren* op de uiteindes van de neuronen onderhouden of vervangen worden. Deze receptoren zijn als stopcontacten die de zenuwimpuls (elektrische signalen) van andere neuronen ontvangen. Een pauze nemen helpt hen beter te werken: je neuronen kunnen hun zenuwimpuls dan gemakkelijker overbrengen naar andere neuronen. Tot slot, als je tussen de oefensessies slaapt, profiteer je eigenlijk van een gratis oefensessie, omdat je hersenen tijdens het slapen de verbindingen tussen de neuronen die je gedurende de dag hebt geactiveerd, opnieuw activeren. Een kort dutje kan ook al zulke voordelen opleveren. De volgende keer dat je slaperig bent in de klas, zou je je leraar kunnen vertellen dat je in feite probeert om ophaaloefeningen te doen! Om even samen te vatten: wanneer het leren, en in het bijzonder het ophalen van geleerde kennis, wordt gespreid, zijn je hersenen actiever dan wanneer je in één lange sessie leert.

Op dit moment vraag je je waarschijnlijk af hoe je verspreid kunt leren in je dagelijkse leven. Het goede nieuws is dat er een aantal manieren zijn om dit te doen, en die manieren kunnen makkelijk worden aangepast voor het leren van verschillende dingen. De meest voor de hand liggende manier die je bijvoorbeeld tijdens je leerwerk kunt uitvoeren, is het opdelen van je leertijd in kleinere sessies. Je kunt je juf of meester ook vragen om dagelijks of wekelijks een quiz te houden, zodat je wat je geleerd hebt actief kunt ophalen uit je geheugen, om het nog beter te onthouden. Ten slotte kan je leerwerk spreiden door leertaken af te wisselen. Je kunt bijvoorbeeld verschillende soorten sommen afwisselen, zoals breuken en verhaaltjessommen. Deze kunnen niet met dezelfde strategie worden opgelost, dus spreid je het leren door iets anders tussendoor te doen. Het extra voordeel van afwisselen is dat je tussen twee sessies verschillende activiteiten uitvoert, waardoor je je tijd goed gebruikt. Kortom, één ding om in gedachten te houden is dat eerder geleerde informatie minder moeite kost om opnieuw te leren, omdat het spreiden je hersenen de tijd geeft om te *consolideren* - wat betekent dat je hersenen de bouwstenen aanleggen die nodig zijn voor de verbindingen tussen je neuronen.

CONCLUSIE

Je brein is waar leren plaatsvindt en daarom moet je je neuronen actief houden om je les- of studietijd optimaal te gebruiken. De

twee leerstrategieën die in dit artikel worden uitgelegd, kunnen je helpen beter te leren door optimale omstandigheden te creëren om de verbindingen tussen je neuronen te versterken en te consolideren. Je weet nu dat je beter kunt worden door herhaaldelijk de aangelegde “paden” in je hersenen te gebruiken en door het leren te spreiden. Doordat je nu beter begrijpt hoe je hersenen leren, en welke leerstrategieën hier gebruik van maken, kun je nu je hersenen helpen om nog beter te leren!

DANKWOORD

We willen iedereen bedanken die meegewerkt heeft met de vertaling van de artikelen in deze Collectie om ze toegankelijker te maken voor kinderen buiten Engelstalige landen, en voor de Jacobs Foundation voor het verstrekken van de benodigde fondsen voor het vertalen van de artikelen. Voor dit artikel willen wij in het bijzonder Nienke van Atteveldt en Sabine Peters bedanken voor de Nederlandse vertaling.

REFERENTIES

1. Blanchette Sarrasin, J., Nenciovici, L., Brault Foisy, L.-M., Allaire-Duquette, G., Riopel, M., and Masson, S. 2018. Effects of inducing a growth mindset in students by teaching the concept of neuroplasticity on motivation, achievement, and brain activity: a meta-analysis. *Trends Neurosci. Educ.* 12:22–31. doi: 10.1016/j.tine.2018.07.003
2. Zaromb, F. M., and Roediger, H. L. 2010. The testing effect in free recall is associated with enhanced organizational processes. *Mem. Cogn.* 38:995–1008. doi: 10.3758/MC.38.8.995
3. Kania, B. F., Wronska, D., and Zieba, D. 2017. Introduction to neural plasticity mechanism. *J. Behav. Brain Sci.* 7:41–8. doi: 10.4236/jbbs.2017.72005
4. Callan, D. E., and Schweighofer, N. 2010. Neural correlates of the spacing effect in explicit verbal semantic encoding support the deficient-processing theory. *Hum. Brain Mapp.* 31:645–59. doi: 10.1002/hbm.20894
5. Rossi, S., Lanoë, C., Poirel, N., Pineau, A., Houdé, O., and Lubin, A. 2015. When I met my brain: participating in a neuroimaging study influences children's naive mind-brain conceptions. *Trends Neurosci. Educ.* 4:92–7. doi: 10.1016/j.tine.2015.07.001

GEREDIGEERD DOOR: Nienke Van Atteveldt

WETENSCHAPPELIJKE MENTOR: Serena Petrocchi

CITATIE: Blanchette Sarrasin J, Brault Foisy L-M, Allaire-Duquette G en Masson S (2023) Begrijp je brein om beter te leren. *Front. Young Minds.* doi: 10.3389/frym.2020.00054-nl

VERTALING EN BEWERKING VAN: Blanchette Sarrasin J, Brault Foisy L-M, Allaire-Duquette G and Masson S (2020) Understanding Your Brain to Help You Learn Better. *Front. Young Minds* 8:54. doi: 10.3389/frym.2020.00054

BELANGENVERSTRENGELING: De auteurs verklaren dat het onderzoek is uitgevoerd zonder enige commerciële of financiële relaties die zouden kunnen worden opgevat als potentiële belangenverstrengeling.

AUTEURSRECHTEN © 2020 © 2023 Blanchette Sarrasin, Brault Foisy, Allaire-Duquette en Masson. Dit is een open-access artikel verspreid onder de voorwaarden van de [Creative Commons Attribution \(CC BY\)](#). Gebruik, verspreiding of reproductie in andere fora is toegestaan, mits de oorspronkelijke auteur(s) en de auteursrechthebbende(n) worden gecrediteerd en de oorspronkelijke publicatie in dit wetenschappelijk tijdschrift wordt geciteerd, in overeenstemming met de gangbare wetenschappelijke beoefening. Geen enkel gebruik, distributie of reproductie is toegestaan dat niet voldoet aan deze voorwaarden.

JONGE REVIEWERS

DR. H. BAVINCKSCHOO, LEEFTIJD: 8–12

Wij zijn Spectrum klassen 5–6 en 7–8 van de Bavinckschool in Haarlem, Nederland. Dit is een groep van 40 kinderen (19 in groep 5–6 en 21 in groep 7–8) die graag wat meer willen leren dan het reguliere schoolprogramma. Ze hadden veel plezier tijdens het reviewen van het Young Minds artikel, en lazen de artikelen met veel focus en enthousiasme, en ze maakten een kritische evaluatie. Ze vonden het erg leuk om bij te dragen aan de wetenschap!



LOCARNO HIGH SCHOOL, LEEFTIJD: 17–18

Hi! Wij zijn twee klassen van de Locarno High School in Zwitserland. We studeren scheikunde en biologie. We zitten in het laatste jaar van de middelbare school, en we bereiden ons voor op onze eindexamens, die over 2 maanden beginnen. Het was een geweldige ervaring om het artikel te analyseren, en we danken u voor de activiteit die u ons hebt gegeven. Dankzij u waren we in staat om feedback te geven op een wetenschappelijke tekst in het Engels (wat niet onze moedertaal is). We voelden ons echt gesterkt!



AUTEURS

JÉRÉMIE BLANCHETTE SARRASIN

Ik ben een Ph.D. student aan de Universiteit van Québec in Montréal. Ik bestudeer hoe de hersenen leren en hoe het mogelijk is om deze kennis te gebruiken om onderwijspraktijken te bevorderen zodat ze meer compatibel zijn met het lerende brein. Mijn onderzoek is erop gericht om studenten te leren hoe hun hersenen leren om hen zo te helpen beter te leren! *blanchette_sarrasin.jeremie@uqam.ca



**LORIE-MARLÈNE BRAULT FOISY**

Ik ben professor aan de Universiteit van Quebec in Montreal (UQAM). Na mijn opleiding als onderwijzer in het basisonderwijs, besloot ik dat ik meer wilde weten over hoe kinderen leren. Dat is de reden waarom ik onderzoek doe in het onderwijs. Ik geloof dat het belangrijk is om beter te begrijpen wat er in de hersenen van kinderen gebeurt wanneer zij verschillende dingen leren. Als we beter begrijpen hoe hun hersenen leren, kan dat ons aanwijzingen geven om beter les te geven!

**GENEVIÈVE ALLAIRE-DUQUETTE**

Ik ben een post-doctorale fellow aan de Constantiner School of Education, Universiteit van Tel Aviv. Mijn onderzoek en onderwijs richten zich op de interdisciplinaire studie van menselijk leren, ontwikkeling, en onderwijs, oftewel Mind, Brain, and Education (MBE). In mijn huidige werk probeer ik de mechanismen van redeneren in de wetenschap en wiskunde beter te begrijpen door gebruik te maken van cognitieve neurowetenschappelijke methoden.

**STEVE MASSON**

Ik ben professor aan de Universiteit van Québec in Montréal. Met behulp van magnetische resonantie beeldvorming (MRI) kijk ik in de hersenen om te zien wat er verandert als leerlingen op school leren. Soms kijk ik zelfs of de manier waarop leraren lesgeven invloed heeft op wat er verandert in de hersenen van leerlingen als ze leren. Best cool!

Dutch version provided by

Nederlandse versie verzorgd door





WAAROM BEN JE ZOALS EEN HAAI: HET MUTUALISME IDEE TESTEN

Rogier A. Kievit^{1*}, Ivan L. Simpson-Kent¹ en Delia Fuhrmann^{1,2}

¹MRC Cognition and Brain Sciences Unit, University of Cambridge, Cambridge, Verenigd Koninkrijk

²Department of Psychology, Institute of Psychiatry, Psychology & Neuroscience, King's College London, Londen, Verenigd Koninkrijk

JONGE REVIEWERS:



AIDAN

LEEFTIJD: 9



DANIELA

LEEFTIJD: 10



LEIMINA

LEEFTIJD: 11



LUCIE

LEEFTIJD: 11

Wij willen begrijpen waarom kinderen zo veel beter worden in bepaalde cognitieve vaardigheden zoals lezen, schrijven en problemen oplossen naarmate ze ouder worden. Om dit beter te begrijpen, volgden wij honderden kinderen gedurende enkele jaren, om te zien hoe vaardigheden zoals probleemoplossing en woordenschat in de loop van de tijd veranderden. Wij ontdekten dat een goede woordenschat in het begin ervoor zorgde dat kinderen sneller problemen oplosten. Het werkte ook andersom: beter zijn in het oplossen van problemen betekende dat kinderen sneller nieuwe woorden leerden. Met andere woorden: elk cognitief vermogen kan andere vermogens helpen ontwikkelen. Dit idee heet mutualisme. Wij waren erg enthousiast over deze ontdekking, omdat dit ons kan helpen begrijpen hoe kinderen beter worden in dingen die ze nooit rechtstreeks oefenen, en hoe leerkrachten kinderen die bepaalde schoolonderwerpen moeilijker vinden, beter kunnen helpen.

MUTUALISME

Het idee dat verschillende cognitieve vaardigheden (zoals hoeveel woorden je kent, en hoe goed je problemen kunt oplossen) elkaar in de loop van de tijd juist helpen ontwikkelen.

Figuur 1

Een zuignapvis, remora, die meelift op een citroenhaai (bron: Albert Kok, wikimedia).

COGNITIEF

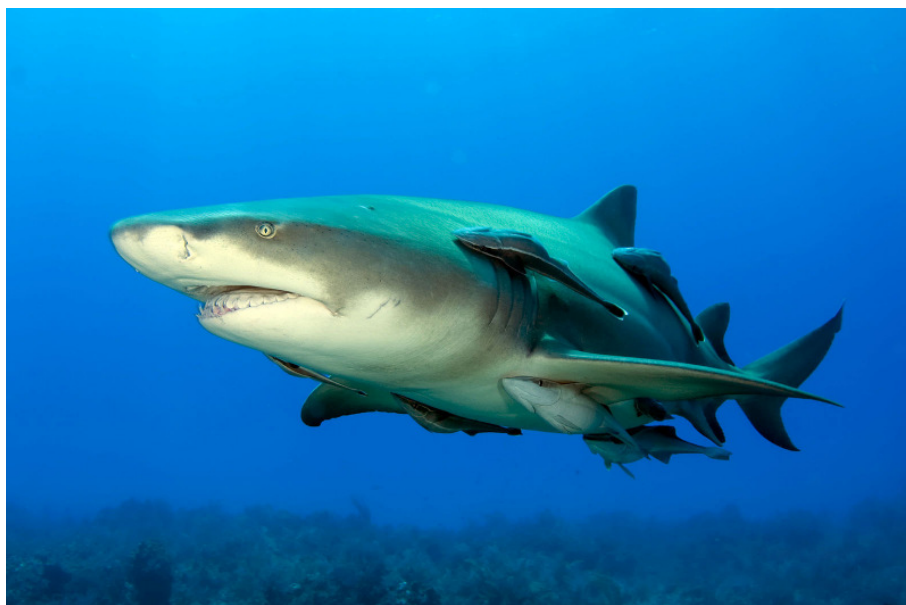
"Cognitief" is een term die wetenschappers gebruiken om te verwijzen naar mentale processen zoals denken, redeneren, onthouden en problemen oplossen.

WOORDENSCHAT

Dit betekent hoeveel woorden je kent.

WAT DIEREN ONS KUNNEN LEREN OVER ONS BEWUSTZIJN

Een van de vreemdste bezienswaardigheden van de natuur is te vinden voor de kust van Australië: kleine vissen, zogenaamde remoras, hechten zich aan haaien met een zuignap op hun kop (Figuur 1 - de foto met de haai). Waarom eet de haai de zuignapvis niet gewoon op? Waarom komt de zuignapvis eigenlijk zo dicht in de buurt van de haai? Het blijkt dat beide dieren baat hebben bij deze samenwerking. De zuignapvis eet parasieten en dode huid van de haai op, waardoor de haai schoon en gezond blijft. In ruil daarvoor krijgt de zuignapvis een gratis ritje door de oceanen, eet de restjes op die overblijven nadat de haai haar maaltje heeft gegeten, en wordt beschermd tegen andere roofdieren die niet in de buurt van de haai durven komen - iedereen wint! Dit fenomeen, wanneer beide soorten profiteren, wordt **mutualisme** genoemd. Onlangs hebben wetenschappers het idee van mutualisme gebruikt om iets te bestuderen dat op het eerste gezicht heel anders lijkt: menselijk leren.



Figuur 1

WAT IS MUTUALISME?

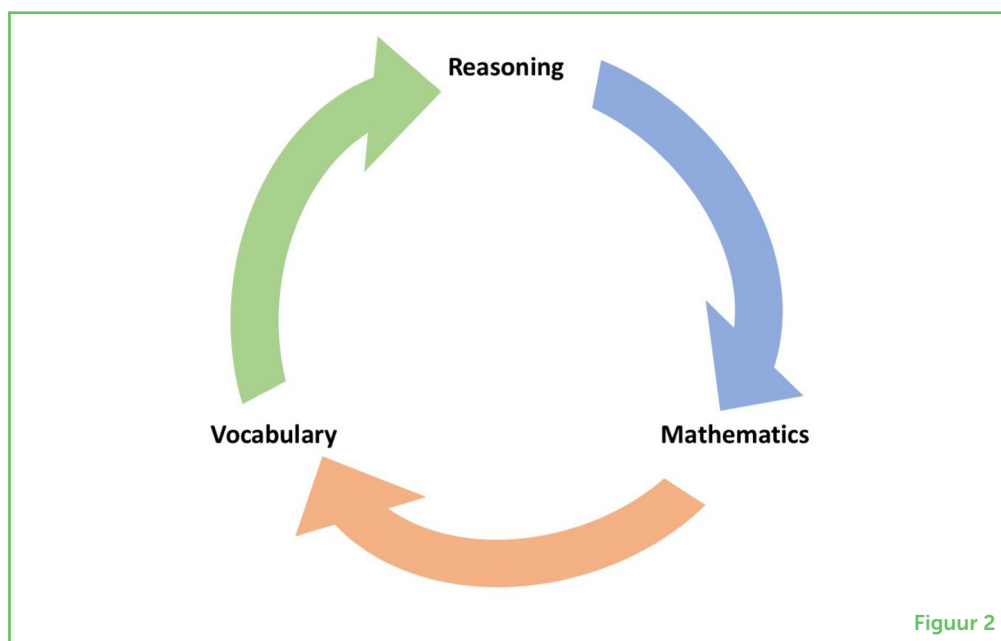
Telkens wanneer je een probleem probeert op te lossen - op school of in het dagelijks leven - gebruikt je wat psychologen je "**cognitieve vaardigheden**" noemen. Cognitieve vaardigheden zijn bijvoorbeeld je geheugen (hoe goed kun je dingen onthouden), je **woordenschat** (hoeveel woorden je kent) en redeneren (hoe goed ben je in het oplossen van problemen). Veel dingen die je op school doet en leert zijn afhankelijk van cognitieve vaardigheden. Woordenschat is bijvoorbeeld een heel belangrijke bouwsteen van taal, evenals andere

vaardigheden. Je gebruikt je woordenschat bijvoorbeeld wanneer je voor een baan solliciteert, een verhaal vertelt of een bericht naar een vriend of vriendin schrijft.

Meestal bestuderen wetenschappers verschillende cognitieve vaardigheden los van elkaar, net zoals je veel verschillende vakken op school leert. In enkele nieuwe onderzoeken hebben wetenschappers echter interessante verbanden ontdekt tussen cognitieve vaardigheden. Het blijkt dat je cognitieve vaardigheden zich in plaats van volledig aparte vaardigheden te gedragen een beetje gedragen als haaien en remoras - ze helpen elkaar om in de loop van de tijd te groeien. Zoals je kunt zien in **Figuur 2** (zie de afbeelding met de pijlen in een cirkel), is je woordenschat niet alleen nuttig om je taalvaardigheid te verbeteren, het kan ook helpen bij het redeneren, wat op zijn beurt weer kan helpen bij je rekenvaardigheid. Dit idee wordt mutualisme van cognitieve vaardigheden genoemd [1].

Figuur 2

Het idee van mutualisme: verschillende cognitieve vaardigheden helpen elkaar te ontwikkelen in de loop van de tijd.



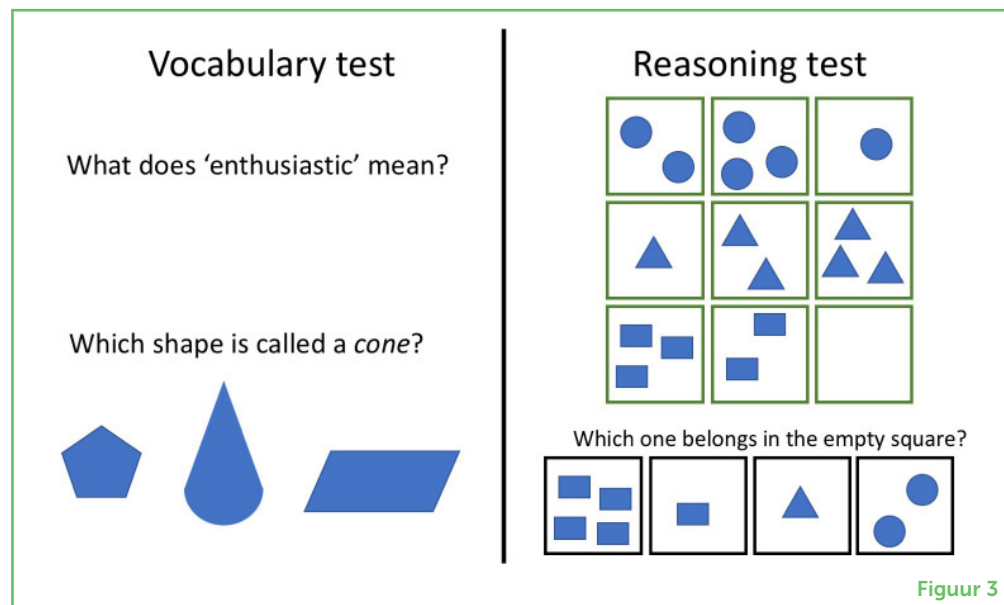
Figuur 2

HOE KUNNEN WE HET IDEE VAN MUTUALISME TESTEN?

Om het idee van mutualisme te testen, volgden we 800 jonge mensen (tussen de 14–24 jaar oud) in de loop van de tijd en maten hun vocabulaire en redeneervaardigheden) [2]. In **Figuur 3** kun je zien hoe de woordenschat- en redeneringstests er uitzagen. In de woordenschat test vroegen we de jongeren bijvoorbeeld om vorm aan te wijzen ("welke vorm is een kegel"), of uit te leggen wat een woord als "enthousiast" betekent. Voor de puzzel taak vroegen we hen om het ontbrekende puzzelstukje in te vullen (hint: tel de vormen van links naar rechts in elke rij). In onze studie hebben de kinderen en adolescenten deze tests twee keer gedaan, met een tussenpoos van ongeveer 1, 5 jaar.

Figuur 3

Een voorbeeld van hoe een woordenschattest (links) en een redeneringstest (rechts) wordt gebruikt om het mutualisme van cognitieve vaardigheden te bestuderen.



Figuur 3

We ontdekten dat de kinderen en adolescenten in de loop van de tijd beter werden in woordenschat en redeneren - net zoals je in de meeste dingen beter wordt naarmate je ouder wordt. Maar het belangrijkste was dat we bewijs ontdekten voor mutualisme van cognitieve vaardigheden. Het blijkt dat het hebben van een goede woordenschat je helpt om sneller je redeneer (puzzel) vaardigheden te verbeteren. Omgekeerd lijken goede redeneervaardigheden te helpen om ook sneller meer woorden te leren. Kortom, net zoals een goede balans of snel kunnen rennen je kunnen helpen om beter te worden in sporten zoals voetbal of tennis, kan het hebben van een goede woordenschat en redenering je ook helpen om andere cognitieve vaardigheden te ontwikkelen. Om erachter te komen of deze bevinding betrouwbaar was, hebben we het idee van mutualisme daarna nog een keer bestudeerd in een nieuwe groep jongere kinderen (van 6 tot 8 jaar oud). En inderdaad, opnieuw ontdekten we dat kinderen met een beter redeneervermogen sneller hun woordenschat verbeterden, en omgekeerd [3].

HOE KAN MUTUALISME JE HELPEN OP SCHOOL?

Hoe zou cognitief mutualisme jou kunnen helpen, bijvoorbeeld op school? We kunnen verschillende manieren bedenken. Het kan je bijvoorbeeld helpen te begrijpen wat er gebeurt als je op school nieuwe dingen leert. Twee wetenschappers, Stuart Ritchie en Elliot Tucker-Drob, gebruikten informatie van meer dan 600.000 mensen [4] en ontdekten dat naar school gaan je beter maakt in cognitieve tests, zoals IQ-tests. Dit is indrukwekkend, aangezien de meeste van deze tests nooit rechtstreeks op school werden gegeven. Kortom, door naar school te gaan wordt je niet alleen beter in schoolvakken, maar ook in allerlei andere uitdagingen. Dit is vergelijkbaar met mutualisme: met

goede "bouwstenen" kunnen verschillende cognitieve vaardigheden zich sneller ontwikkelen.

Inzicht in mutualisme is ook nuttig als je het moeilijk hebt op school. Stel dat je wel eens worstelt met wiskunde en niet zeker weet hoe je er beter in kan worden. Volgens mutualisme kan het zijn dat als je beter wordt in één vaardigheid (zoals woordenschat), je ook vanzelf beter wordt in andere cognitieve vaardigheden (zoals wiskunde), zelfs als ze heel anders lijken. Dus geef de wiskunde nog niet op! Ook andere schoolvakken zoals lezen, kunnen uiteindelijk helpen met wiskunde. Er is zelfs een nieuwe studie die precies dit laat zien: doordat ze een beetje beter waren in lezen, hielp dit de kinderen hun vermenigvuldigingsvaardigheden in de loop van de tijd te verbeteren [5]. Daarom is hard werken aan een bepaald schoolvak om allerlei redenen de moeite waard - als je goed bent in een bepaald vak, kun je gemakkelijker een heleboel andere vaardigheden opdoen.

WAT HEBBEN WE GELEERD OVER ONS BEWUSTZIJN?

Wat ons onderzoek naar mutualisme laat zien, is dat je mentale vermogens een beetje lijkt op de haai- en remora: verschillende vaardigheden, zoals woordenschat en probleemoplossing, helpen elkaar in de loop van de tijd te groeien. Mutualisme toont het belang aan van het leggen van verbindingen. Zowel jij als je leraren kunnen het nuttig vinden om verschillende onderwerpen en vakken met elkaar te verbinden - wat zijn de verbanden tussen beide en hoe kun je wat je in wiskunde hebt geleerd gebruiken om biologie te begrijpen? Door over deze verbanden tussen onderwerpen na te denken en deze te vormen, kun je het meeste uit je tijd op school halen. Misschien kan het leren van mutualisme je zelfs een beetje anders doen denken over onderwerpen op school. Het is niet alleen belangrijk om hard te studeren, maar ook om zo breed mogelijk te studeren. Je weet nooit wat de voordelen zijn van het leren van de ene vaardigheid op de andere!

Mutualisme is een heel nieuw en opwindend onderzoeksgebied, en er valt nog veel te leren. We werken er nog steeds hard aan om te begrijpen hoe mutualisme plaatsvindt in echte klaslokalen. We weten bijvoorbeeld niet of andere cognitieve vaardigheden, zoals het geheugen, ook de effecten van mutualisme laten zien, of sommige kinderen meer mutualisme vertonen dan andere, hoe de hersenen mutualisme mogelijk maken, of hoe lang je moet leren lezen voordat je voordeel bij hebt. We werken er hard aan, dus houd het in de gaten!

DANKWOORD

We willen Callahan Collier (11 jaar) bedanken voor waardevolle feedback op een eerdere versie van dit manuscript. We willen iedereen

bedanken die meeg geholpen heeft met de vertaling van de artikelen in deze Collectie om ze toegankelijker te maken voor kinderen buiten Engelstalige landen, en voor de Jacobs Foundation voor het verstrekken van de benodigde fondsen voor het vertalen van de artikelen. Voor dit artikel willen we in het bijzonder RK bedanken voor de Nederlandse vertaling.

OORSPRONKELIJKE ARTIKEL

Kievit, R. A., Hofman, A. D., and Nation, K. 2019. Mutualistic coupling between vocabulary and reasoning in young children: a replication and extension of the study by Kievit et al. (2017). *Psychol. Sci.* 30:1245–52. doi: 10.1177/0956797619841265

REFERENTIES

1. Van Der Maas, H. L., Dolan, C. V., Grasman, R. P., Wicherts, J. M., Huizenga, H. M., and Raijmakers, M. E. 2006. A dynamical model of general intelligence: the positive manifold of intelligence by mutualism. *Psychol. Rev.* 113:842–61. doi: 10.1037/0033-295X.113.4.842
2. Kievit, R. A., Lindenberger, U., Goodyer, I. M., Jones, P. B., Fonagy, P., Bullmore, E. T., et al. 2017. Mutualistic coupling between vocabulary and reasoning supports cognitive development during late adolescence and early adulthood. *Psychol. Sci.* 28:1419–31. doi: 10.1177/0956797617710785
3. Kievit, R. A., Hofman, A. D., and Nation, K. 2019. Mutualistic coupling between vocabulary and reasoning in young children: a replication and extension of the study by Kievit et al. (2017). *Psychol. Sci.* 30:1245–52. doi: 10.1177/0956797619841265
4. Ritchie, S. J., and Tucker-Drob, E. M. 2018. How much does education improve intelligence? A meta-analysis. *Psychol. Sci.* 29:1358–69. doi: 10.1177/0956797618774253
5. Rinne, L. F., Ye, A., and Jordan, N. C. 2019. Development of arithmetic fluency: a direct effect of reading fluency? *J. Educ. Psychol.* 112:110–30. doi: 10.1037/edu0000362

GEREDIGEERD DOOR: Sabine Peters

WETENSCHAPPELIJKE MENTOR: Gert-Jan Pepping

CITATIE: Kievit RA, Simpson-Kent IL en Fuhrmann D (2023) Waarom ben je zoals een haai: Het mutualisme idee testen. *Front. Young Minds.* doi: 10.3389/frym.2020.00060-nl

VERTALING EN BEWERKING VAN: Kievit RA, Simpson-Kent IL and Fuhrmann D (2020) Why Your Mind Is Like a Shark: Testing the Idea of Mutualism. *Front. Young Minds* 8:60. doi: 10.3389/frym.2020.00060

BELANGENVERSTRENGELING: De auteurs verklaren dat het onderzoek is uitgevoerd zonder enige commerciële of financiële relaties die zouden kunnen worden opgevat als potentiële belangenverstremgeling.

AUTEURSRECHTEN © 2020 © 2023 Kievit, Simpson-Kent en Fuhrmann. Dit is een open-access artikel verspreid onder de voorwaarden van de [Creative Commons Attribution \(CC BY\)](#). Gebruik, verspreiding of reproductie in andere fora is toegestaan, mits de oorspronkelijke auteur(s) en de auteursrechthebbende(n) worden gecrediteerd en de oorspronkelijke publicatie in dit wetenschappelijk tijdschrift wordt geciteerd, in overeenstemming met de gangbare wetenschappelijke beoefening. Geen enkel gebruik, distributie of reproductie is toegestaan dat niet voldoet aan deze voorwaarden.

JONGE REVIEWERS

AIDAN, LEEFTIJD: 9

Aidan is 9 jaar oud, hij houdt van coderen en wetenschap. Hij leest ook graag en veel. Hij leest graag boekenreeksen zoals "Wings of Fire", "How to Train Your Dragon", "The Three Doors Trilogy", "Deltora Quest", "His Dark Materials Trilogie", "Mr. Gum", "Harry Potter" en "Weir Do".



DANIELA, LEEFTIJD: 10

Hoi, mijn naam is Daniela. Ik ben 10 jaar oud. Ik woon in Australië. Mijn favoriete hobby is tennis spelen, en mijn favoriete vak is wetenschap. Als ik groot ben wil ik graag wetenschap studeren om dokter te worden.



LEIMINA, LEEFTIJD: 11

Hoi, ik hou van sport, vooral netbal, maar ook van andere sporten. Ik zou zeggen dat ik een vrij goede artiest ben. Ik hou van lezen en nieuwe dingen leren.



LUCIE, LEEFTIJD: 11

Lucie houdt van wetenschap en wiskunde. Ze is erg geïnteresseerd in biologie en scheikunde. In haar vrije tijd leest Lucie graag. Haar favoriete boekengenres zijn non-fictie, actie, fantasie en romantiek.



AUTEURS

ROGIER A. KIEVIT

Rogier is een psycholoog die wil begrijpen waarom kinderen zo snel vaardigheden leren, en waarom oudere mensen de neiging hebben wat slechter te worden in dingen als ze (echt) oud worden. Hij kijkt naar grote groepen kinderen en volwassenen om uit te zoeken hoe hun hersenen in de loop der tijd veranderen, en wat die veranderingen doen met hoe ze denken, redeneren en onthouden. Hij



houdt van haaien en was erg blij dat hij een foto van een haai kon gebruiken in dit artikel. *rogier.kievit@mrc-cbu.cam.ac.uk; www.rogierkievit.com



IVAN L. SIMPSON-KENT

Ivan is Ph.D student aan de MRC Cognition and Brain Sciences Unit van de Universiteit van Cambridge. In zijn onderzoek probeert hij te begrijpen hoe hersenen en gedrag op elkaar inwerken tijdens de kindertijd en adolescentie om zo slimmer te worden. Hij hoopt de inzichten uit zijn onderzoek toe te passen om het onderwijsbeleid te helpen sturen, vooral voor kansarme jongeren die moeite hebben met leren op school.

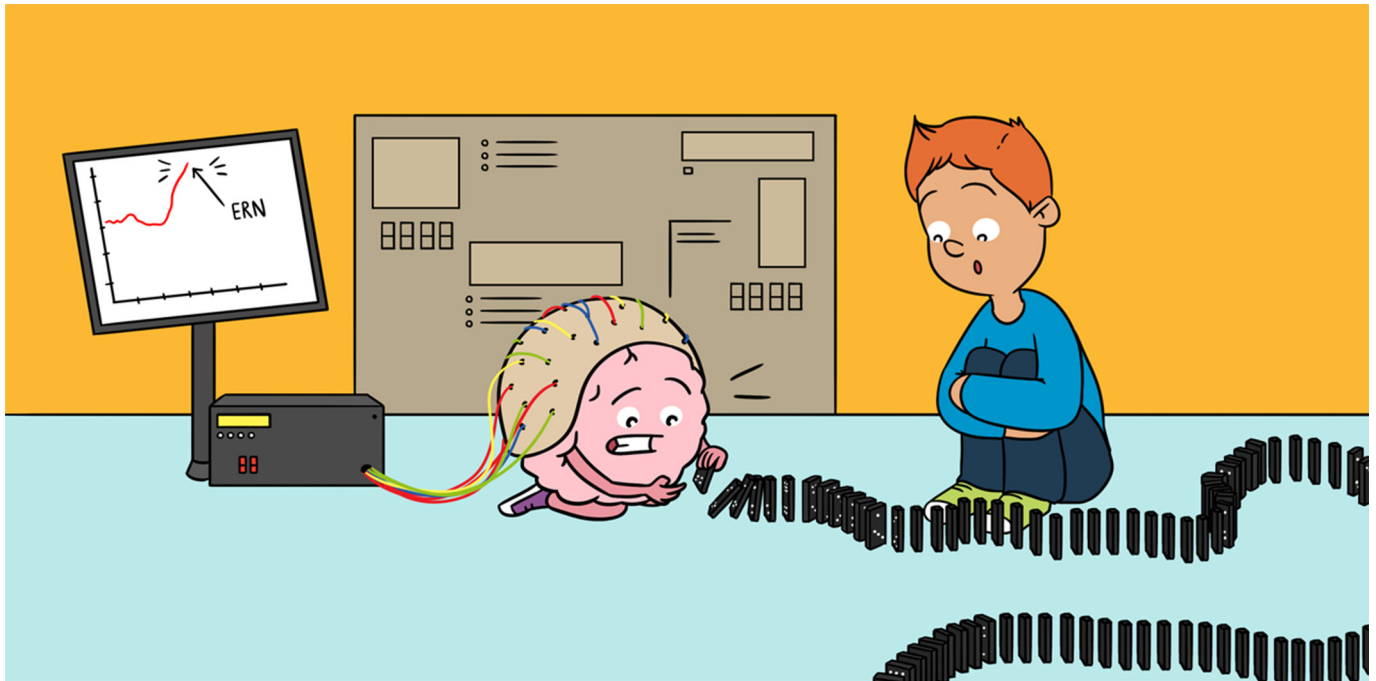


DELIA FUHRMANN

Delia is een psychologe die gefascineerd is door de ontwikkeling van het bewustzijn en de hersenen. Ze werkt aan de Universiteit van Cambridge en King's College London. Ze wil begrijpen hoe de omgeving ons op verschillende leeftijden beïnvloedt. Buiten het lab speelt ze graag met haar kinderen, leest boeken en danst.

Dutch version provided by
Nederlandse versie verzorgd door

 **JACOBS
FOUNDATION**
Our Promise to Youth



LEREN VAN FOUTEN: HOE GAAN DE HERSENEN OM MET FOUTEN?

Knut Overbye¹, Rune Bøen², Rene J. Huster³ en Christian K. Tamnes^{2,4,5*}

¹Center for Lifespan Changes in Brain and Cognition, Department of Psychology, University of Oslo, Oslo, Noorwegen

²PROMENTA Research Center, Department of Psychology, University of Oslo, Oslo, Noorwegen

³Multimodal Imaging and Cognitive Control Lab, Department of Psychology, University of Oslo, Oslo, Noorwegen

⁴NORMENT, Institute of Clinical Medicine, University of Oslo, Oslo, Noorwegen

⁵Department of Psychiatric Research, Diakonhjemmet Hospital, Oslo, Noorwegen

JONGE REVIEWERS:



ASHLEY
LEEFTIJD: 12



JULIA
LEEFTIJD: 14



SAMANTHA
LEEFTIJD: 15

We maken allemaal wel eens fouten - en als we dat doen, is het een mooie kans voor de hersenen om ervan te leren. Om te begrijpen hoe de hersenen fouten opsporen en ermee omgaan, gebruiken onderzoekers een soort badmuts met daarop sensoren die de hersenactiviteit meten. Een belangrijke ontdekking van deze techniek, is dat de hersenen een specifiek soort hersenactiviteit produceren wanneer een persoon een fout begaat. Deze activiteit, de foutgerelateerde negativiteit of ERN (Error-Related Negativity) genoemd, vindt bijna tegelijk plaats met de fout. Het is alsof de hersenen al weten dat we een fout maken binnen een fractie van een seconde, voordat we ons er zelfs maar bewust van zijn. Waar in de hersenen komt de ERN vandaan? Hoe helpt het ons te leren? En hoe verandert het terwijl we ons ontwikkelen van kinderen tot volwassenen?

FOUTEN MAKEN

Een fout maken voelt slecht. Die plotselinge schok als de pijl het dartbord mist, of het vervelende gevoel als je een 4 terugkrijgt op een toets. Deze gevoelens kunnen vervelend of pijnlijk zijn, maar ze maken deel uit van wat je hersenen doen om je in de toekomst te laten slagen.

Voor onze verre voorouders, die nog in het wild leefden, op wild jaagden en roofdieren moesten ontwijken, kon een fout maken ernstige gevolgen hebben, zoals verwonding of de dood. De hersenen van onze voorouders moesten hen helpen te leren van hun fouten, zodat de mensheid kon overleven. Een belangrijke functie van de hersenen is om te proberen de toekomst te voorspellen. Dus ook hoe we onze acties in de toekomst kunnen veranderen, zodat we voorkomen dezelfde fouten te maken. Het is daarom belangrijk om te begrijpen hoe de hersenen fouten opsporen en ermee omgaan, zodat wij begrijpen hoe de hersenen werken en leren.

We kunnen een fout op de volgende manier voorstellen: je begint met een doel dat je wilt bereiken. Misschien speel je voetbal en sta je op het punt een vrije schop te nemen. Je doel is letterlijk om een doelpunt te scoren. Je beoordeelt de situatie en kiest een plan van aanpak. Stel dat het andere team een muur heeft neergezet, dus je besluit de bal om de spelers heen in het doel te buigen. Maar je geeft de bal te weinig spin, en hij raakt de doelpaal.

In dit voorbeeld werd de fout veroorzaakt door een onjuiste voorspelling. Je voorspelde dat de manier waarop je de bal schopte ertoe zou leiden dat je een doelpunt zou scoren, maar tot je verbazing raakte deze in plaats daarvan de doelpaal! Met andere woorden, wat je dacht dat er zou gebeuren, is niet echt gebeurd. Hoewel je misschien teleurgesteld bent omdat je geen doelpunt hebt gescoord, vertelt deze ervaring je wel iets heel belangrijks. Het vertelt je dat je ideeën over hoe de wereld werkt en hoe je die kunt beïnvloeden, niet helemaal correct zijn. Nu weet je dat je de volgende keer de bal met meer spin moet trappen. Dankzij zulke leerervaringen kun je je schoppen verfijnen totdat je uiteindelijk scoort.

HOE GAAN DE HERSENEN OM MET FOUTEN?

Hersencellen communiceren met elkaar door middel van elektriciteit. Een deel van deze elektrische activiteit gaat van de hersencellen naar de buitenkant van het hoofd. Het passeert onderweg hersenweefsel, de schedel en je huid. Door een soort badmuts te gebruiken met speciale sensoren, elektroden genaamd, kunnen we deze activiteit meten; deze methode wordt **elektro-encefalografie (EEG)** genoemd. Met EEG kunnen we hersenactiviteit onderzoeken terwijl mensen

ELEKTRO- ENCEFALOGRAFIE (EEG)

Een methode om elektrische activiteit van de hersenen te registreren.

FOUTGERELATEERDE NEGATIVITEIT (ERN):

Negatief geladen elektrische hersenactiviteit die zeer snel na een fout optreedt en die de detectie en verwerking van de fout signaleert.

Figuur 1

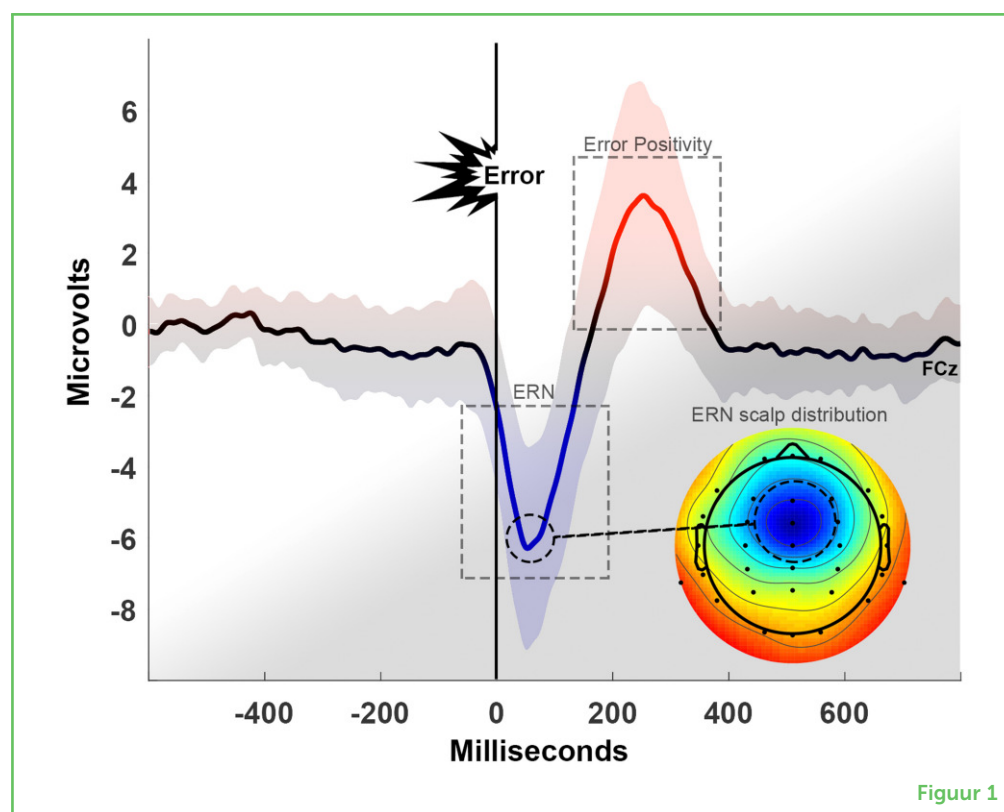
De foutgerelateerde negativiteit (ERN) en de foutgerelateerde positiviteit. Een specifiek patroon van hersenactiviteit kan worden waargenomen wanneer we een fout maken. De golvende lijn in de grafiek toont de hersenactiviteit gedurende de tijd. De verticale lijn geeft het tijdstip weer waarop de fout werd gemaakt. De ERN (blauw) treedt vrijwel onmiddellijk op na het maken van de fout en is het sterkst boven in het hoofd, terwijl de foutgerelateerde positiviteit (rood) iets later optreedt.

CINGULATE CORTEX

Een deel van de hersenen diep in het midden van de hersenen.

verschillende taken uitvoeren. De hersenen stoppen nooit met werken, zelfs niet als je slaapt, en produceren dus constant deze elektrische activiteit. Door naar patronen in deze elektrische "hersengolven" te kijken, is het mogelijk om te zien wat er in de hersenen gebeurt. We kunnen zien of mensen wakker zijn of slapen, of ze ontspannen of geconcentreerd zijn, of net een fout hebben gemaakt.

In het lab onderzoeken we hersenactiviteit als gevolg van fouten, door iemand een heel moeilijke taak te geven, waarbij hij of zij ongetwijfeld veel fouten zal maken. De persoon kan bijvoorbeeld worden gevraagd om snel op een bepaalde toets op een toetsenbord te drukken wanneer een linker- of rechterpijl in het midden van het scherm wordt weergegeven, maar de pijl wordt omgeven door veel afleidende pijlen die in de andere richting wijzen. Telkens wanneer de persoon een fout maakt, verschijnt er een speciaal patroon van hersenactiviteit: een scherpe, negatieve elektrische activiteit die het sterkst is aan de bovenkant van het hoofd. Omdat deze elektrische activiteit negatief geladen is en samenhangt met het maken van fouten, wordt dit de **foutgerelateerde negativiteit** of ERN genoemd [1] (Figuur 1).



Figuur 1

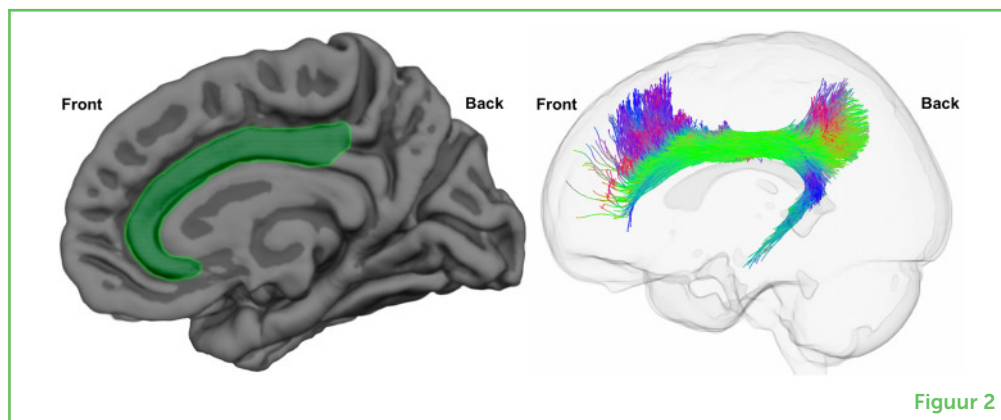
De ERN komt waarschijnlijk uit een gebied diep in het voorste deel van de hersenen, de **cingulate cortex** genaamd [2] (Figuur 2). De ERN is waarschijnlijk het gevolg van de cingulate cortex die een fout opspoorde en een waarschuwingssignaal naar andere delen van de hersenen stuurt via de **cingulum bundel**, waardoor iemands aandacht wordt gericht op het verkleinen van de kans op nieuwe fouten.

Figuur 2

De cingulate cortex en de cingulum bundel.

Links: De cingulate cortex, weergegeven in groen, is een gebied diep in het midden van de hersenen, en is de bron van de ERN.

Rechts: De cingulum bundel, de vezelverbindingen die onder de cingulate cortex liggen, verbindt verschillende hersengebieden met elkaar (figuur gemaakt door Sila Genc).



Figuur 2

CINGULUM BUNDEL

Een zenuwbaan die een verzameling vezels bevat die veel verschillende delen van de hersenen met elkaar verbinden.

FOUTGERELATEERDE POSITIVITEIT (ERROR POSITIVITY [Pe])

Positief geladen elektrische hersenactiviteit die vanaf 200 ms na een fout optreedt en betrokken is bij ons bewustzijn van het maken van de fout.

Een bijzonder aspect van de ERN is hoe snel het optreedt nadat je een fout maakt. Zo snel zelfs dat het gebeurt voordat je bewust bent van de fout. De ERN treedt meestal niet later op dan 100 ms (1/10 van een seconde) nadat er een fout is gemaakt. De ERN kan zelfs voorkomen op bijna exact hetzelfde moment als de fout zelf. Daarentegen heb je pas minstens 200 ms later het gevoel dat je een fout hebt gemaakt. Het is alsof je hersenen weten dat je een fout hebt gemaakt voordat "jij" dat doet! En inderdaad, wetenschappers denken dat dit precies is wat er gebeurt. De cingulate cortex vergelijkt je daadwerkelijke acties met wat je eigenlijk wilde of zou moeten bereiken, en de ERN geeft vervolgens aan je "bewuste zelf" een signaal door dat deze niet overeenkomen. De ERN brengt deze fout of mismatch onder onze aandacht. Het besef dat je een fout maakte vindt op hetzelfde moment plaats als een later hersensignaal, de **foutgerelateerde positiviteit (Error Positivity [Pe])** genoemd. Dit is een elektrisch signaal waarvan wetenschappers denken dat het betrokken is bij onze bewustwording van het maken van een fout.

HOE HELPEN FOUTEN ONS GEDRAG AAN TE PASSEN EN TE LEREN?

Uit veel wetenschappelijke studies blijkt dat we na het maken van een fout in de volgende ronde langzamer reageren. Dit kan zijn omdat de hersenen proberen zichzelf meer tijd te geven, om te voorkomen dat ze dezelfde fout opnieuw maken. Hoe groter de ERN is na een fout, des te trager is de reactie in de volgende ronde [3].

Sommige mensen hebben een grotere ERN dan anderen. Betekent dit dat ze gevoeliger zijn voor het maken van fouten en meer leren van hun fouten? Sommige studies lijken dit idee te ondersteunen. Hirsh en Inzlicht [4] ontdekten bijvoorbeeld dat een grotere ERN samenhangt met betere schoolprestaties. In hun onderzoek maten de onderzoekers de hersenactiviteit van universiteitsstudenten en ontdekten ze dat de studenten met een grotere ERN ook over het algemeen betere cijfers haalden.

Het hebben van een grotere ERN is echter niet altijd een goede zaak. Mensen die angstiger zijn, hebben doorgaans grotere ERN's [5], en zeer sterke hersenreacties op fouten worden eerder in verband gebracht met een grotere afleidbaarheid dan met een verbeterde focus. Als een normale ERN laat zien dat de hersenen reageren op fouten, dan laat een vergrote ERN zien dat de hersenen overreageren, en meer overstuur en gealarmeerd raken door een fout dan dat nodig is.

HOE VERANDEREN FOUTSIGNALLEN ALS WE OPGROEIEN?

In de kindertijd en adolescentie ondergaat het lichaam veel fysieke veranderingen, maar er zijn ook veel veranderingen in hoe we denken, voelen en ons gedragen, en in onze motivaties. Deze veranderingen, samen met de steeds grotere verantwoordelijkheden en verwachtingen, vereisen herhaaldelijk vallen en opstaan om de sociale en academische vaardigheden te leren die we nodig hebben als volwassenen.

Studies tonen aan dat de ERN verandert met de leeftijd, waarbij volwassenen en oudere adolescenten grotere ERN-signalen hebben dan kinderen [3]. Dat de ERN gedurende de kindertijd en adolescentie in grootte toeneemt, houdt waarschijnlijk verband met de manier waarop de hersenen zich ontwikkelen. Verschillende delen van de hersenen ontwikkelen zich met verschillende snelheden. Sommige hersengebieden zijn in de late kinderjaren volledig ontwikkeld, terwijl andere gebieden zich blijven ontwikkelen tot in de volwassenheid [6]. De cingulate cortex, die de ERN produceert, stopt niet met ontwikkelen tot je 25-30 jaar bent. Met andere woorden, een deel van de hersenen dat belangrijk is om van onze fouten te leren, heeft erg veel tijd nodig om zich te ontwikkelen in vergelijking met andere hersengebieden.

CONCLUSIE

Fouten maken kan soms vervelend en frustrerend zijn. Het is echter ook heel belangrijk om van onze fouten te leren, zodat we ons gedrag kunnen corrigeren en de volgende keer dat we ons in dezelfde situatie bevinden dingen anders kunnen doen. De hersenen zijn erg gevoelig voor het maken van fouten en produceren een bepaald type elektrische activiteit als we fouten maken, de ERN genaamd. Dit foutsignaal: (1) treedt op voordat we ons bewust zijn van onze fout; (2) wordt groter naarmate we ouder worden; en (3) kan voorspellen hoe goed we presteren op school. Er is nog veel dat we niet weten over hoe de hersenen reageren op fouten. Door meer onderzoek te doen naar de ERN, kunnen we wellicht enkele van deze mysteries oplossen.

DANKWOORD

We willen iedereen bedanken die meegewerkt heeft met de vertaling van de artikelen in deze Collectie om ze toegankelijker te maken voor kinderen buiten Engelstalige landen, en voor de Jacobs Foundation voor het verstrekken van de benodigde fondsen voor het vertalen van de artikelen. Voor dit artikel willen we in het bijzonder Tieme Janssen bedanken voor de Nederlandse vertaling. CT werd ondersteund door de Onderzoeksraad van Noorwegen (# 230345, # 288083, # 223273) en de Regionale Gezondheidsautoriteit van Zuidoost-Noorwegen (# 2019069).

REFERENTIES

1. Tamnes, C. K., Walhovd, K. B., Torstveit, M., Sells, V. T., and Fjell, A. M. 2013. Performance monitoring in children and adolescents: a review of developmental changes in the error-related negativity and brain maturation. *Dev. Cogn. Neurosci.* 6:1–13. doi: 10.1016/j.dcn.2013.05.001
2. Cavanagh, J. F., and Frank, M. J. 2014. Frontal theta as a mechanism for cognitive control. *Trends Cogn. Sci.* 18:414–21. doi: 10.1016/j.tics.2014.04.012
3. Overbye, K., Walhovd, K. B., Paus, T., Fjell, A. M., Huster, R. J., and Tamnes, C. K. 2019. Error processing in the adolescent brain: Age-related differences in electrophysiology, behavioral adaptation, and brain morphology. *Dev. Cogn. Neurosci.* 38:100665. doi: 10.1016/j.dcn.2019.100665
4. Hirsh, J. B., and Inzlicht, M. 2010. Error-related negativity predicts academic performance. *Psychophysiology* 47:192–6. doi: 10.1111/j.1469-8986.2009.00877.x
5. Hajcak, G. 2012. What we've learned from mistakes: insights from error-related brain activity. *Curr. Direct. Psychol. Sci.* 21:101–6. doi: 10.1177/0963721412436809
6. Amlien, I. K., Fjell, A. M., Tamnes, C. K., Grydeland, H., Krogstad, S. K., Chaplin, T. A., et al. 2016. Organizing principles of human cortical development-thickness and area from 4 to 30 years: insights from comparative primate neuroanatomy. *Cereb. Cortex* 26:257–67. doi: 10.1093/cercor/bhu214

GEREDIGEERD DOOR: Nienke Van Atteveldt

WETENSCHAPPELIJKE MENTORS: Jessie Claire Newville en Iryna Omelchenko

CITATIE: Overbye K, Bøen R, Huster RJ en Tamnes CK (2023) Leren Van Fouten: Hoe Gaan De Hersenen Om Met Fouten? *Front. Young Minds*. doi: 10.3389/frym.2020.00080-nl

VERTALING EN BEWERKING VAN: Overbye K, Bøen R, Huster RJ and Tamnes CK (2020) Learning From Mistakes: Howdoes The Brain Handle Errors?. *Front. Young Minds* 8:80. doi: 10.3389/frym.2020.00080

BELANGENVERSTRENGELING: De auteurs verklaren dat het onderzoek is uitgevoerd zonder enige commerciële of financiële relaties die zouden kunnen worden opgevat als potentiële belangenverstrengeling.

AUTEURSRECHTEN © 2020 © 2023 Overbye, Bøen, Huster en Tamnes. Dit is een open-access artikel verspreid onder de voorwaarden van de [Creative Commons Attribution \(CC BY\)](#). Gebruik, verspreiding of reproductie in andere fora is toegestaan, mits de oorspronkelijke auteur(s) en de auteursrechthebbende(n) worden gecrediteerd en de oorspronkelijke publicatie in dit wetenschappelijk tijdschrift wordt geciteerd, in overeenstemming met de gangbare wetenschappelijke beoefening. Geen enkel gebruik, distributie of reproductie is toegestaan dat niet voldoet aan deze voorwaarden.

JONGE REVIEWERS



ASHLEY, LEEFTIJD: 12

Hallo, ik ben Ashley !! Ik dans elke dag de flamenco omdat het leuk is en een geweldige lichamelijke activiteit is. Flamenco en acteerles zijn mijn favoriete lessen dit jaar. Ik ga naar een school die zich niet alleen richt op normale lessen, maar ook op podiumkunsten. In mijn vrije tijd maak ik graag grappen en speel ik kaartspelletjes met mijn gezin.



JULIA, LEEFTIJD: 14

Mijn naam is Julia en ik ben een leerling in de 3^e klas van de middelbare school in Berlijn. Ik ben erg geïnteresseerd in wiskunde, scheikunde en wetenschap, vooral neuro- en ruimtewetenschappen of kwantummechanica, maar ik leer ook graag talen. Thuis praat ik met mijn ouders in het Oekraïens omdat we oorspronkelijk uit Oekraïne komen en daarnaast studeer ik Duits, Engels en Frans op school. In mijn vrije tijd hou ik erg van piano spelen, dansen en boeken lezen.



SAMANTHA, LEEFTIJD: 15

Hallo mijn naam is Samantha! Ik hou van lezen en schrijven, en ik ben momenteel bezig met het schrijven van een lang verhaal. Mijn favoriete lessen zijn scheikunde en Engels. In mijn vrije tijd geniet ik ervan de mysteries van het universum te overdenken, de ruimte in te staren en verhalen te schrijven.

AUTEURS



KNUT OVERBYE

Knut is een psycholoog en cognitief neurowetenschapper. Hij onderzoekt hoe de hersenen van adolescenten reageren op fouten en verrassingen. Momenteel onderzoekt hoe de hersenen fysiek veranderen als we iets oefenen voor lange tijd. Zowel op het werk als thuis geniet Knut van programmeren en het ontdekken van nieuwe toepassingen voor virtual reality.

**RUNE BØEN**

Rune is onderzoeksassistent en helpt bij het uitvoeren van experimenten. Hij is geïnteresseerd in de hersenen en hoe ze werken, en wil in de toekomst cognitief neurowetenschapper worden. Hij houdt van wetenschap en leert graag nieuwe dingen. Als hij niet werkt, leest hij graag boeken, luistert hij naar podcasts en kijkt hij naar voetbal.

**RENE J. HUSTER**

René is een cognitief neurowetenschapper die onderzoekt hoe de hersenen ons helpen om ons aan te passen aan veranderingen in de omgeving, en hoe we kunnen functioneren onder uitdagende omstandigheden, bijvoorbeeld hoe kun je het eten van een koekje weerstaan, als je er misschien drie krijgt als je 30 minuten wacht? Als hij niet aan het werk is, oefent hij graag Jiu Jitsu of de basgitaar.

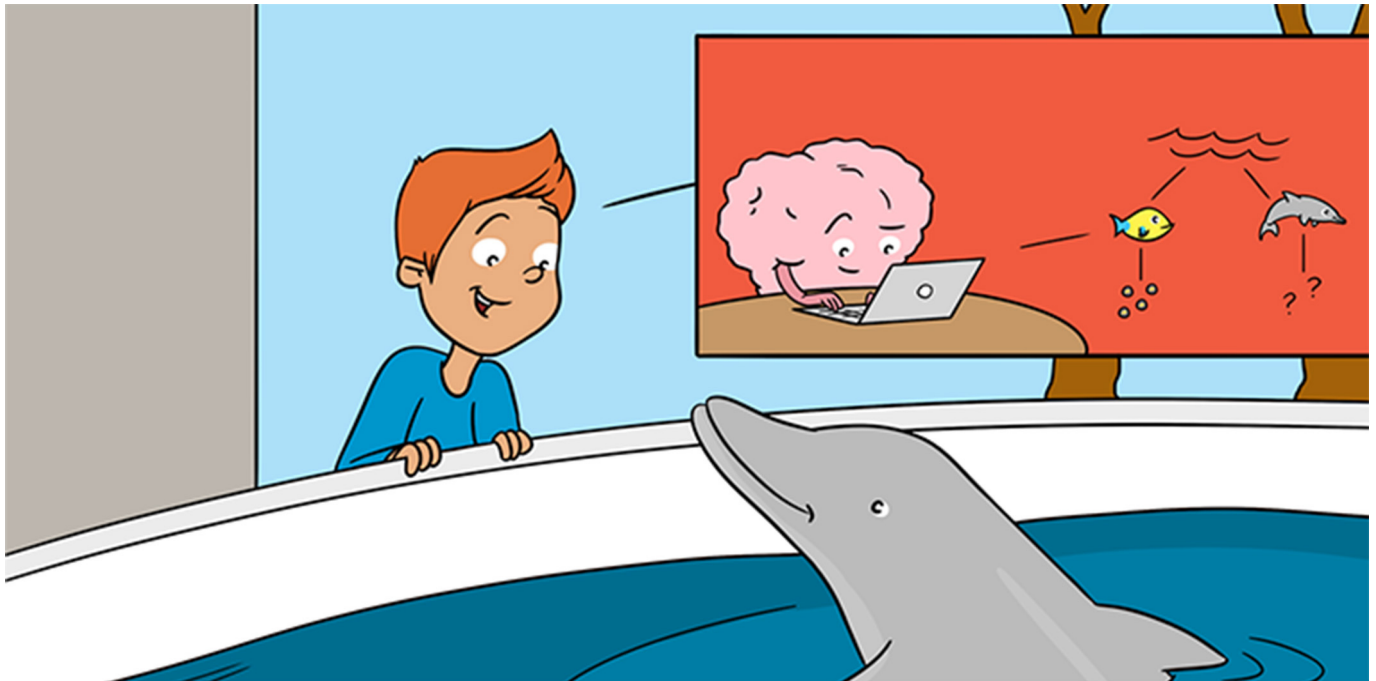
**CHRISTIAN K. TAMNES**

Christian is een psycholoog en een cognitief neurowetenschapper op het gebied van ontwikkeling. Hij bestudeert hoe de hersenen zich ontwikkelen tijdens de kindertijd en adolescentie. Hij is ook geïnteresseerd in hoe de ontwikkeling van de hersenen ons maakt tot wie we zijn. In zijn onderzoek probeert hij erachter te komen of de vorm en functie van het zich ontwikkelende brein ons iets kan vertellen over waarom sommige mensen erg extravert of slim zijn, of waarom sommige mensen geestelijk ziek worden. In zijn vrije tijd hangt hij graag rond met zijn twee kinderen. *c.k.tamnes@psykologi.uio.no

Dutch version provided by

Nederlandse versie verzorgd door





GEBRUIK JE HERINNERINGEN OM BETER TE LEREN

Marlieke van Kesteren* en Martijn Meeter

Onderwijsneurowetenschap, Vrije Universiteit Amsterdam, Amsterdam, Nederland

JONGE REVIEWERS:



DR. H.
BAVINCK
SCHOOL
LEEFTIJD: 8-12



ELIZA
LEEFTIJD: 10



MALLET'S
BAY
SCHOOL
LEEFTIJD: 9-10

Onthouden is een heel belangrijke hersenfunctie. Bedenk je maar eens wat er zou gebeuren als je je niks zou kunnen herinneren. Je zou de dingen die je op school geleerd hebt niet meer kunnen terughalen. Je zou niet eens weten dat je naar school moet, of waar je school is! Of je iets goed onthoudt is afhankelijk van verschillende dingen die in je brein gebeuren tijdens en na het leren. Veel mensen denken dat ons geheugen vergeleken kan worden met een kast, waar je iets instopt om het later weer op dezelfde manier eruit te halen. Maar dit is niet echt hoe het werkt, je geheugen werkt meer zoals nieuws websites op internet die steeds van inhoud veranderen afhankelijk van wat er in de wereld gebeurt. Daarnaast heeft een goede website ook links naar andere websites waar je belangrijke informatie op kan zoeken. Zo is het ook in je hoofd: om goed te kunnen leren moet je verbindingen leggen tussen nieuwe informatie en de voorkennis die al aanwezig is in je brein. Hier vertellen we je hoe je links naar je voorkennis kan gebruiken om nieuwe dingen te leren.

VOORKENNIS HELPT MET LEREN

Neem een momentje om te bedenken hoeveel je eigenlijk al weet. Denk aan grote gebeurtenissen, de mensen die je kent, de boeken die je hebt gelezen, spelletjes die je hebt gespeeld, dingen die je op school hebt geleerd et cetera... Dat is een hoop he? Het is heel nuttig om al deze kennis in je brein te hebben. Het je helpt om de wereld om je heen te begrijpen, maar ook omdat voorkennis het leren van nieuwe informatie makkelijker maakt, want je kunt de nieuwe informatie verbinden met wat je al weet. Bijvoorbeeld, als je al iets over het brein weet omdat je Frontiers Young Minds artikelen hebt gelezen over neurowetenschap, dan zal het waarschijnlijk makkelijker voor je zijn om te onthouden wat we je gaan vertellen. De kennis over neurowetenschap in je brein maakt het waarschijnlijker dat nieuwe herinneringen blijven “plakken”. We noemen zulke kennis ook wel een **schema** [1].

SCHEMA

Voorkennis in je hersenen.

HIPPOCAMPUS

Een hersengebied dat je helpt herinneren door verschillende delen van een herinnering aan elkaar te koppelen.

MEDIAAL PREFRONTALE CORTEX

Een hersengebied dat je helpt door nieuwe herinneringen aan het kennis schema te koppelen.

HOE HET WERKT IN JE BREIN

In ons brein zijn er verschillende gebieden die je helpen om herinneringen op te slaan. Het belangrijkste gebied is de **hippocampus** (wat zeepaardje betekent, omdat het op een zeepaardje lijkt). Zonder je hippocampus kan je geen nieuwe informatie leren [2]. Wetenschappers denken dat de hippocampus verschillende delen van een herinnering met elkaar verbindt. Bijvoorbeeld, als je hebt geleerd dat vissen eitjes leggen, dan maakt de hippocampus een verbinding tussen “vis” en “eitjes” (zie **Figuur 1**). Dit betekent dat de herinnering zelf niet in de hippocampus zit, maar zonder de hulp van de hippocampus kun je de verschillende delen niet met elkaar verbinden. Dit gebeurt als je iets vergeet: de verschillende delen van de herinnering zijn er nog wel, maar ze kunnen niet meer gecombineerd worden.

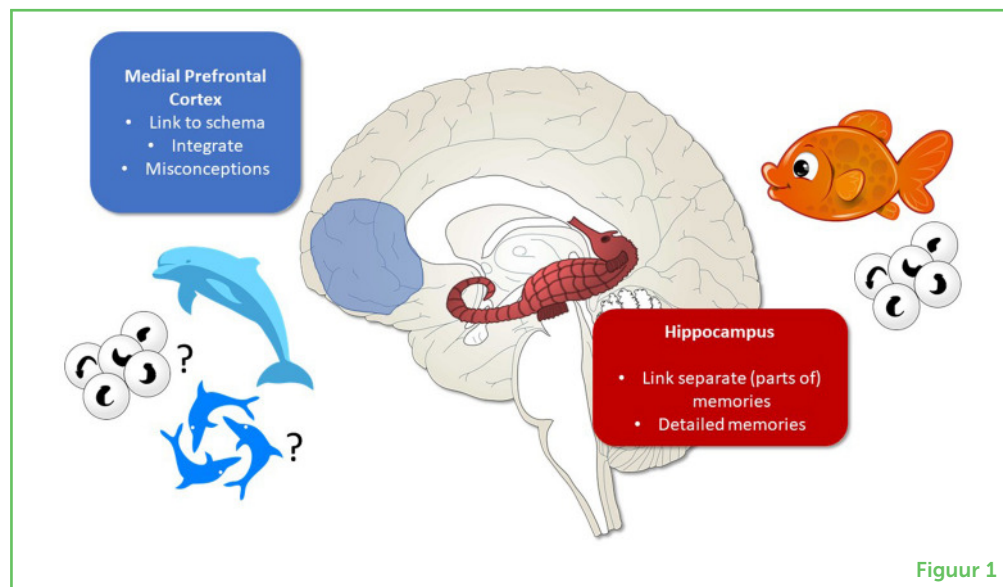
Een ander hersengebied, de **mediaal prefrontale cortex**, kan je ook helpen om informatie te onthouden, maar wetenschappers denken dat dit gebied anders leert dan de hippocampus [3]. Gebaseerd op je schemakennis zoekt het uit waar de informatie het beste geplaatst kan worden en verbindt het dan met deze kennis. Dit betekent dat als je een nieuwe vissoort leert, zoals een goudvis, je mediaal prefrontale cortex dat direct zal verbinden aan “eitjes leggen” omdat je dat eerder opgeslagen hebt. Dit proces heet integratie, wat betekend samenvoegen to een geheel. Het integratie proces helpt je om verbindingen tussen nieuwe en oude kennis *af te leiden* (Vissen leggen eitjes. Een goudvis is een vis. Dus leggen goudvissen ook eitjes) [4]. Dit is een nieuw feitje dat je mediaal prefrontale cortex je heeft helpen ontdekken. Het is erg nuttig om dit integratie proces te gebruiken als je nieuwe informatie leert.

Figuur 1

Dit is een plaatje van het midden van je brein. Je kan hier de hippocampus (in rood) en de mediaal prefrontale cortex (in blauw) zien. De hippocampus verbindt aparte delen van herinneringen met elkaar, zodat deze herinneringen gedetailleerd en levendig blijven. Zoals bijvoorbeeld je herinnering aan het leren dat vissen eitjes leggen. De mediaal prefrontale cortex kan je ook helpen om informatie te onthouden, maar we denken dat dit gebeurt door integratie met bestaande schemakennis, zodat de herinnering minder gedetailleerd en meer algemeen wordt. Dit proces kan ook leiden tot misconcepties zoals wanneer je afleidt dat een dolfijn, omdat het op een vis lijkt, ook eitjes legt terwijl het eigenlijk baby's in de buik draagt. Aangepast van https://commons.wikimedia.org/wiki/File:Frog_spawn-Rana-temporaria-11d.svg and <http://www.clker.com/clipart-brain-3.html>.

LOCI METHODE

Een geheugentechniek waarbij je dingen die je wilt herinneren linkt aan een bekende plaats.



SCHEMA'S OP SCHOOL

Vooral op school kan het heel handig zijn om actief je schemakennis te gebruiken als je nieuwe dingen leert [5]. Je kan dit op verschillende manieren doen. Voordat je met een les begint kan je terugdenken aan wat je eerder hebt geleerd over een bepaald onderwerp (dus bijvoorbeeld dat vissen eieren leggen). Of je kan, terwijl je aan het leren bent, steeds even pauzeren en nadenken over wat je geleerd hebt en hoe het relateert aan wat je al weet. Dit helpt je mediaal prefrontale cortex om informatie te integreren en het beter te onthouden voor toetsen. Daarnaast kan deze integratie je helpen om betere en sterkere schema's te bouwen, zodat je in de toekomst nieuwe informatie nog beter kan onthouden.

Soms kunnen we ook geheugenstuentjes gebruiken om nieuwe kennis aan ons schema te koppelen. Als je bijvoorbeeld een lijst met woorden leert, dan kan je deze woorden relateren aan plekken in je kamer of een andere vertrouwde omgeving. Dit heet de **loci methode** (*loci* betekent "plaatsen" in het Latijn [6]). Deze techniek wordt door veel mensen gebruikt om willekeurige informatie te onthouden die moeilijk aan schema kennis te linken is, zoals bijvoorbeeld een boodschappenlijst. Terwijl je naar de boodschappenlijst kijkt kan je je voorstellen dat elk product ergens in je woonkamer ligt (dus bijvoorbeeld een bak ijs op de bank). Als je dan in de supermarkt bent hoeft je alleen maar aan je bank te denken om te herinneren wat je wilde kopen. Met wat training kan je deze techniek heel goed gebruiken!

PAS OP

Jammer genoeg werkt dit niet altijd. Teveel op je schemakennis leunen kan ook tot incorrecte herinneringen leiden. Denk bijvoorbeeld het

MISCONCEPTIE

Een verkeerde herinnering.

“vissen leggen eieren” voorbeeld van eerder. Wat gebeurt er dan als je over dolfijnen leert? Dolfijnen lijken op vissen en je weet al veel over vissen, dus je zou kunnen afleiden dat dolfijnen ook eieren leggen. Dit is alleen niet waar. Dolfijnen zijn zoogdieren, dus zwangere dolfijnen dragen hun baby's in hun buik, net als mensen. We noemen dit soort valse herinneringen **misconcepties**. Deze misconcepties kunnen ontstaan wanneer jouw schemakennis (in dit geval hoe vissen baby's krijgen) heel sterk is. Dit maakt het heel moeilijk om iets te onthouden als je iets leert dat niet past in je schemakennis (dus dat dolfijnen geen eieren leggen). In dit geval zou je mediaal prefrontale cortex de dolfijn niet met je “visschema” moeten integreren, maar je hippocampus moet een aparte herinnering maken. Hoe doe je dit?

TIPS

Hieronder geven we je een paar tips en trucs die helpen om je schemakennis te gebruiken als je nieuwe dingen op school leert. Deze tips kunnen je ook helpen om misconcepties te vermijden of om deze kwijt te raken:

1. **Reactiveer:** Als je nieuwe informatie leert, activeer dan gerelateerde schemakennis. Doe je ogen dicht en neem een momentje om te herinneren wat je eerder over dit onderwerp hebt geleerd en hoe dit past met de nieuwe informatie die je nu wilt leren.
2. **Wijd uit:** Probeer om nieuwe informatie aan verschillende soorten schemakennis te verbinden. Hoe meer verbindingen je maakt, hoe beter je de nieuwe informatie kan integreren en onthouden. Sterke en gedetailleerde combinaties kunnen ook de vorming van misconcepties voorkomen.
3. **Neem de tijd, herhaal en wissel af:** De beste manier om schema's te maken en uit te breiden is door steeds kleine stukjes informatie te leren en te herhalen over tijd: uren, dagen, zelfs weken. Het afwisselen van verschillende onderwerpen, zodat je niet steeds hetzelfde leert, helpt je ook om beter te herinneren.
4. **Herinner en stel vragen:** Nadat je iets geleerd hebt heeft het zin om je boek of computer weg te leggen en probeer dan om te herinneren wat je net hebt geleerd. Je kunt ook vragen stellen over wat je hebt geleerd. Dit helpt je om informatie te integreren en je kunt deze vragen later gebruiken om jezelf en je klasgenoten te overhoren. Let op dat je, om misconcepties te voorkomen, altijd achteraf checkt of je herinnering correct was!
5. **Leg uit aan anderen:** Een hele goede manier om je schema's te organiseren is door het uit te leggen aan je klasgenoten. Doe dit om de beurt: lees iets, probeer het aan je schemakennis te linken, laat het

bezinken en probeer het dan aan iemand anders uit te leggen. Of aan de hele klas. Ook hierbij is het belangrijk om altijd achteraf te checken of je fouten hebt gemaakt en om dingen die je niet goed begrijpt verder te bespreken.

6. **Slaap:** Misschien een beetje een ander soort tip omdat dit niet op school gebeurt, maar slaap helpt je om sterke schema's te bouwen en om minder belangrijke informatie te vergeten. Denk daar maar eens aan als je ouders je vertellen dat het tijd is om naar bed te gaan!

7. **Let op misconcepties:** Let extra op als informatie anders is dan je schemakennis of als je merkt dat je een misconceptie hebt gemaakt. Probeer dan om een nieuwe, heel levendige herinnering te maken met je hippocampus. Voor het dolfijn voorbeeld, denk bijvoorbeeld aan een grappige dolfijn met een hele dikke buik die uit het water springt en veel geluid maakt. Stel je voor hoe nat je zou worden en hoe je de neus zou aaien en een vis zou voeren. Hoe meer details en zintuigen je gebruikt voor deze herinnering, hoe beter!

GENIET ERVAN!

Probeer deze tips te gebruiken als je nieuwe dingen leert, op school of thuis, en je zal merken dat je meer gaat onthouden. We hopen dat dit artikel je zal helpen om leren leuker te maken!

DANKWOORD

We willen iedereen bedanken die meegewerkt heeft met de vertaling van de artikelen in deze Collectie om ze toegankelijker te maken voor kinderen buiten Engelstalige landen, en voor de Jacobs Foundation voor het verstrekken van de benodigde fondsen voor het vertalen van de artikelen. Voor dit artikel willen wij in het bijzonder MK bedanken voor de Nederlandse vertaling. Het project is gefinancierd door de Horizon 2020 onderzoeks and innovatie programma van de Europese Unie in het kader van de Marie Skłodowska-Curie overeenkomst Nr. 704506.

REFERENTIES

1. Bartlett, F. C. 1932. *Remembering: A Study in Experimental and Social Psychology*. Cambridge: University Press.
2. Squire, L. R. 1992. Memory and the hippocampus: a synthesis from findings with rats, monkeys, and humans. *Psychol. Rev.* 99:195–231.
3. van Kesteren, M. T. R., Ruiter, D. J., Fernandez, G., and Henson, R. N. 2012. How schema and novelty augment memory formation. *Trends Neurosci.* 35:211–9. doi: 10.1016/j.tins.2012.02.001

4. Schlichting, M. L., and Preston, A. R. 2015. Memory integration: neural mechanisms and implications for behavior. *Curr. Opin. Behav. Sci.* 1:1–8. doi: 10.1016/j.cobeha.2014.07.005
5. van Kesteren, M. T. R., Krabbendam, L., and Meeter, M. 2018. Integrating educational knowledge: reactivation of prior knowledge during educational learning enhances memory integration. *NPJ Sci. Learn.* 3:11. doi: 10.1038/s41539-018-0027-8
6. Available online at: https://en.wikipedia.org/wiki/Method_of_loci (accessed on 8 February 2020).

GEREDIGEERD DOOR: Nienke Van Atteveldt

WETENSCHAPPELIJKE MENTORS: Gabriëlle Edgerton en Marina Shpaner

CITATIE: van Kesteren M en Meeter M (2023) Gebruik je herinneringen om beter te leren. *Front. Young Minds*. doi: 10.3389/frym.2020.00047-nl

VERTALING EN BEWERKING VAN: van Kesteren M and Meeter M (2020) How to Use Your Memories to Help Yourself Learn New Things. *Front. Young Minds* 8:47. doi: 10.3389/frym.2020.00047

BELANGENVERSTRENGELING: De auteurs verklaren dat het onderzoek is uitgevoerd zonder enige commerciële of financiële relaties die zouden kunnen worden opgevat als potentiële belangenverstrengeling.

AUTEURSRECHTEN © 2020 © 2023 van Kesteren en Meeter. Dit is een open-access artikel verspreid onder de voorwaarden van de **Creative Commons Attribution (CC BY)**. Gebruik, verspreiding of reproductie in andere fora is toegestaan, mits de oorspronkelijke auteur(s) en de auteursrechthebbende(n) worden gecrediteerd en de oorspronkelijke publicatie in dit wetenschappelijk tijdschrift wordt geciteerd, in overeenstemming met de gangbare wetenschappelijke beoefening. Geen enkel gebruik, distributie of reproductie is toegestaan dat niet voldoet aan deze voorwaarden.

JONGE REVIEWERS

DR. H. BAVINCK SCHOOL, LEEFTIJD: 8–12

Wij zijn de Spectrumklassen 5–6 en 7–8 van de Bavinck school in Haarlem, Nederland. Dit is een groep van 40 kinderen (19 in groep 5–6 en 21 in groep 7–8) die graag wat meer willen leren dan het reguliere schoolprogramma. Ze hadden veel plezier in het nakijken voor FYM, namen de artikelen met veel focus en enthousiasme door, en maakten een kritische evaluatie. Ze vonden het erg leuk om bij te dragen aan de wetenschap en mee te helpen!



**ELIZA, LEEFTIJD: 10**

Hoi! Mijn naam is Eliza. Ik hou van lezen en muffins bakken. Ik heb twee honden, Arnie en Benji. Ik hou er ook van om wiskunde te leren met mijn vader. Mijn moeder heeft een doctoraat in de neurowetenschappen, wat ik heel interessant vind.

**MALLETS BAY SCHOOL, LEEFTIJD: 9–10**

Deze vierdeklassers houden van de buitenlucht in hun prachtige staat, waar de winters lang zijn, de zomers kort, en het modderseizoen altijd om de hoek staat. Ze spelen ook graag American football, hotwheels, fortnite en hockey.

AUTEURS**MARLIEKE VAN KESTEREN**

Marlieke van Kesteren is een postdoctoraal onderzoekster aan de Vrije Universiteit Amsterdam voor educatieve neurowetenschappen. Ze onderzoekt hoe we het best onze voorkennis gebruiken om nieuwe informatie te leren. Hiervoor gebruikt ze een MRI Scanner waar studenten in gaan terwijl deze nieuwe dingen leren. Ze vindt het enorm leuk om haar waarnemingen uit te leggen aan kinderen op school en ze vond het geweldig om die ook via Frontier for Young Minds te delen.

*marlieke.van.kesteren@vu.nl

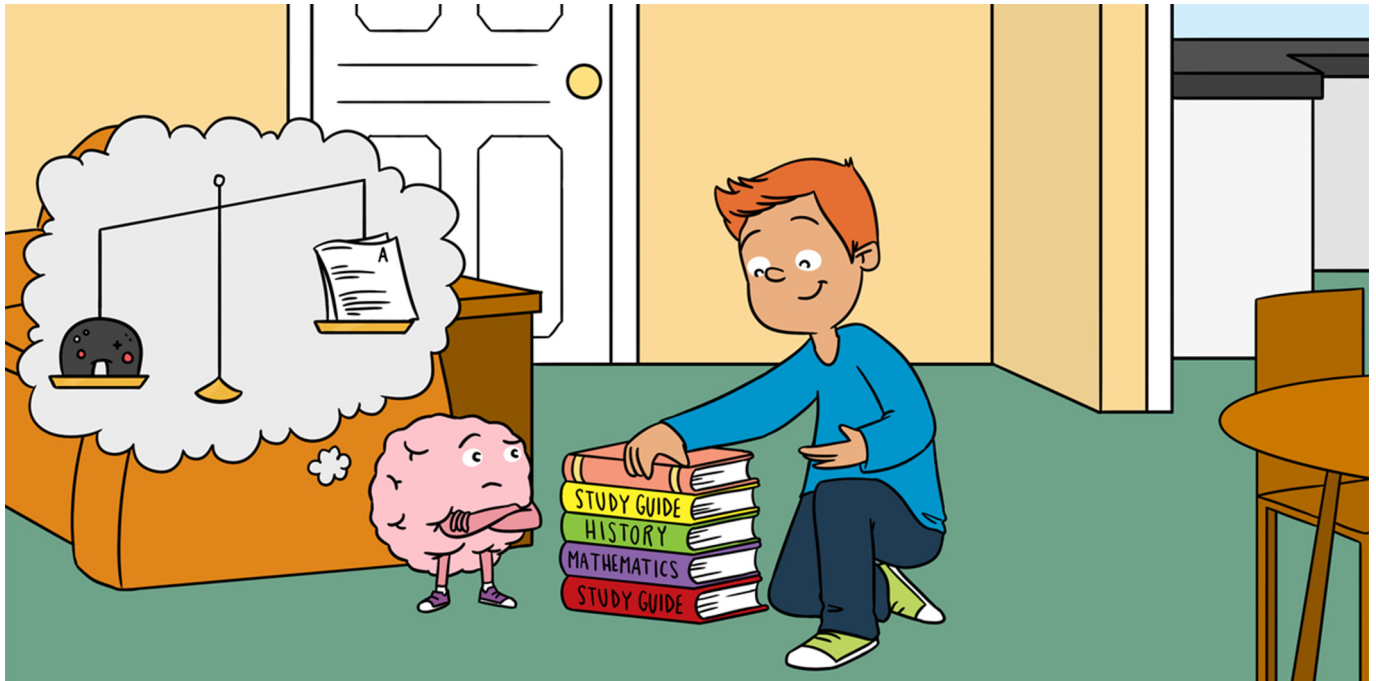
**MARTIJN MEETER**

Martijn Meeter is een hoogleraar onderwijswetenschappen, de wetenschap van hoe onderwijs werkt. Zijn lab is bij de Vrije Universiteit Amsterdam, Nederland (www.vu.nl). Hij bestudeert leren en onderwijs aan de hand van verschillende technieken, en heeft verschillende computermodellen van de hersenen gebouwd; programma's die de werking van onze hersenen simuleren op een computer. Hij is daarnaast ook directeur van een leerarenopleiding.

Dutch version provided by

Nederlandse versie verzorgd door





JE BEST DOEN OF NIET JE BEST DOEN? HOE JE BREIN BEPAALT!

Anne-Wil Kramer^{1*}, Hilde M. Huizenga^{1,2,3}, Lydia Krabbendam⁴ en Anna C. K. Van Duijvenvoorde^{5,6}

¹Afdeling Ontwikkelingspsychologie, Universiteit van Amsterdam, Amsterdam, Nederland

²Amsterdam Brain and Cognition Center, Amsterdam, Nederland

³Reserach Priority Area Yield, Amsterdam, Nederland

⁴Afdeling Klinische Ontwikkelingspsychologie, Vrije Universiteit, Amsterdam, Nederland

⁵Afdeling Ontwikkelings- en Onderwijspsychologie, Universiteit Leiden, Leiden, Nederland

⁶Leiden Institute for Brain and Cognition, Universiteit Leiden, Leiden, Nederland

JONGE REVIEWERS:



SEAWELL
ELEMENTARY

LEEFTIJD: 10

Alles wat je doet vereist inspanning. Zo kosten dingen als lopen of fietsen *fysieke* inspanning doordat je je armen en benen beweegt en kracht uitoefent. Een andere vorm van inspanning is *cognitieve* inspanning. Cognitieve inspanning heeft te maken met nadenken en het gebruiken van je hersenen. Denk bijvoorbeeld aan het oplossen van een Rubik's kubus. Zou jij je hiervoor willen inspannen? Het oplossen van de Rubik's kubus vind je misschien belangrijker dan de cognitieve inspanning die het kost. Maar je kunt ook beslissen dat het vinden van de oplossing niet de moeite waard is. Waarom en wanneer zou jij je brein willen inspannen? In dit artikel leggen we uit wat er allemaal in je hersenen gebeurt bij het beslissen hoeveel inspanning je ergens voor gaat leveren.

COGNITIEVE INSPANNING

Het denkwerk dat je doet om een moeilijke taak te doen.

INLEIDING

Op school zeggen docenten soms dat je een toets misschien wél had gehaald als je wat meer moeite had gedaan. Of dat je met wat meer moeite een hoger cijfer had kunnen halen. Hoewel je misschien het gevoel hebt dat meer inspanning kan leiden tot betere resultaten, is het niet altijd duidelijk wat die inspanning precies is.

Inspannende acties kunnen worden gezien als het tegenovergestelde van automatische acties [1]. Je hoeft bijvoorbeeld niets te doen om kleuren te zien: het is een automatisch proces. Daarentegen gaat het bij andere acties om niet-automatische processen en daar is inspanning voor nodig. Inspannende acties zijn overal aanwezig. Denk bijvoorbeeld aan de moeite die het kost om naar school te lopen of te fietsen. Dit vereist fysieke inspanning, zoals beweging en kracht. Aan de andere kant zijn er zaken die **cognitieve inspanning** vereisen. Cognitieve inspanning is de denk-inspanning die je levert om een moeilijke taak af te maken. Zo lever je bijvoorbeeld cognitieve inspanning tijdens het leren voor een toets, het oplossen van een ingewikkelde puzzel of het oplossen van een raadsel.

Veel mensen zeggen dat je inspannen voor iets waar je pas later plezier van hebt, op het moment zelf niet leuk voelt [2]. Bijvoorbeeld, leren voor een toets is uiteindelijk goed voor je (je gaat over naar de volgende klas), maar op het moment heb je er misschien niet zo'n zin in. Waarom zou cognitieve inspanning onaangenaam aanvoelen? En misschien nog wel interessanter, waarom voelt het soms wel plezierig aan? In dit artikel leggen we uit waarom en wanneer je beslist om cognitieve inspanning te leveren, en wat er in je hersenen gebeurt als je deze beslissing neemt.

KOSTEN EN BATEN

Stel je voor dat je morgen een toets hebt waar je voor moet leren. Hoeveel moeite ga je daar in steken? Oftewel, hoe erg wil je je cognitief inspannen? Onderzoekers hebben ontdekt dat jouw gedrag kan worden voorspeld door het berekenen van de kosten en de baten van het leren voor deze toets [1]. Wat zouden deze kosten en baten kunnen zijn?

Om het simpel te houden, zou je kunnen zeggen dat een voordeel (= een van je baten) van leren is dat je een goed cijfer kunt halen. Het behalen van een goed cijfer is beter voor je eindrapport of je kunt het leuk vinden om goede cijfers te halen. Een nadeel (= een van je kosten) is de hoeveelheid cognitieve inspanning die je moet leveren. Om een goed cijfer te halen, zul je soms harder moeten leren en nadenken.

Onderzoekers denken dat je een afweging van dit soort mogelijke kosten en baten maakt. Is de moeite die het jou kost om te leren

EFFORT DISCOUNTEN

Het idee dat iets zijn waarde verliest als er meer inspanning nodig is om het te verkrijgen.

Figuur 1

De blauwe lijn geeft de waarde van een goed cijfer weer als functie van hoe hard je er voor moet leren. Het is dus de som van de baten minus de kosten. Zoals je kunt zien, zal de waarde van een goed cijfer (hoe belangrijk jij het halen van een goed cijfer vindt) afnemen als je meer cognitieve inspanning moet leveren (harder leren). Dit is wat wetenschappers **effort-discounting** noemen: je vindt iets minder leuk vanwege de moeite die het kost. De blauwe lijn wordt daarom een **effort-discounting curve** genoemd.

FMRI

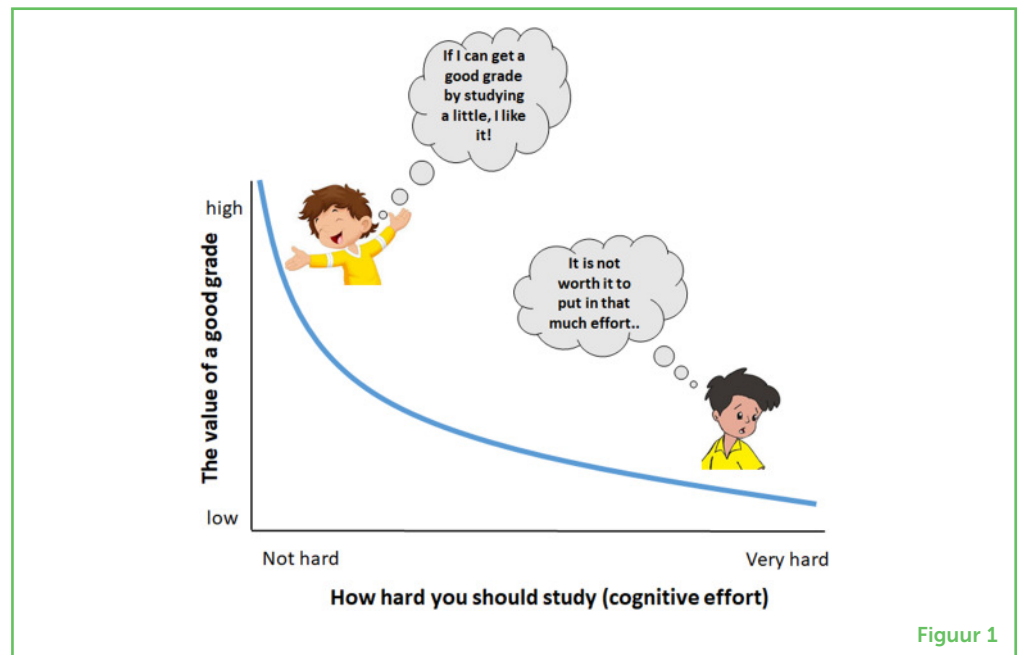
Functionele "magnetic resonance imaging" (beeldvorming). Een hersenbeeldvormingstechniek die wordt gebruikt om te kunnen zien welke hersengebieden op een bepaald moment actief zijn.

VENTRALE STRIATUM

Een hersengebied dat betrokken is bij het signaleren van de voordelen (baten) van het leveren van cognitieve inspanning.

de beloning (een goed cijfer) waard? Je zou dit kunnen zien als een wiskundige vergelijking: als je de kosten aftrekt van de baten krijg je een bepaalde waarde. Hoe groter die waarde voor jou is, hoe meer cognitieve moeite jij ergens in wilt stoppen.

In **Figuur 1** kun je zien dat wanneer je *heel* hard moet leren voor een goed cijfer, de waarde van het krijgen van een goed cijfer afneemt. Je moet dan zo hard je best doen, dat het voor jou niet meer de moeite waard is. Dat betekent dat cognitieve inspanning de waarde van een goed cijfer vermindert. Dit is wat wetenschappers "**effort-discounting**" noemen.



Figuur 1

MAAR... WAT GEBEURT ER IN DE HERSENEN ALS JE BESLUIT OM COGNITIEVE INSPANNING TE LEVEREN?

Om te meten wat er in je hersenen gebeurt als je besluit om je cognitief in te spannen, kunnen onderzoekers een techniek gebruiken die **functionele "magnetic resonance imaging"** (fMRI) wordt genoemd (voor een uitleg van fMRI, zie **Box 1**). Met fMRI kunnen we erachter komen welke hersengebieden actief zijn op het moment dat je bijvoorbeeld een keuze maakt, of je inspannt. Uit fMRI-studies hebben we geleerd dat onze hersenen voortdurend inschattingen maken. De hele tijd zijn jouw hersenen bezig om te bepalen of iets de moeite waard is door de baten tegen de kosten af te wegen. Een specifiek hersengebied dat belangrijk is voor het signaleren van baten wordt het **ventrale striatum** genoemd. Dit gebied ligt diep in de hersenen en is betrokken bij het signaleren van allerlei verschillende beloningen [4], zoals geld, lekker eten, of het krijgen van een goed cijfer. Maar hoe zit het met de nadelen? Wetenschappers hebben ontdekt dat de

ANTERIORE CINGULATE CORTEX

Een hersengebied dat betrokken is bij het signaleren van de kosten van cognitieve inspanning.

VENTRALE MEDIALE PREFRONTALE CORTEX

Een hersengebied waar de kosten en baten tegen elkaar worden afgewogen.

Figuur 2

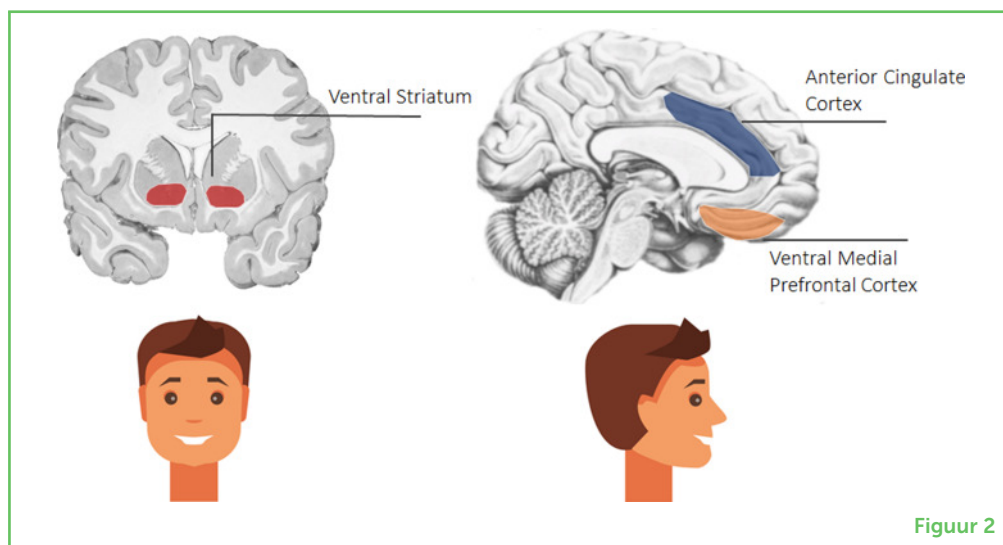
De hersenen van de voorkant (links) en van de zijkant (rechts) van je hoofd. Aan de linkerkant zie je het ventrale striatum ("batengebied"). Aan de rechterkant zie je de anterieure cingulate cortex ("kostengebied") en de ventrale mediale prefrontale cortex ("som van kosten en baten gebied").

kosten van cognitieve inspanning vooral worden gesignaleerd door een ander hersengebied, dat de **anteriore cingulate cortex** wordt genoemd [5].

Box 1 | Hoe meten neurowetenschappers hersenactiviteit?

Functionele "magnetic resonance imaging" (fMRI) is een hersenbeeldvormingstechniek die kan worden toegepast door iemand in een MRI scanner te leggen. Deze techniek wordt door wetenschappers gebruikt om plaatjes te maken van wat de hersenen in verschillende situaties doen. De hersenen bestaan uit ongeveer 100 miljard cellen, die we neuronen noemen. Deze neuronen communiceren met elkaar via chemische en elektrische signalen. Als neuronen meer signalen naar elkaar sturen, hebben ze meer zuurstof nodig. Deze zuurstof krijgen de neuronen via het bloed, en als het bloed meer zuurstof bevat, is het magnetischer. Met fMRI-technieken meten we dus hoeveel zuurstof verschillende hersengebieden gebruiken door het magnetische signaal te meten. Dit vertelt ons indirect hoe actief een bepaald hersengebied is. Voor meer informatie over hoe MRI-scanners werken, zie een ander Frontiers for Young Minds artikel [3].

Nadat je hersenen de kosten en baten hebben overwogen, zullen het ventrale striatum en de anterieure cingulate cortex samenwerken om informatie uit te wisselen. In ons voorbeeld wegen je hersenen dus de kosten (cognitieve inspanning) en baten (goed cijfer) van het leren voor je toets, en berekenen vervolgens hoeveel waarde jij hecht aan het verkrijgen van een goed cijfer. Onderzoekers denken dat deze uitwisseling van informatie plaatsvindt in een hersengebied aan de voorkant van je hersenen. De informatie van zowel het kostengebied als het batengebied reist naar de zogenaamde **ventrale mediale prefrontale cortex** (Figuur 2). Deze samenwerking tussen verschillende hersengebieden maakt dat je uiteindelijk besluit of je het de moeite waard vindt om te gaan leren.



Figuur 2

WANNEER WIL JE COGNITIEVE INSPANNING LEVEREN?

Nu we weten wat cognitieve inspanning is en wat er in de hersenen gebeurt bij het bepalen van de hoeveelheid cognitieve inspanning die nodig is, kunnen we terugkeren naar de vraag waarmee we begonnen zijn: wanneer wil je je cognitief inspannen?

Je realiseert je nu misschien dat de hersenen cognitieve inspanning zien als iets wat moeite kost en je niet zomaar altijd kunt en wilt leveren. Daarom voelt veel inspanning leveren niet altijd fijn. Je denkt misschien dat je hersenen je daarmee lui maken, maar dat is niet noodzakelijk het geval. Je hersenen proberen altijd de goede balans te vinden om te berekenen of iets het waard is om je voor in te spannen.

Hoe veel zin je hebt om cognitieve inspanning te leveren, is echter niet altijd hetzelfde. Je herkent misschien wel dat je soms zin hebt om ergens je best voor te doen, maar ook dat je soms even helemaal niet wilt nadenken. De bereidheid om cognitieve inspanning te leveren is dus niet altijd hetzelfde - het wisselt! Hoe hard jij cognitief je best wilt doen, kan afhangen van het tijdstip van de dag (ochtend of avond), hoe je je op dat moment voelt (moe of uitgerust), en hoeveel plezier je haalt uit de taak die cognitieve moeite kost [6].

TIPS OM MEER INSPANNING TE LEVEREN

Als jouw zin om cognitieve inspanning te leveren niet vaststaat, maar schommelt, dan is een belangrijke vraag: kun je jouw zin om te leren voor jouw toets van morgen vergroten? Nou, het antwoord is... ja! Op basis van de kennis die je nu hebt, kun je drie eenvoudige tips proberen.

De eerste tip is, verlaag alle andere kosten voor je brein [1]. Haal dus dingen weg die jou kunnen afleiden, zoals je telefoon, om jezelf te helpen focussen. Om te zien wat er zou kunnen gebeuren, kijk naar **Figuur 3**. Het weghalen van dingen die je afleiden, verlaagt de kosten van de cognitieve inspanning.

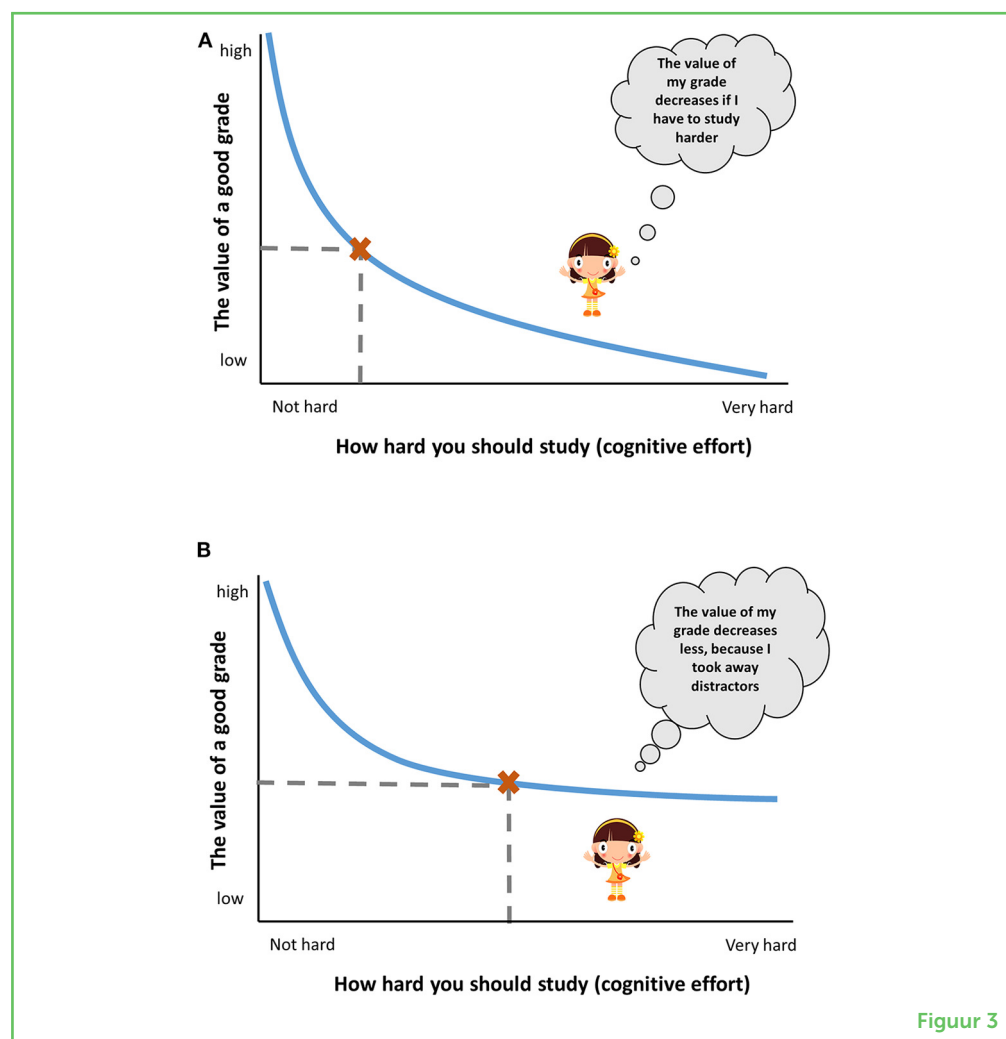
Ten tweede kun je proberen om de baten te verhogen. Je zou jezelf bijvoorbeeld kunnen belonen met iets lekkers na een uur hard leren. Of je kunt met jezelf afspreken dat als je een goed cijfer haalt, je iets leuks mag kopen.

Ten derde, probeer je plezier voor de inspannende taak zelf te vergroten. Als je bijvoorbeeld niet van wiskunde houdt, gebruik dan een (online) wiskundespel om het leuker te maken. Op deze manier zou je het leren van wiskunde zelfs leuk kunnen gaan vinden.

Met deze trucjes wordt leren voor je toets vast iets makkelijker. Veel succes!

Figuur 3

(A) Zo ziet een effort-discounting curve er meestal uit: de waarde van een goed cijfer neemt af met toenemende cognitieve inspanning. Het rode kruis in beide afbeeldingen geeft een punt aan waar de waarde van een goed cijfer gemiddeld is. De grijze stippellijn toont hoe hard je moet leren om tot dat gemiddelde cijfer te komen. (B) Als je afleiders weghaalt, zoals je telefoon of de tv, zorg je ervoor dat het leveren van meer inspanning nu minder snel de waarde van een goed cijfer vermindert. Dit zorgt ervoor dat je meer gaat studeren, omdat de cognitieve inspanning minder kostbaar voelt.



AUTEURSBIJDRAGE

A-WK en AVD schreven het manuscript samen. HH en LK zorgden voor kritische herzieningen.

FINANCIERING

Deze inspanning werd gefinancierd door de Startimpuls subsidie aan NeuroLabNL uit de Nederlandse Nationale Wetenschapsagenda, NWA, Nederland, 400.17.602.

DANKWOORD

We willen iedereen bedanken die meegewerkt heeft met de vertaling van de artikelen in deze Collectie om ze toegankelijker te maken voor kinderen buiten Engelstalige landen, en voor de Jacobs Foundation voor het verstrekken van de benodigde fondsen voor het vertalen van de artikelen. Voor dit artikel hebben de auteurs zelf ook een vertaling

in het Nederlands gemaakt. Dit werk werd ondersteund door de Startimpuls-subsidie aan NeuroLabNL van de Nederlandse Nationale Wetenschapsagenda (NWA).

REFERENTIES

1. Kurzban, R., Duckworth, A., Kable, J. W., and Myers, J. 2013. An opportunity cost model of subjective effort and task performance. *Behav. Brain Sci.* 36:661–726. doi: 10.1017/S0140525X12003196
2. Shenhav, A., Musslick, S., Lieder, F., Kool, W., Griffiths, T. L., Cohen, J. D., et al. 2017. Toward a rational and mechanistic account of mental effort. *Annu. Rev. Neurosci.* 40:99–124. doi: 10.1146/annurev-neuro-072116-031526
3. Parker, A. J. 2018. Fakes and forgeries in the brain scanner. *Front. Young Minds* 6:39. doi: 10.3389/frym.2018.00039
4. Sescousse, G., Caldú, X., Segura, B., and Dreher, J. C. 2013. Processing of primary and secondary rewards: a quantitative meta-analysis and review of human functional neuroimaging studies. *Neurosci. Biobehav. Rev.* 37:681–96. doi: 10.1016/j.neubiorev.2013.02.002
5. Westbrook, A., Lamichhane, B., and Braver, T. 2019. The subjective value of cognitive effort is encoded by a domain-general valuation network. *J. Neurosci.* 39:3934–47. doi: 10.1523/JNEUROSCI.3071-18.2019
6. Kool, W., and Botvinick, M. 2018. Mental labour. *Nat. Hum. Behav.* 2:899–908. doi: 10.1038/s41562-018-0401-9

GEREDIGEERD DOOR: Jessica Massonnie

WETENSCHAPPELIJKE MENTOR: Scott A. Huettel

CITATIE: Kramer A-W, Huizenga HM, Krabbendam L en Van Duijvenvoorde ACK (2023) Je best doen of niet je best doen? Hoe je brein bepaalt! *Front. Young Minds*. doi: 10.3389/frym.2020.00073-nl

VERTALING EN BEWERKING VAN: Kramer A-W, Huizenga HM, Krabbendam L and Van Duijvenvoorde ACK (2020) Is It Worth It? How Your Brain Decides to Make an Effort. *Front. Young Minds* 8:73. doi: 10.3389/frym.2020.00073

BELANGENVERSTRENGELING: De auteurs verklaren dat het onderzoek is uitgevoerd zonder enige commerciële of financiële relaties die zouden kunnen worden opgevat als potentiële belangenverstrengeling.

AUTEURSRECHTEN © 2020 © 2023 Kramer, Huizenga, Krabbendam en Van Duijvenvoorde. Dit is een open-access artikel verspreid onder de voorwaarden van de [Creative Commons Attribution \(CC BY\)](#). Gebruik, verspreiding of reproductie in andere fora is toegestaan, mits de oorspronkelijke auteur(s) en de auteursrechthebbende(n) worden gecrediteerd en de oorspronkelijke publicatie in dit wetenschappelijk tijdschrift wordt geciteerd, in overeenstemming met de gangbare wetenschappelijke beoefening. Geen enkel gebruik, distributie of reproductie is toegestaan dat niet voldoet aan deze voorwaarden.



JONGE REVIEWERS

SEAWELL ELEMENTARY, LEEFTIJD: 10

Onze geweldige klas in New York zit vol met sprankelende, lerende geesten. Wij helpen elkaar graag. We denken, lossen op en leren! We werken aan projecten die onze hersenen uitdagen, en soms wanneer we samenwerken kunnen de ideeën een rommeltje worden, maar het resultaat is altijd leuk. Een van onze manieren om geweldig te zijn? Omarm je innerlijke redacteur! We houden van lezen en peer-editing, en we waren heel enthousiast om de kans te krijgen om samen te werken met Frontiers for Young Minds!

AUTEURS

ANNE-WIL KRAMER

Ik ben promovendus aan de Universiteit van Amsterdam. Ik vul mijn tijd met een verscheidenheid aan inspanningen. Fysieke inspanning lever ik graag door te fietsen door Amsterdam en te zwemmen (maar niet in de kanalen!). Ik vind het ook leuk om cognitieve inspanning te leveren, bijvoorbeeld door spelletjes te spelen of na te denken over de manier waarop dingen werken. Soms kijk ik naar mijn kat en vraag me af waarom hij het prima vindt om de hele dag niks te doen! Maar eerlijk gezegd voel ik me ook wel eens zo, en dan vraag ik me ook af hoe dit allemaal werkt? Om te bestuderen wanneer mensen zich willen inspannen, doen we onderzoek waarbij we mensen laten beslissen hoeveel moeite ze willen doen voor verschillende dingen.

*a.kramer@uva.nl

HILDE M. HUIZENGA

Ik ben hoogleraar Ontwikkelingspsychologie aan de Universiteit van Amsterdam. Ik gebruik veel wiskunde om te bestuderen hoe kinderen groeien tot volwassenen en hoe volwassenen groeien tot oudere mensen. Soms denk ik hard na als ik achter mijn bureau sta, soms doe ik dat ook als ik ren, of met onze tienerdochters praat, of door Amsterdam fiets. Tijdens het fietsen bedacht ik de figuren voor dit artikel. Ik hoop dat je ze leuk vindt.

LYDIA KRABBENDAM

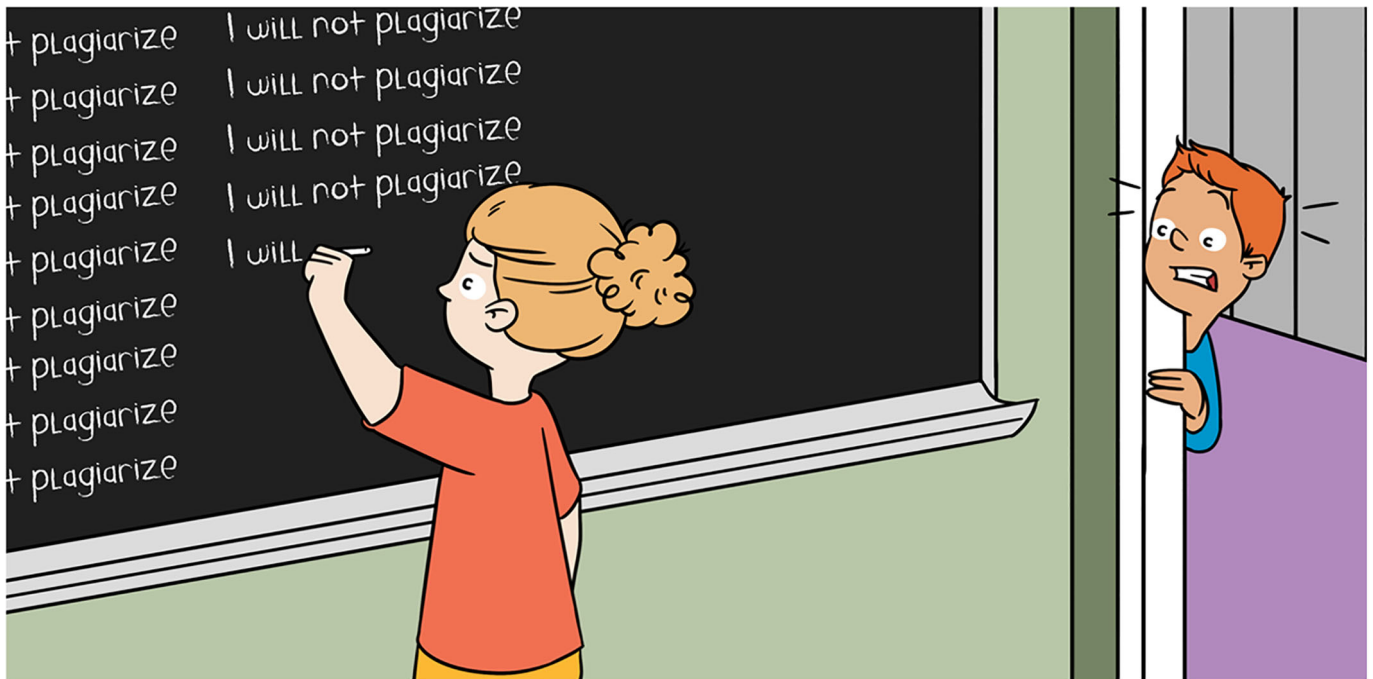
Ik ben hoogleraar Ontwikkelings-Neuropsychologie aan de Vrije Universiteit van Amsterdam. Ik weet alles over cognitieve inspanning in het onderwijs, want ik heb zelf drie schoolgaande kinderen! Ik onderzoek verder de sociale interacties in de klas en hoe dit zich verhoudt tot het samenspel tussen sociale interacties en hersen- en cognitieve ontwikkeling. Ik vind dit een interessant onderwerp, want als je samenwerkt of studeert met mensen die je leuk vindt, kan dit ook een veel leuker gevoel geven.

**ANNA C. K. VAN DUIJVENVOORDE**

Ik ben universitair hoofddocent Ontwikkelingspsychologie en hersenontwikkeling aan de Universiteit Leiden. Ik wil alles weten over motivatie, leren en hoe de hersenen werken. Is het niet interessant dat je motivatie verandert naarmate je ouder wordt? Heeft dat te maken met de ontwikkeling van je hersenen? Ik was niet altijd gemotiveerd op school, maar toen ik mijn eigen studie neuropsychologie mocht kiezen, vond ik het fascinerend. Hard werken was niet moeilijk meer! Met mijn werk hoop ik motiverende ervaringen op te bouwen en kinderen te helpen leren.

Dutch version provided by
Nederlandse versie verzorgd door





SOCIAAL LEREN EN HET BREIN: HOE LEREN WE VAN EN OVER ANDERE MENSEN?

Bianca Westhoff^{1,2*}, Iris J. Koele^{1,2} en Ilse H. van de Groep^{2,3,4}

¹Department of Developmental Psychology, Institute of Psychology, Leiden University, Leiden, Nederland

²Leiden Institute for Brain and Cognition, Leiden, Nederland

³Department of Child and Adolescent Psychiatry, Amsterdam University Medical Center, Amsterdam, Nederland

⁴Erasmus School of Social and Behavioural Sciences, Erasmus University Rotterdam, Rotterdam, Nederland

JONGE REVIEWERS:



ANISHA

LEEFTIJD: 13



ELI

LEEFTIJD: 13



HENRI

LEEFTIJD: 13



SARAH

LEEFTIJD: 14



SPANDANA

LEEFTIJD: 12

Als je denkt aan leren, dan denk je waarschijnlijk aan dingen die je leert op school. Maar heb je er ooit bij stilgestaan dat je ook heel vaak op een andere manier leert? Deze vorm van leren wordt ook wel *sociaal* leren genoemd, en heeft te maken met de mensen om je heen. Je leert namelijk van en over andere mensen door naar ze te kijken en door met ze om te gaan. Als je bijvoorbeeld iemand anders een fout ziet maken, zou je daarvan kunnen leren en niet diezelfde fout maken. Misschien weet je nog niet zoveel over sociaal leren, ook al doe je het zelf wel al vaak. Sociaal leren is belangrijk omdat het ons helpt om efficiënter te leren, en om te bepalen hoe we ons het beste kunnen gedragen. In dit artikel laten we je kennismaken met twee vormen van sociaal leren, en leggen we uit dat de hersenen hierbij een belangrijke rol spelen.

SOCIAAL LEREN

Het leren van nieuwe informatie in een sociale context, waarbij andere mensen de bron zijn van deze informatie. Voorbeelden zijn leren van en over andere mensen.

WAT IS SOCIAAL LEREN EN WAAROM IS HET BELANGRIJK?

Als je denkt aan het laatste dat je hebt geleerd, dan denk je waarschijnlijk aan iets wat je op school hebt geleerd. Bijvoorbeeld de Franse woordjes voor een toets die je binnenkort hebt. Het kan heel nuttig zijn om zulke dingen te leren: als je ooit naar Frankrijk op vakantie zou gaan, kun je daar bijvoorbeeld de weg kunnen vragen.

Het is duidelijk dat het verkrijgen van kennis (zoals de Franse woordenschat) heel belangrijk kan zijn. Maar behalve uit boeken kun je ook leren van en over de mensen om je heen. Dit wordt **sociaal leren** genoemd omdat bij dit soort leren mensen de bron van informatie zijn. Meestal ben je omringd door andere mensen, zoals je familie, leraren en vrienden. Daarom leer je waarschijnlijk elke dag van en over anderen, misschien zelfs zonder het te beseffen!

Omdat mensen zulke sociale wezens zijn, is sociaal leren een belangrijke vaardigheid. Zo is sociaal leren een heel efficiënte manier om dingen te leren. Je hoeft bijvoorbeeld niet alles zelf te ontdekken omdat je van de fouten en successen van anderen kunt leren. Daarnaast zorgt sociaal leren ervoor dat je anderen beter leert kennen en daardoor beter begrijpt hoe je je het beste kunt gedragen. Zulke vaardigheden zijn nodig om goede sociale banden met anderen op te bouwen, en dat is ook weer goed voor jouw welzijn.

In dit artikel leggen we twee vormen van sociaal leren uit: leren *van* andere mensen, en leren *over* andere mensen. Om te laten zien dat je deze vormen van sociaal leren vaak gebruikt, zullen we voorbeelden geven die je op school zou kunnen meemaken. Tenslotte zullen we uitleggen hoe sociaal leren in de hersenen werkt, omdat je hersenen een belangrijke rol spelen bij het leren.

HOE LEREN WE VAN ANDERE MENSEN?

Een belangrijke vorm van sociaal leren is het leren van anderen door naar ze te kijken. Het idee is dat de fouten en successen van andere mensen jou kunnen leren of je je hetzelfde wil gedragen of juist niet [1].

Stel je eens voor dat je een toets aan het maken bent op school, maar je weet *net* niet genoeg antwoorden om een voldoende te halen. Je vriendin zit naast je, en je ziet dat zij haar antwoorden al opgeschreven heeft. Je zou in de verleiding kunnen komen om even snel te kijken wat zij heeft opgeschreven... Maar dan, plotseling, wordt één van je klasgenoten door de meester betrapt op afkijken en krijgt hij straf! Waarschijnlijk ben je nu toch niet meer zo geneigd om af te kijken, omdat je ziet dat je betrapt kunt worden en dan straf krijgt. Met andere

woorden: je hebt van de fout van een ander geleerd dat het beter is om niet af te kijken bij een toets.

Als je leert van het kijken naar andere mensen, dan leer je over de keuzes die ze maken (zoals afkijken), en de uitkomsten van die keuzes (zoals straf). Als de uitkomsten positief zijn, dan is de kans groter dat je dezelfde keuze maakt. Maar als de uitkomsten negatief zijn, dan maak je waarschijnlijk een andere keuze.

Wetenschappers hebben ontdekt dat mensen erg goed zijn in leren wat de beste keuze is. Mensen leren zelfs nog beter als ze ook andere mensen kunnen zien die hetzelfde leren [1]. Als we naar de keuzes van andere mensen kijken, en of de uitkomsten goed of slecht zijn, dan hebben we extra informatie over wat de beste keuze zou kunnen zijn. We gebruiken die extra informatie om onze eigen keuzes te verbeteren. We profiteren dus van het leren van anderen, omdat het ons helpt om zelf betere keuzes te maken. Daardoor is het efficiënter om ook van de fouten en successen van anderen te leren dan om alles zelf uit te zoeken.

HOE LEREN WE OVER ANDERE MENSEN?

We hebben net uitgelegd dat mensen efficiënter leren door naar andere mensen te kijken. Een andere veelvoorkomende vorm van sociaal leren is het leren over andere mensen, door met hen om te gaan. Als je over anderen leert, dan leer je hoe ze zijn en hoe ze zich gedragen. Voor deze vorm van sociaal leren moet je letten op hun gedrag zodat je deze informatie kunt gebruiken voor je toekomstige beslissingen.

Stel je eens voor dat je een jongen uit je klas leuk vindt. Dat vertel je in vertrouwen aan één van je klasgenoten. Maar je klasgenoot blijkt onbetrouwbaar te zijn: je geheim gaat de hele klas rond en je bent erg van streek! In dit geval heb je misschien geleerd dat het beter is om deze klasgenoot je geheimen niet meer te vertellen.

Er zijn heel veel dingen die je over anderen kunt leren, en veel wetenschappers onderzoeken hoe we leren of iemand betrouwbaar is of niet. Leren wie je kunt vertrouwen is belangrijk, omdat het je helpt te beslissen of je kunt geloven wat iemand zegt.

Wetenschappers hebben ontdekt dat mensen tijdens hun tienerjaren steeds beter en sneller kunnen leren wie te vertrouwen is en wie niet [2]. Dus, tijdens onze ontwikkeling worden we beter in het leren over anderen. Dit type leren helpt ons te beslissen hoe we ons moeten gedragen rondom anderen, wat weer nodig is voor het opbouwen en onderhouden van goede relaties en verstandhoudingen.

PREDICTIE ERROR

De "verrassing" wanneer er een verschil is tussen wat je verwacht dat er gaat gebeuren en wat er daadwerkelijk gebeurt.

- ¹ Wil je meer weten over de berekeningen die je hersenen maken als je iets leert? Dat lees je in [3].

Figuur 1

Predictie errors zorgen dat je bijleert. Als er een verschil is tussen wat je verwacht dat er gaat gebeuren (verwacht resultaat), en wat echt gebeurt (echt resultaat), is er een predictie error. Deze predictie error wordt dan gebruikt om je kennis te updaten: je hebt dan iets nieuws geleerd.

VENTRAAL STRIATUM

Een hersengebied dat onder andere betrokken is bij (sociaal) leren, omdat het predictie errors berekent.

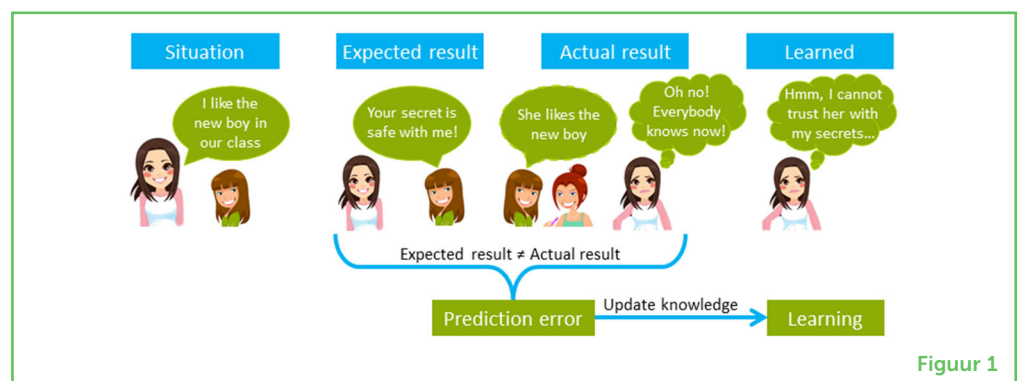
MEDIALE PREFRONTALE CORTEX (MPFC)

Een hersengebied dat onder andere betrokken is bij sociaal leren. Wanneer er een predictie error is, dan zal de mPFC je verkeerde verwachtingen in het brein updaten met de nieuwe informatie die je net geleerd hebt.

HOE WERKT SOCIAAL LEREN?

Nu je kennis hebt gemaakt met deze twee vormen van sociaal leren, zullen we uitleggen hoe sociaal leren werkt. Als je iets leert, dan ben je de dingen die je al weet aan het updaten met de nieuwe informatie. Je brein is bij dit updaten betrokken, en het werkt als een rekenmachine. Je brein is namelijk de hele tijd aan het uitrekenen wat het verschil is tussen wat je *verwacht* dat er gaat gebeuren, en wat er echt gebeurt. Als er iets onverwachts gebeurt, is er eigenlijk sprake van een verrassing. Deze verrassing wordt ook wel een **predictie error** genoemd. Dit heet zo omdat je een fout (error) maakte in wat je voorspeld (predictie) had. Je brein merkt deze predictie error op, en zorgt ervoor dat je ervan leert door wat je al wist te updaten met de nieuwe informatie.

In het geval van sociaal leren, denk dan nog eens aan het voorbeeld waarin je je geheim aan je klasgenoot vertelde. Je verwachtte dat ze het niet verder zou vertellen, maar dat deed ze toch. Wat er gebeurde was dus verrassend, omdat het anders was dan je verwachtte. Je brein merkt de predictie error op, en gebruikt deze nieuwe informatie om te updaten wat je over je klasgenoot weet (zie **Figuur 1**). Oftewel, je hebt geleerd over je klasgenoot, en zal niet snel meer je geheimen aan haar toevertrouwen.¹



Figuur 1

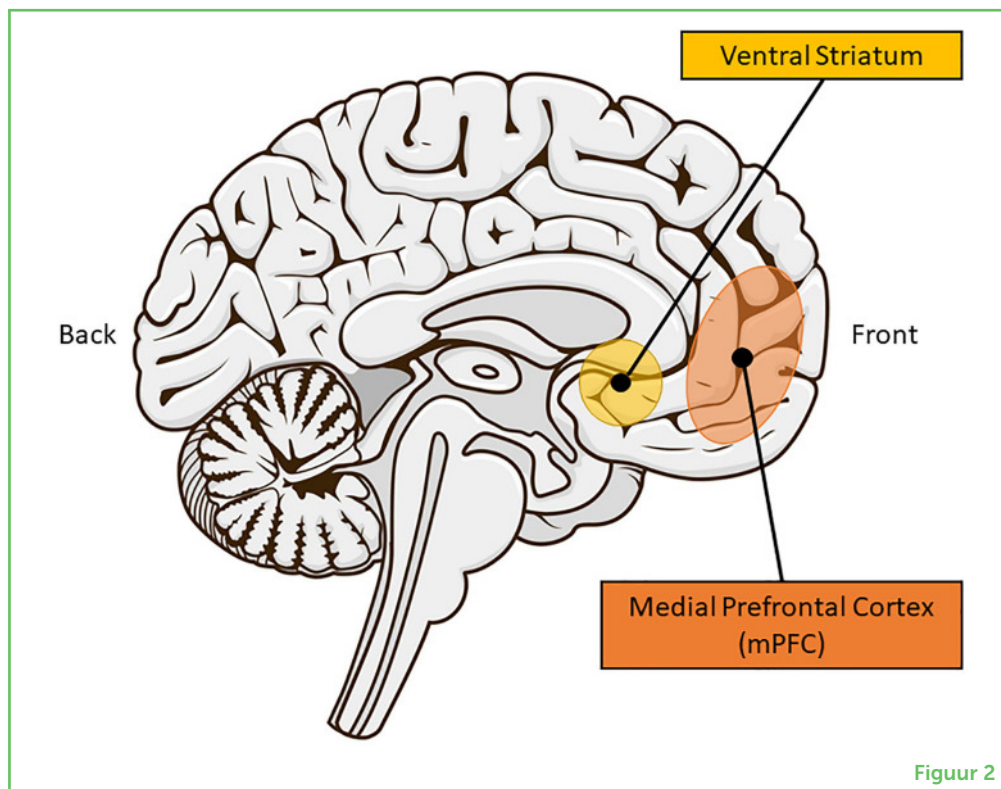
WELKE DELEN VAN HET BREIN ZIJN BETROKKEN?

Om alle berekeningen te maken die nodig zijn voor sociaal leren, gebruik je verschillende gebieden in je brein [4]. Wetenschappers hebben ontdekt dat in ieder geval twee hersengebieden belangrijk zijn voor sociaal leren: dit zijn het **ventraal striatum** en de **mediale prefrontale cortex (mPFC)** (zie **Figuur 2**). Dit hebben ze ontdekt door een MRI scanner te gebruiken om de hersenen van mensen te scannen. In **Box 1** kunt je meer lezen over hoe een MRI scanner werkt.

Het ventraal striatum is een gebied in het midden van het brein dat je gebruikt als je keuzes maakt, wanneer je iets leuk vindt, of als iets

Figuur 2

Hersengebieden betrokken bij sociaal leren. Het ventraal striatum (in het midden van het brein) berekent predictie errors, en deze nieuw geleerde verwachtingen worden geüpdatet in de mediale prefrontale cortex (mPFC; aan de voorkant van de hersenen). Deze twee hersengebieden zijn daarom belangrijk voor sociaal leren.



Figuur 2

Box 1 | Hersenonderzoek: hoe weten we wat er in het brein gebeurt?

Om te begrijpen hoe sociaal leren werkt, gebruiken veel onderzoekers een MRI (Magnetic Resonance Imaging) scanner (zie [Figuur 3](#)). Deze scanner is een grote magneet die door de schedel heen foto's kan maken van het brein. Wetenschappers kunnen een MRI scanner gebruiken om foto's te maken van iemands brein terwijl diegene een computerspel speelt. Bijvoorbeeld een spel waarin je moet leren van of over andere mensen. Op deze manier kunnen wetenschappers ontdekken welke hersengebieden je gebruikt tijdens sociaal leren. Om meer te leren over MRI scanners, hoe ze werken, en hoe ze worden gebruikt om het brein te onderzoeken, zie [\[5\]](#).

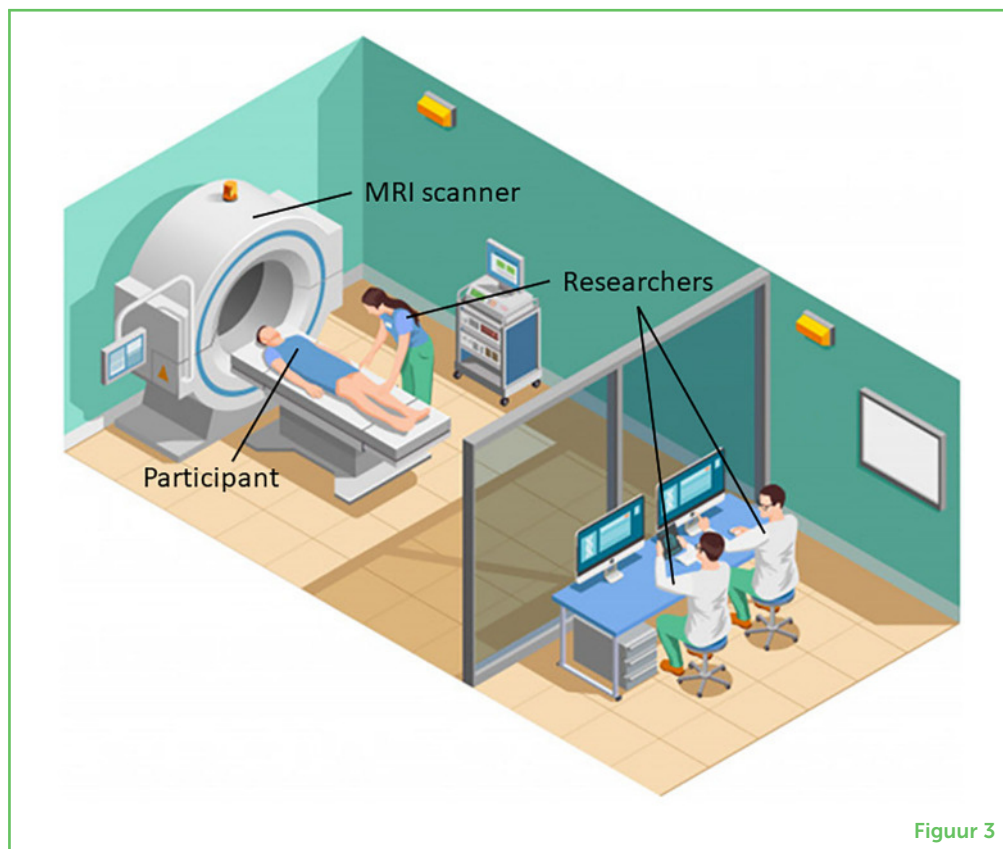
belonend is. Ook is het ventraal striatum belangrijk voor het berekenen van predictie errors [\[4\]](#). Het is daarom een belangrijk hersengebied voor gewoon leren en sociaal leren.

De mPFC is een gebied aan de voorkant van je brein (achter je voorhoofd). Het lijkt vooral belangrijk te zijn voor het nadenken over wat andere mensen denken, en om beslissingen te maken die te maken hebben met andere mensen. De mPFC is ook betrokken bij het leerproces: nadat er een predictie error is berekend door het ventraal striatum, zorgt de mPFC ervoor dat de verwachtingen die je had, worden geüpdatet met de nieuwe informatie [\[4\]](#). De mPFC is daardoor ook een hersengebied dat belangrijk is voor sociaal leren.

Kortom, het ventraal striatum en de mPFC spelen allebei een belangrijke rol bij sociaal leren. Maar het is belangrijk om te beseffen dat deze hersengebieden ook betrokken zijn bij andere dingen die je doet. En bovendien zijn het ventraal striatum en de mPFC niet de

Figuur 3

Onderzoekers gebruiken MRI scanners om de hersenen van mensen te bestuderen. Een onderzoeksruimte waar één onderzoeker een proefpersoon op een bed legt dat de MRI scanner in zal schuiven. Twee andere onderzoekers zitten achter een computerscherm. Daarop zullen ze de plaatjes van het brein van de proefpersoon zien zodra ze de MRI scanner hebben gestart.



Figuur 3

enige gebieden in het brein die je gebruikt tijdens sociaal leren. Al deze gebieden werken samen en praten met elkaar terwijl jij aan het leren bent in ingewikkelde sociale situaties.

SAMENVATTING: WAT HEB JE GELEERD OVER SOCIAAL LEREN?

In dit artikel hebben we je twee vormen van sociaal leren uitgelegd, en verteld waarom sociaal leren een belangrijke vaardigheid is. Ten eerste, het is efficiënter om te leren van het gedrag van andere mensen en hun fouten en successen die het gevolg zijn van hun gedrag. Ten tweede, leren over andere mensen kan je helpen om te leren wie je kunt vertrouwen en om goede sociale banden met mensen op te bouwen. Als er een verschil is tussen wat je verwacht dat er gaat gebeuren, en wat er echt gebeurt, dan wordt er een predictie error in het brein berekend. Deze predictie errors zorgen ervoor dat je leert. De predictie errors worden in het ventraal striatum berekend, en door de mPFC gebruikt om de informatie in je brein te updaten.

Nu je meer weet over sociaal leren, kun je dan ook je eigen voorbeelden bedenken wanneer je hebt geleerd van of over iemand? Of misschien kun je bedenken op welke manieren sociaal leren je heeft geholpen om iets efficiënter te leren, of om te beslissen hoe je je het beste kon gedragen bij anderen. En de volgende keer dat

je andere mensen ziet of ontmoet, denk dan eens aan de geweldige berekeningen die er dan in je brein plaatsvinden!

DANKWOORD

We willen iedereen bedanken die meegewerkt heeft met de vertaling van de artikelen in deze Collectie om ze toegankelijker te maken voor kinderen buiten Engelstalige landen, en voor de Jacobs Foundation voor het verstrekken van benodigde fondsen voor het vertalen van de artikelen. Dit artikel is door de auteurs zelf naar het Nederlands vertaald. We willen Anna van Duijvenvoorde en Marieke Bos bedanken voor opmerkingen op een eerdere versie van dit artikel. B.W. werd ondersteund door een Open Research Area (ORA) subsidie (464-15-176) gefinancierd door de Nederlandse Organisatie voor Wetenschappelijk Onderzoek (NWO), toegekend aan dr. Anna C. K. van Duijvenvoorde. I.K. werd ondersteund door de NWO Westerdijksubsidie (014.041.030), toegekend aan prof. Berna Güroglu. I.G. werd ondersteund door de Ammodo Science Award 2017 for Social Sciences, toegekend aan prof. Eveline Crone.

REFERENTIES

1. Bandura, A. 1977. *Social Learning Theory*. New York, NY: General Learning Press.
2. Van den Bos, W., van Dijk, E., and Crone, E. A. 2012. Learning whom to trust in repeated social interactions: a developmental perspective. *Group Process. Intergroup Relat.* 15:243–56. doi: 10.1177/1368430211418698
3. Nussenbaum, K., and Cohen, A. 2018. Equation invasion! How math can explain how the brain learns. *Front. Young Minds* 6:65. doi: 10.3389/frym.2018.00065
4. Joiner, J., Piva, M., Turrin, C., and Chang, S. W. 2017. Social learning through prediction error in the brain. *NPJ Sci. Learn.* 2:8. doi: 10.1038/s41539-017-0009-2
5. Hoyos, P. M., Kim, N. Y., and Kastner, S. 2019. How is magnetic resonance imaging used to learn about the brain? *Front. Young Minds* 7:86. doi: 10.3389/frym.2019.00086

GEREDIGEERD DOOR: Jessica Massonnie

WETENSCHAPPELIJKE MENTORS: Elizabeth S. Lorenc en Elizabeth Y. Toomarian

CITATIE: Westhoff B, Koele IJ en van de Groep IH (2023) Sociaal leren en het brein: Hoe leren we van en over andere mensen? *Front. Young Minds*. doi: 10.3389/frym.2020.00095-nl

VERTALING EN BEWERKING VAN: Westhoff B, Koele IJ and van de Groep IH (2020) Social Learning and the Brain: How Do We Learn From and About Other People? *Front. Young Minds* 8:95. doi: 10.3389/frym.2020.00095

BELANGENVERSTRENGELING: De auteurs verklaren dat het onderzoek is uitgevoerd zonder enige commerciële of financiële relaties die zouden kunnen worden opgevat als potentiële belangenverstrengeling.

AUTEURSRECHTEN © 2020 © 2023 Westhoff, Koele en van de Groep. Dit is een open-access artikel verspreid onder de voorwaarden van de [Creative Commons Attribution \(CC BY\)](#). Gebruik, verspreiding of reproductie in andere fora is toegestaan, mits de oorspronkelijke auteur(s) en de auteursrechthebbende(n) worden gecrediteerd en de oorspronkelijke publicatie in dit wetenschappelijk tijdschrift wordt geciteerd, in overeenstemming met de gangbare wetenschappelijke beoefening. Geen enkel gebruik, distributie of reproductie is toegestaan dat niet voldoet aan deze voorwaarden.

JONGE REVIEWERS

ANISHA, LEEFTIJD: 13

Ik ben een eerste klasser op de Synapse School. Ik ben gepassioneerd over neurowetenschappen, kwantumfysica, wiskunde, en zingen!



ELI, LEEFTIJD: 13

Ik ben een eerste klasser op de Synapse School. Ik hou ervan om Frontiers artikelen te lezen.



HENRI, LEEFTIJD: 13

Ik ben een tweede klasser op de Synapse School. Ik hou van Frontiers artikelen lezen.



SARAH, LEEFTIJD: 14

Ik ben een tweede klasser op de Synapse School die houdt van alles wat te maken heeft met wiskunde, wetenschap, of het buitenleven. Van het testen van chemische reacties in de keuken tot het berekenen van de afstand die ik heb afgelegd en mijn gemiddelde snelheid tijdens het skiën. Hoewel ik het heerlijk vind om rond te rennen en nieuwe dingen te ontdekken, geniet ik ook van eenvoudiger delen van mijn dag waar ik met mijn kat kan zitten en lezen. Door deze activiteiten in balans te houden, ben ik bezig, maar ook kalm.



SPANDANA, LEEFTIJD: 12

Mijn favoriete vak op school is wetenschap. Mijn verbeelding is mijn beste vriend, en ik houd ervan om verhalen te schrijven. Enkele van mijn hobby's zijn praten, tv kijken, volleyballen, en tekenen. Ik houd van dieren, en honden zijn mijn favoriet. Ik stel graag vragen. Mijn favoriete kleuren zijn groenblauw en paars.



AUTEURS



BIANCA WESTHOFF

Ik ben onderzoeker bij de Universiteit Leiden in Nederland. Ik ben geïnteresseerd in hoe we leren over de mensen om ons heen. Ook onderzoek ik de hersenen, en hoe ze ontwikkelen tijdens de tienerjaren. Ik ben vooral heel nieuwsgierig hoe de hersenontwikkeling invloed heeft op de manier waarop we ons gedragen en hoe we leren over anderen. *b.westhoff@fsw.leidenuniv.nl



IRIS J. KOELE

Ik ben onderzoeker bij de Universiteit Leiden in Nederland. Ik ben met name gefascineerd door de manier waarop tieners leren van hun vrienden en klasgenoten, hoe deze sociale relaties veranderen in de loop der tijd, en wat er in het brein gebeurt tijdens deze vorm van leren. Verder ben ik geïnteresseerd in wat er gebeurt in het brein wanneer jongeren met ADHD beloningen winnen voor zichzelf en voor hun vrienden.

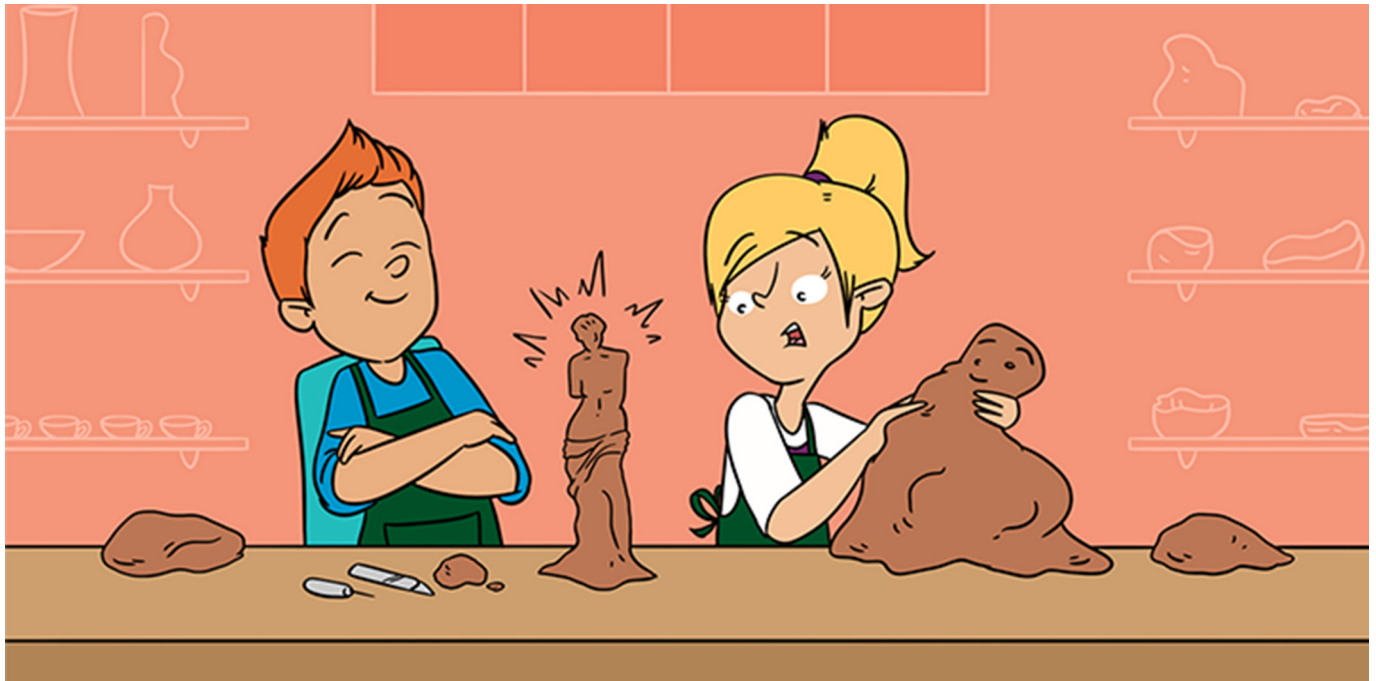


ILSE H. VAN DE GROEP

Ik ben onderzoeker aan de Erasmus Universiteit Rotterdam, en het Amsterdam UMC in Amsterdam, in Nederland. Ik wil graag begrijpen waarom sommige mensen aanhoudend antisociaal gedrag (zoals agressie) vertonen in hun leven, terwijl anderen dat niet doen. Om deze verschillen te begrijpen, onderzoek ik het brein en het gedrag van jongvolwassenen die als kind zijn gearresteerd voor een misdrijf. Ik ben onder meer benieuwd of sociaal leren en besluitvorming bij deze individuen anders werkt.

Dutch version provided by
Nederlandse versie verzorgd door

 **JACOBS
FOUNDATION**
Our Promise to Youth



NEURO-MYTHEN IN DE KLAS

Victoria C. P. Knowland^{1,2*} en Michael S. C. Thomas^{2,3}

¹Sleep, Language and Memory lab, Department of Psychology, University of York, York, Verenigd Koninkrijk

²Centre for Educational Neuroscience, Londen, Verenigd Koninkrijk

³Developmental Neurocognition Lab, Department of Psychological Sciences, Birkbeck University of London, Londen, Verenigd Koninkrijk

JONGE REVIEWERS:



ANYA

LEEFTIJD: 7



**DR. H.
BAVINCK
SCHOOL**

LEEFTIJD: 8–12



LIAM

LEEFTIJD: 8



MONICA

LEEFTIJD: 6



OLIVER

LEEFTIJD: 10



PALOMA

LEEFTIJD: 8

Heb je wel eens gehoord dat we maar 10% van onze hersenen gebruiken? Het is een leuke gedachte dat we kunnen profiteren van verborgen hersenkracht, maar kan 90% van onze hersenen echt de hele dag niets doen? Nee! Elk deel van je hersenen is 24 uur per dag bezig. Er zijn veel van deze zogenaamde neuro-mythen: ideeën over de hersenen die waar klinken, maar dat niet zijn. Er is meestal een goede reden waarom een neuromythe is ontstaan: misschien zit er een kern van waarheid in, of misschien willen mensen gewoon graag dat het waar is. In dit artikel bespreken we drie veelvoorkomende neuromythen over het groeiende brein, en leggen we uit waarom het belangrijk voor je is om te weten wat waar is en wat niet. We zullen onderzoeken of je kunt veranderen hoe slim je bent, of meisjes en jongens anders denken, en of sommige kinderen “links-breinig” en sommige “rechts-breinig” zijn.

WAT IS EEN NEURO-MYTHE?

Een mythe is iets waarvan veel mensen denken dat het waar is, maar eigenlijk niet waar is (bijvoorbeeld dat koning Arthur een echte koning in Engeland was), en “neuro” vertelt ons dat het over de hersenen gaat. Een *neuro-mythe* is dus een uitspraak over het brein waarvan vaak wordt gedacht dat het waar is, maar niet waar is. Er zijn veel neuro-mythen, zoals dat we slechts 10% van onze hersenen gebruiken, of dat onze hersenen niet actief zijn terwijl we slapen. Je bent misschien zelf deze ideeën tegengekomen, en of je het beseft of niet, ze kunnen een verschil maken in de manier waarop je denkt over je eigen brein en de manier waarop je leert op school. Belangrijk is dat neuro-mythen ook dingen zijn die ouders en leraren misschien geloven en die van invloed kunnen zijn op hoe ze denken over de groeiende hersenen. Neuro-mythen kunnen invloed hebben op hoe leraren lesgeven en hoe ouders opvoeden. In dit artikel zullen we beginnen met het verkennen van drie neuromythes, en dan nadenken over waarom het belangrijk is dat je weet hoe je een mythe kunt herkennen.

GENETICA, GENEN

Iets dat wordt doorgegeven van ouders aan hun kinderen via DNA, dus de kleur van je haar wordt bepaald door genetica, maar de lengte van je haar niet.

INTELLIGENTIE

Dit komt neer op hoe slim je bent; vaak betekent dit hoe goed mensen het doen op tests die zijn ontworpen om slimheid te meten. Maar vraag eens aan psychologen wat intelligentie is, en ze zullen urenlang ruzie maken over wat het precies betekent!

MYTHE #1: JE INTELLIGENTIE LIGT VAST

Bij deze mythe is het idee dat hoe goed je presteert op school, bijvoorbeeld op de Cito-toets, puur afhangt van je **genen**. Genen deel je met familieleden, eigenschappen zoals oogkleur en lengte zijn meestal sterk afhankelijk van je genen. Als je **intelligentie** zou worden bepaald door je genen, dan zou hoe goed je presteert op toetsen op school afhangen van hoe goed je ouders het doen op intelligentietests, of hoe goed ze het deden op toetsen op school. Het is duidelijk waar dit idee vandaan komt; kinderen kunnen inderdaad erg op hun ouders lijken. Wetenschappers kunnen zelfs uitrekenen hoeveel kinderen op hun ouders lijken. Als je een groep tweelingen neemt, sommige eeneiig en sommige twee-eiig, en een taak kiest - bijvoorbeeld, jongleren - kun je uitrekenen hoeveel van het verschil in hoe goed ze kunnen jongleren komt door hun genen, en hoeveel te wijten is aan de omgeving in waarin de kinderen opgroeien. Dit komt omdat eeneiige tweelingen 100% van hun genen delen, terwijl twee-eiige tweelingen maar 50% delen, maar beide soorten tweelingen (bijna) dezelfde omgeving delen (ze wonen in hetzelfde huis, ze hebben hetzelfde aantal jongleerlessen gevolgd, enz). Als eeneiige tweelingen meer op elkaar lijken in hoe goed ze kunnen jongleren dan twee-eiige tweelingen, betekent dit dat de grotere genetische overeenkomst van de eeneiige tweelingen leidt tot grotere overeenkomst in jongleerkunsten – dus dat deze vaardigheid wordt beïnvloed door de genen. Deze invloed van genen wordt ook wel erfelijkheid genoemd. Geen erfelijkheid betekent dat verschillen volledig te wijten zijn aan de omgeving, terwijl 100% erfelijkheid betekent dat alle verschillen in gedrag voortkomen uit verschillen in genen.

Met deze tweeling-techniek kunnen we ook uitrekenen hoeveel van de verschillen tussen kinderen in prestaties op school wordt beïnvloed door genen, en hoeveel door de omgeving. Het blijkt dat iets meer dan de helft (60-65%) van het verschil in hoe kinderen op school presteren te wijten is aan hun genen. De wetenschappers Oliver en collega's [1] toonden dit bijvoorbeeld aan voor rekenen. Je genen zijn lang niet het hele verhaal, verre van dat zelfs. Niemand zou immers veel weten als hij of zij er geen les in zou hebben gekregen!

Er zijn veel dingen die invloed kunnen hebben op hoe goed je het doet op school die niets te maken hebben met je ouders: bijvoorbeeld een goede juf of meester hebben, en zelf geloven dat je prestaties kunnen verbeteren door te leren. Elke juf of meester weet dat zij of hij een echt, positief verschil kan maken voor een kind. Eén studie toonde dit heel mooi aan: de onderzoekers ontdekten dat leesvaardigheid meer werd beïnvloed door genen in klassen met betere leraren [2]. Dit is de reden waarom dit elegant is: als je een slechte leraar hebt, raakt iedereen achter met lezen, hoe goed hun "leesgenen" ook zijn. Als je een goede leraar hebt, zijn de verschillen in leesvaardigheid meer te wijten aan de verschillende genen van elke kind. Laten we opgroeiende kinderen eens vergelijken met planten. De ene plant zal groter worden dan de andere, net als hun ouderplanten. Als de plant echter niet genoeg water krijgt, zal deze niet naar zijn maximale grootte kunnen groeien, ook al is zijn ouderplant nog zo groot. Alleen als er voldoende water is (te vergelijken met een goede leraar) kan een plant zo groot groeien als zijn genen toelaten (het zo goed doen op school als zijn genen toelaten). Onderzoek zoals de studie van Taylor en collega's laat ons zien dat, hoewel er een kern van waarheid zit in het idee dat intelligentie wordt doorgegeven via de genen van je ouders, het niet waar is dat het vastligt, omdat de manier waarop je je intelligentie ontwikkelt afhankelijk is van jou (hoe goed je je best doet) en de wereld om je heen (hoe goed je les krijgt).

ANALYSE

Doe je om te beslissen wat een verzameling van gegevens (data) je kan vertellen.

¹ We gebruiken de term "gender" voor biologische verschillen tussen mannen en vrouwen, in plaats van hoe mensen zichzelf zien.

MYTHE #2: MEISJES EN JONGENS DENKEN ANDERS

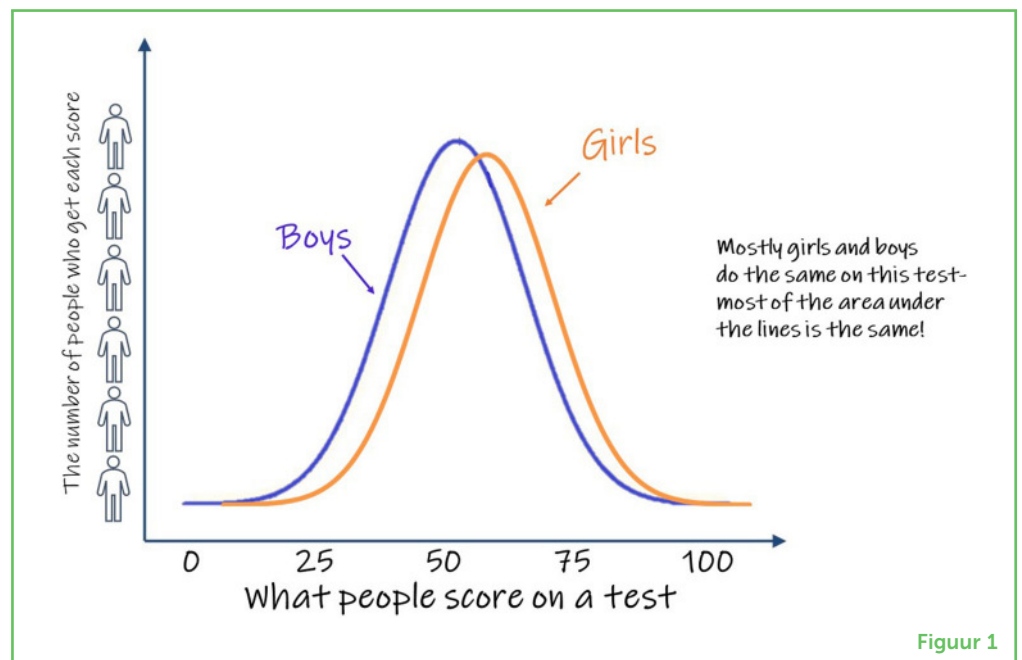
Bij deze mythe is het idee dat meisjes van nature beter zijn in sommige vakken op school en jongens in andere. Meestal wordt gedacht dat meisjes uitblinken in talen en creatieve vakken, terwijl jongens beter zouden zijn in technische vakken, zoals rekenen. Veel wetenschappelijke studies zijn gepubliceerd die groepsverschillen tussen mannen en vrouwen laten zien; mannen zijn bijvoorbeeld beter in het ruimtelijk draaien van vormen in hun hoofd. Maar niet iedereen is het ermee eens dat mannen en vrouwen zo verschillend zijn. Een wetenschapper **analyseerde** de gegevens van een hele reeks onderzoeken, bij elkaar in totaal ongeveer zeven miljoen onderzochte mensen, waarbij ze naar genderverschillen¹ bij verschillende activiteiten keek, van praten tot gooien [3]. Ze ontdekte dat bij meer dan driekwart van de onderzoeken de genderverschillen klein of bijna afwezig waren. Dit was zelfs het geval voor vakken waarbij

mensen eerder dachten dat er grote verschillen waren, zoals rekenen en wiskunde.

Het andere belangrijke is dat veel studies alleen kijken naar verschillen tussen *groepen*. Als je een groep jongens neemt, zullen sommige heel goed zijn in rekenen, de meeste zullen een beetje goed zijn in rekenen, en sommige zullen niet zo goed zijn in rekenen. Hetzelfde geldt voor meisjes. Zelfs als de jongens, als groep, het iets beter doen op een bepaalde test, dat zegt helemaal niets over een specifiek kind (zoals je kunt zien in [Figuur 1](#)). De twee groepen zullen veel overlap laten zien. Elke individuele jongen zal het waarschijnlijk beter doen dan veel meisjes, en elk individueel meisje zal het waarschijnlijk beter doen dan veel jongens. Dus, hoewel er enkele verschillen kunnen zijn tussen de manier waarop meisjes en jongens denken, zijn die verschillen klein, en groepsverschillen vertellen je eigenlijk niets over één bepaald kind.

Figuur 1

Dit is een voorbeeldgrafiek die laat zien hoe een groep jongens en een groep meisjes het doet op een denkbeeldige toets. Je kunt zien dat, hoewel meisjes als groep het iets beter doen op de test (de "meisjes/girls" lijn ligt iets meer naar rechts dan de "jongens/boys" lijn, wat laat zien dat ze iets hoger scoorden), het grootste deel van de twee groepen overlapt.



Figuur 1

MYTHE #3: SOMMIGE KINDEREN ZIJN "LINKS-BREINIG" EN SOMMIGE ZIJN "RECHTS-BREINIG"

Bij deze mythe gaat het eigenlijk over twee verschillende ideeën: (1) het brein is verdeeld in een rationele, verbale (talige) linkerhelft en een creatieve, emotionele rechterhelft; en (2) mensen hebben één kant die actiever is dan de andere, dus ze zijn beter in activiteiten die met de linker of rechterkant van het brein worden aangestuurd.

Zoals we bij de andere neuro-mythen ook hebben gezien, schuilt in deze mythe ook enige waarheid. Als je naar de hersenen kijkt, is een van de meest opvallende dingen dat er twee helften te onderscheiden

HEMISFEER

De helft van iets dat rond is - het brein heeft twee hemisferen (links en rechts), de aarde ook (noord en zuid).

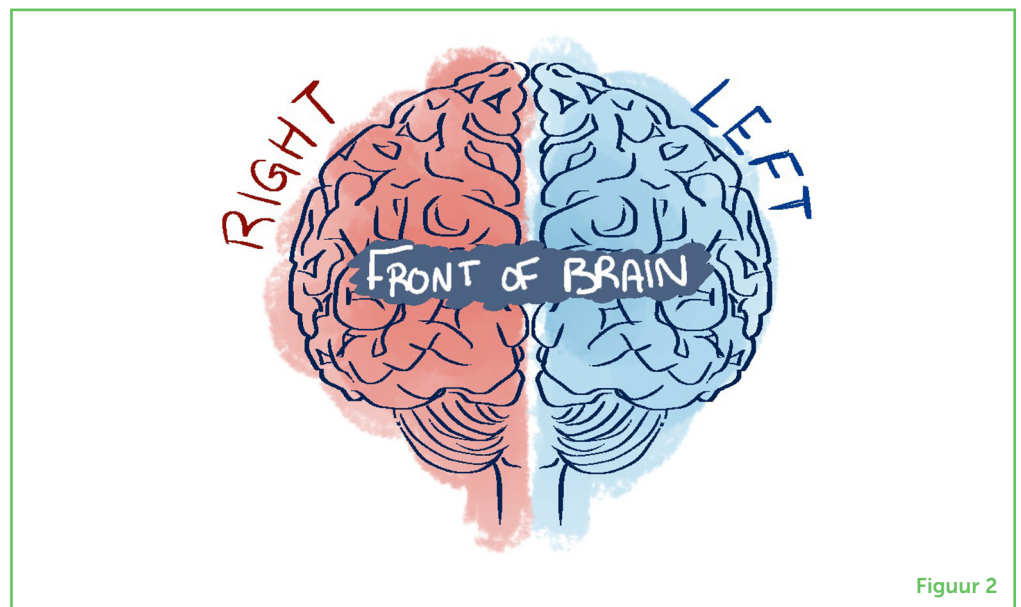
SPECIALISATIE

Als je je ergens in *specialiseert*, doe je dat ene ding heel goed, dus iemand kan zich bijvoorbeeld specialiseren in het spelen van de cello. In het artikel praten we over hersengebieden die gespecialiseerd zijn in één ding, zoals woorden lezen of je hand bewegen.

Figuur 2

Hier zie je de twee helften van het brein.

zijn (**hemisferen** genoemd), die in grote mate spiegelbeelden van elkaar zijn (zie **Figuur 2**). Het is ook waar dat verschillende delen van de hersenen zich **specialiseren** in verschillende taken, zoals je handen bewegen of je bang maken voor spinnen. Soms is die specialisatie (bijna) volledig te zien aan één kant van de hersenen: dit wordt "lateralisatie" genoemd. Het klassieke voorbeeld is dat taal (praten en luisteren) bij de meeste mensen afhankelijk is van de linkerhersenhalft. Maar zelfs taal is niet exclusief links-breinig: de rechterhelft is belangrijk voor veel aspecten van taal. De rechterhersenhalft is bijvoorbeeld cruciaal om te begrijpen waarom grappen grappig zijn, als de linkerhersenhalft de zin heeft begrepen [4]. De twee hersenhelften werken bijna altijd nauw samen.



Figuur 2

Hoewel we vaak de verschillende helften van de hersenen gebruiken voor verschillende dingen, betekent dit niet dat mensen "rechtsbreinig" of "linksbreinig" zijn. Een enorm onderzoek met meer dan 1.000 deelnemers toonde aan dat mensen niet één helft van de hersenen hebben die actiever is dan de andere helft [5]. In plaats daarvan hangt de activiteit in de hersenen af van wat je doet. Het hangt ook af van hoe goed je het doet. Muzikanten hebben bijvoorbeeld meer hersenmassa in sommige delen van de linkerhersenhalft dan niet-muzikanten [6]; maar deze verschillen worden gezien in specifieke, kleine gebieden van de hersenen, niet in een hele hersenhelft. Dus, hoewel activiteiten misschien meer rechts- of linksbreinig zijn, geldt dat niet voor mensen.

WAAROM ZIJN NEURO-MYTHEN BELANGRIJK?

Neuromythes zijn belangrijk omdat ze je gedachten en gedrag beïnvloeden: bijvoorbeeld hoe we onszelf zien en hoe we elkaar zien. Laten we nog eens het voorbeeld van jongens en meisjes nemen. Op

de leeftijd van 8 tot 9 jaar is er geen verschil in hoe goed meisjes en jongens het doen bij rekenen, maar toch denken veel meisjes (en hun ouders) dat hun rekenvermogen lager is dan dat van jongens [7]. Wat mensen geloven, in dit geval dat meisjes niet zo goed zijn in rekenen, kan dus een grote invloed hebben op hoe kinderen zichzelf zien, wat dan ook weer invloed kan hebben op hun werkelijke prestaties. Een onderzoek dat dit aantoont, liet een groep mensen twee keer een wiskundetest maken. De ene keer werd hen verteld dat de test meestal genderverschillen vertoont, de andere keer dat mannen en vrouwen de test even goed konden. Bij die eerste instructie maakten de mannen de test beter dan vrouwen, terwijl vrouwen het bij die tweede instructie net zo goed deden als de mannen [8]. Dit is een belangrijke bevinding omdat, tegen het einde van de schooltijd, de verschillen die ooit klein waren, steeds groter worden: 94% van de wiskundeprofessoren in het Verenigd Koninkrijk (VK) zijn mannen [9]. Dit is een goed voorbeeld van waarom we moeten oppassen voor neuro-mythen - wat je gelooft over je hersenen en de hersenen van anderen, kunnen ook echt uitkomen. Dus begin maar te geloven dat je gewoon goed kunt rekenen!

AUTEURSBIJDRAGE

Geschreven door VK en geredigeerd door MT.

DANKWOORD

We willen iedereen bedanken die meegewerkt heeft met de vertaling van de artikelen in deze Collectie om ze toegankelijker te maken voor kinderen buiten Engelstalige landen, en voor de Jacobs Foundation voor het verstrekken van de benodigde fondsen voor het vertalen van de artikelen. Voor dit artikel willen wij in het bijzonder Nienke van Atteveldt en Sabine Peters bedanken voor de Nederlandse vertaling.

REFERENTIES

1. Oliver, B., Harlaar, N., Hayiou-Thomas, M. E., Kovas, Y., Walker, S. O., Petrill, S. A., et al. 2004. A twin study of teacher-reported mathematics performance and low performance in 7-year-olds. *J. Educ. Psychol.* 96:504-17. doi: 10.1037/0022-0663.96.3.504
2. London Mathematical Society. 2013. Advancing Women in Mathematics: Good Practice in UK University Departments. London: London Mathematical Society.
3. Herbert, J., and Stipek, D. 2005. The emergence of gender differences in children's perceptions of their academic competence. *J. Appl. Dev. Psychol.* 26:276-95. doi: 10.1016/j.appdev.2005.02.007
4. Marinkovic, K., Baldwin, S., Courtney, M. G., Witzel, T., Dale, A. M., and Halgren, E. 2011. Right hemisphere has the last laugh: neural dynamics of joke appreciation. *Cogn. Affect. Behav. Neurosci.* 11:113-30. doi: 10.3758/s13415-010-0017-7

5. Nielsen, J. A., Zielinski, B. A., Ferguson M. A., Lainhart, J. E., and Anderson, J. S. 2013. An evaluation of the left-brain vs. right-brain hypothesis with resting state functional connectivity magnetic resonance imaging. *PLoS ONE* 8:e71275. doi: 10.1371/journal.pone.0071275
6. Gaser, C., and Schlaug, G. 2003. Brain structures differ between musicians and non-musicians. *J. Neurosci.* 23:9240-5. doi: 10.1523/JNEUROSCI.23-27-09240.2003
7. Taylor, J., Roehrig, A. D., Soden-Hensler, B., Connor, C. M., and Schatschneider, C. 2010. Teacher quality moderates the genetic effects on early reading. *Science* 328:512-4. doi: 10.1126/Science.1186149
8. Spencer, S. J., Steele, C. M., and Quinn, D. M. 1999. Stereotype threat and women's math performance. *J. Exp. Soc. Psychol.* 35:4-28.
9. Shibley-Hyde, J. 2005. The gender similarities hypothesis. *Am. Psychol.* 60:581-92. doi: 10.1037/0003-066X.60.6.581

GEREDIGEERD DOOR: Nienke Van Atteveldt

WETENSCHAPPELIJKE MENTORS: Naomi Chaytor en Silvia Riva

CITATIE: Knowland VCP en Thomas MSC (2023) Neuro-mythen in de klas. *Front. Young Minds*. doi: 10.3389/frym.2020.00049-nl

VERTALING EN BEWERKING VAN: Knowland VCP and Thomas MSC (2020) Neuro-Myths in the Classroom.. *Front. Young Minds* 8:49. doi: 10.3389/frym.2020.00049

BELANGENVERSTRENGELING: De auteurs verklaren dat het onderzoek is uitgevoerd zonder enige commerciële of financiële relaties die zouden kunnen worden opgevat als potentiële belangenverstrengeling.

AUTEURSRECHTEN © 2020 © 2023 Knowland en Thomas. Dit is een open-access artikel verspreid onder de voorwaarden van de [Creative Commons Attribution \(CC BY\)](#). Gebruik, verspreiding of reproductie in andere fora is toegestaan, mits de oorspronkelijke auteur(s) en de auteursrechthebbende(n) worden gecrediteerd en de oorspronkelijke publicatie in dit wetenschappelijk tijdschrift wordt geciteerd, in overeenstemming met de gangbare wetenschappelijke beoefening. Geen enkel gebruik, distributie of reproductie is toegestaan dat niet voldoet aan deze voorwaarden.

JONGE REVIEWERS

ANYA, LEEFTIJD: 7

Ik ben graag actief en doe veel sporten met veel enthousiasme en zo goed als ik kan. Mijn favoriete sporten zijn zwemmen en turnen. Ik hoor ook graag nieuwe verhalen via boeken, verhalen en films, en ik maak graag mijn eigen verhalen als ik speel. Maar ik hou ook van wiskunde, wat mijn favoriete vak op school is. Ik hou van zingen en alles wat muzikaal is, en ik maak mijn eigen muffins als ontbijt wanneer ik maar kan.





DR. H. BAVINCKSCHOL, LEEFTIJD: 8–12

Wij zijn de Spectrumklassen 5–6 en 7–8 van de Bavinckschool in Haarlem. Dit is een groep van 40 kinderen (19 in groep 5–6 en 21 in groep 7–8) die graag wat meer willen leren dan het reguliere schoolprogramma. We hadden veel plezier in het nakijken voor FYM, en namen de artikelen met veel focus en enthousiasme door, en maakten een kritische evaluatie. We vonden het erg leuk om bij te dragen aan de wetenschap en mee te helpen!



LIAM, LEEFTIJD: 8

Ik zit in de derde klas en hou van knuffels en mijn moeder. Ik ben een kunstenaar en ik hou van skiën. Als ik groot ben, wil ik over de hele wereld en in de ruimte reizen.



MONICA, LEEFTIJD: 6

Ik maak graag tekeningen... omdat ik wil uitdrukken wat me bezighoudt. Ik ga graag naar nieuwe steden en landen. Ik ben heel creatief, en ik hou van koken. Ik lees ook graag boeken en leer dingen van kinderen over de hele wereld. Ik hou van sporten zoals zwemmen en schaatsen.



OLIVER, LEEFTIJD: 10

Ik zit in de vijfde klas en hou van robotica, wiskunde en wetenschap. Ik ben net begonnen met trompet leren spelen. Ik kan niet wachten tot het skiseizoen begint. Als ik groot ben, wil ik astronaut worden en naar Mars reizen!



PALOMA, LEEFTIJD: 8

Hoi mijn naam is Paloma, mijn favoriete dingen zijn school en reizen, omdat ik graag nieuwe dingen leer. Wetenschap is mijn favoriete vak want het is echt interessant en ik een geweldige leraar heb. Ik lees ook graag graphic novels omdat ze leuk zijn! Ik ben ook bezorgd over vervuiling en waterbesparing en ik hoop op een dag oplossingen te vinden voor deze problemen.



VICTORIA C. P. KNOWLAND

Vic is een onderzoekster aan de Universiteit van York. Zij probeert te begrijpen hoe slaap in de kindertijd belangrijk kan zijn voor het leren van taal. Ze is geïnteresseerd in hoe en waarom de taalvaardigheden van kinderen verschillen, bijvoorbeeld waarom sommige kinderen meer woorden kennen dan andere. Ze is ook geïnteresseerd in hoe je kinderen kunt ondersteunen die communicatie als een uitdaging ervaren. Samen met Michael heeft Vic een reeks korte artikelen geschreven over neuromythen die relevant zijn voor het leren in de klas.

*victoria.knowland@york.ac.uk

**MICHAEL S. C. THOMAS**

Michael is hoogleraar cognitieve neurowetenschappen aan Birkbeck, Universiteit van Londen. Hij is directeur van het Centre for Educational Neuroscience van de Universiteit van Londen (<http://www.educationalneuroscience.org.uk/>). Hij gebruikt verschillende methoden om te begrijpen hoe de hersenen werken en hoe mensen verschillen in hun denken, waaronder mensen met ontwikkelingsproblemen zoals autisme. Binnen de educatieve neurowetenschappen omvat zijn werk het begrijpen van hoe kinderen wetenschap en wiskunde leren en het onderzoeken van hoe het gebruik van mobiele telefoons de hersenen van tieners kan veranderen.

Dutch version provided by
Nederlandse versie verzorgd door

JACOBS
FOUNDATION
Our Promise to Youth



HET IS INGEWIKKELD: LEREN EN ONDERWIJZEN GAAT NIET OVER “LEERSTIJLEN”

Breanna C. Lawrence^{1*}, Burcu Yaman Ntelioglou² en Todd Milford³

¹Department of Educational Psychology and Student Services, Faculty of Education, Brandon University, Brandon, MB, Canada

²Department of Curriculum and Pedagogy, Faculty of Education, Brandon University, Brandon, MB, Canada

³Department of Curriculum and Instruction, Faculty of Education, University of Victoria, Victoria, BC, Canada

JONGE REVIEWERS:



EMILY
LEEFTIJD: 11



MIHAJLO
LEEFTIJD: 16

De theorie van de leerstijlen is misschien wel een van de meest wijdverspreide mythen van het onderwijs. Het idee is gebaseerd op de bewering dat alle leerlingen kunnen worden ingedeeld op basis van hun specifieke leerstijl en dat ze het beste leren wanneer docenten de instructie afstemmen op deze specifieke voorkeursstijl van de leerling. Inmiddels is deze populaire theorie door veel onderwijswetenschappers als onjuist bestempeld. De leerstijlentheorie vereenvoudigt complexe processen zoals onderwijzen en leren in te eenvoudige categorieën en labelt leerlingen op manieren die hun capaciteiten kunnen beperken. Studies uitgevoerd door wetenschappers die de hersenen bestuderen, hebben aangetoond dat leren en onderwijzen veel gecompliceerder zijn dan alleen het afstemmen van onderwijs op de leerstijl van een leerling.

LEERSTIJLEN

Een theorie over hoe mensen kunnen worden ingedeeld op basis van een voorkeursmanier van leren, zoals visueel, auditief of kinesthetisch, en dat instructie het beste werkt als deze is afgestemd op hun voorkeursmanier van leren.

NEUROWETENSCHAPPERS

Wetenschappers die de hersenen bestuderen en hoe deze het denken en gedrag beïnvloeden.

NEUROMYTHE

Een algemeen aangenomen onjuiste overtuiging over hoe de hersenen functioneren.

NEUROWETENSCHAPPEN

De wetenschappelijke studie van de structuur en functie van de hersenen en het zenuwstelsel.

WAT BEWEERT DE LEERSTIJLENTHEORIE?

Misschien heb je sommige docenten al eens horen zeggen dat leerlingen verschillende **leerstijlen** hebben. Ze zeiden bijvoorbeeld dat 'visuele leerlingen' liever leren door te zien of dat andere leerlingen 'auditieve leerlingen' zijn die het beste leren door te luisteren of dat er 'kinetische leerlingen' zijn die het beste leren door te doen. Misschien heb je zelfs wel eens een test gedaan om je eigen leerstijl te ontdekken. Veel mensen veronderstellen dat alle leerlingen kunnen worden ingedeeld op basis van hun favoriete leerstijlen en dat leerlingen het beste leren wanneer docenten de manier van lesgeven afstemmen op de specifieke voorkeur van de leerling. Hoewel de theorie van de leerstijlen erg populair is, hebben vele **neurowetenschappers** inmiddels aangetoond dat die onjuist is. Ondanks de bewijzen, vertrouwen veel docenten nog steeds op de leerstijlentheorie [1]. Het idee van de verschillende leerstijlen is een voorbeeld van een **neuromythe**: een algemeen aangenomen onjuiste bewering over hoe de hersenen functioneren. In dit artikel zullen we beschrijven waarom de leerstijlentheorie een neuromythe is en waarom het schadelijk is om deze mythe te geloven. We zullen ook uitleggen hoe **neurowetenschappen**, de studie over hoe hersenen werken, ons helpen de complexiteit van onderwijzen en leren te begrijpen.

WAAROM IS DE LEERSTIJLENTHEORIE EEN NEUROMYTHE?

Voor de leerstijlentheorie ontbreekt wetenschappelijk bewijs. Veel leraren en een groot deel van de bevolking zijn van mening dat er verschillende leerstijlen bestaan. De leerstijlentheorie is misschien wel één van de meest algemeen geaccepteerde neuromythen [2]. Een onderzoeksgroep [3] ontdekte dat meer dan 90% van de docenten in de leerstijlentheorie gelooft. Een andere studie [4] toonde aan dat meer dan 60% van de docenten denkt dat lesgeven aan leerlingen in hun specifieke voorkeursleerstijl de leerlingen helpt om beter te kunnen leren.

Veel mensen zijn makkelijk overtuigd om in onbewezen beweringen te geloven als deze neurowetenschappelijke details bevatten. De leerstijlentheorie is een voorbeeld van een hulpmiddel voor het onderwijs dat goed lijkt te zijn, omdat het delen bevat die wel waar zijn¹. Zo hebben mensen voorkeuren voor hoe ze leren of manieren waarop ze het best kunnen leren. Docenten leren op de lerarenopleiding dat het belangrijk is om informatie op verschillende manieren te presenteren in de klas. Het betekent echter niet dat het afstemmen van onderwijs op de specifieke leerstijl van een leerling daadwerkelijk zijn begrip verbetert, omdat de hersenen niet op die manier werken.

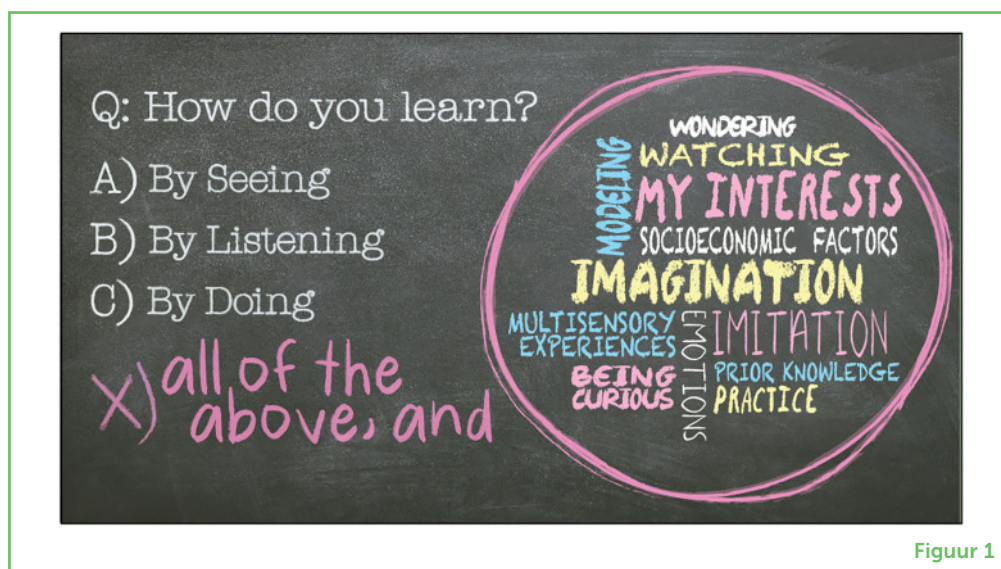
¹ See danielwillingham.com.

WAAROM IS DE LEERSTIJLMYTHE SCHADELIJK?

Overtuigd zijn van de leerstijlen kan schadelijk zijn, omdat de theorie ingewikkelde processen, zoals onderwijzen en leren, vereenvoudigt tot te simpele categorieën en het leerlingen bestempelt op een manier die hun mogelijkheden beperkt (zie [Figuur 1](#)).

Figuur 1

Een illustratie over hoe je leert. De illustratie toont aan dat hoe je leert niet eenvoudig gemaakt kan worden of gecategoriseerd. Op het schoolbord staat de vraag geschreven "Hoe leer je?". Daaronder staan mogelijke antwoorden: A) Door te zien. B) Door te luisteren. C) Door te doen. Het juiste antwoord is onderaan aangekruist: Je leert op alle bovengenoemde manier en op nog veel meer manieren. Gemaakt door Brendon Ehinger (<http://ehinger.ca/>).



Figuur 1

Het is aanlokkelijk om te veronderstellen dat leerlingen makkelijker leren als de instructie past bij hun voorkeursstijl, maar de manier waarop de hersenen informatie verwerken is veel uitgebreider dan dat.

Stel je voor: je stelt vast dat je een visuele leerling bent. Dit betekent dat je de voorkeur geeft aan instructies die visueel gepresenteerd worden. In de Franse les werk je aan het ontwikkelen van je gespreksvaardigheden en Franse accent. Je leest en ziet veel geschreven voorbeelden van gesprekken en er worden zelfs fonetische spellingen gepresenteerd (de woorden worden uitgeschreven zoals ze klinken), maar jouw voorkeur voor visuele informatie helpt je niet echt om beter Frans te spreken. Je hebt moeite om veel woorden uit te spreken en je vindt het lastig om te begrijpen wat een Franstalige spreker zegt. Jouw leerstijl 'visuele leerling' lijkt je in deze situatie niet te helpen beter te leren! Het leren van een taal en het oefenen om die taal te leren vereist een gecoördineerd gebruik van zien, horen en doen. Naast deze drie vaardigheden zijn geheugen, emotie, denken en verbeeldingskracht ook belangrijke onderdelen van het leerproces [5]. Het is vaak niet mogelijk voor docenten om alleen les te geven volgens de specifieke leerstijlen. Daarbij kan het mogelijk schadelijk zijn voor het leren als ze dat proberen – het kan zelfs veel frustratie veroorzaken! We vragen docenten om enorm voorzichtig te zijn met de mythe van de leerstijlen, omdat er geen wetenschappelijk bewijs is dat lesgeven in specifieke leerstijlen daadwerkelijk tot beter leren leidt.

In plaats daarvan gebeurt leren op verschillende met elkaar verbonden manieren. Wanneer je informatie onthoudt, verwerk je die informatie met behulp van meerdere zintuigen, waarbij je combineert wat je hoorde, zei, herinnerde, zag, voelde, rook, enz. Als docenten dus overtuigd zijn van de leerstijlen en zij hun leerlingen lesgeven in de specifieke voorkeursstijl van die leerling, vermindert dat het inzetten van verschillende zintuigen en processen voor het leren. Dit kan het vermogen van sommige leerlingen om nieuwe informatie te leren juist aantasten.

NEUROWETENSCHAPPEN HELPEN ONS DE COMPLEXITEIT VAN ONDERWIJS EN LEREN TE BEGRIJPEN

Neurowetenschappen helpen ons de complexiteit van de groei en ontwikkeling van de hersenen tijdens het leren te begrijpen. Zij hebben aangetoond dat leren gebaseerd is op ervaringen en niet op leerstijlen. Leren over neurowetenschappen helpt docenten om beter onderwijs te geven. Op de lerarenopleiding leren ze dat onze hersenen **plasticiteit** hebben. Dit betekent dat onze hersenen zich aanpassen aan onze ervaringen. Docenten moeten leerlingen dus op verschillende manieren ervaringen laten opdoen, waarbij zij rekening houden met voorkennis, vaardigheden en interesses van de leerling. De dagelijkse gebeurtenissen en de lessen in de klas creëren **neurale netwerken** die ons helpen om dat wat we geleerd hebben te onthouden en toe te passen. Een neurale netwerk bestaat uit veel verbonden hersencellen, **neuronen** genaamd. Bij de geboorte is slechts een klein percentage van het neurale netwerk beschikbaar. De overgrote meerderheid wordt gecreëerd door levenservaring².

Zinnvolle oefeningen en uitdagingen versterken neurale netwerken en helpen leerlingen meer zelfvertrouwen, bekwaamheid en verbondenheid te voelen met wat ze leren. Als reactie op al die ervaringen worden neuronen gevormd en uiteindelijk kunnen er hele netwerken ontstaan die gespecialiseerd worden voor functies, zoals het spreken van een extra taal. Dus als we nieuwe dingen leren, passen onze hersenen zich aan door nieuwe verbindingen te maken waardoor het neurale netwerk verandert. Leren kost tijd en oefening, zoals het spreken van een nieuwe taal. Hoe meer je oefent en hoe meer je wordt blootgesteld aan die nieuwe taal, des te efficiënter zul je worden in het verwerken en uitvoeren van vaardigheden zoals spreken en begrijpen.

LEREN IS COMPLEX

De neuromythe van de leerstijlen kan een probleem zijn, omdat het onderwijs- en leerprocessen beperkt tot te eenvoudige processen die leerlingen niet echt helpen om efficiënter te leren. Ook al is bewezen dat de theorie incorrect is, geloven veel mensen het

PLASTICITEIT

Het vermogen van de hersenen om nieuwe verbindingen te vormen, flexibel te zijn, en door ervaring te worden aangepast.

NEURALE NETWERKEN

Bestaan uit vele onderling verbonden neuronen.

NEURON

Een cel in het zenuwstelsel die informatie verstuurt naar andere cellen (andere zenuwcellen, spieren of klieren). Zenuwcellen worden beschouwd als de basiseenheden van de hersenen.

² See <https://husman-memory.net/brain-neurons-synapses/>.

VEELZIJDIG

Het bevat veel delen.

nog steeds! De leerstijltheorie is één van populairste neuromythen onder leerkrachten. Wat belangrijk is om te onthouden, is dat leren onderliggende denkprocessen omvat en afhankelijk is van onze ervaringen. We weten dat de achtergrondkennis, vaardigheden en interesses van leerlingen centraal staan in hun leerproces en niet hun leerstijlen. Het leerproces en de manier waarop onze hersenen met ons lichaam in verbinding staan, is **veelzijdig**. Wetenschappers die onderzoeken hoe mensen leren, zijn nog steeds aan het ontdekken en begrijpen hoe deze processen werken. Leerlingen moeten worden blootgesteld aan verschillende taken en moeten informatie gepresenteerd krijgen op verschillende manieren.

De manier waarop de informatie wordt gepresenteerd moet niet alleen betekenis hebben voor wat wordt geleerd, zoals een nieuwe taal, maar ook voor de leerling. We hopen dat je ziet dat onderwijzen complexer is dan simpelweg de leerling aan zijn specifieke leerstijl koppelen!

DANKWOORD

We willen iedereen bedanken die meegewerkt heeft met de vertaling van de artikelen in deze Collectie om ze toegankelijker te maken voor kinderen buiten Engelstalige landen, en voor de Jacobs Foundation voor het verstrekken van de benodigde fondsen voor het vertalen van de artikelen. Voor dit artikel willen we in het bijzonder Ilona Benneker bedanken voor de Nederlandse vertaling.

REFERENTIES

1. Riener, C., and Willingham, D. 2010. The myth of learning styles. *Change* 42:32-35. doi: 10.1080/00091383.2010.503139
2. Newton, P. M. 2015. The learning styles myth is thriving in higher education. *Educ. Psychol.* 6:1908. doi: 10.3389/fpsyg.2015.01908
3. Dekker, S., Lee, N. C., Howard-Jones, P., and Jolles, J. 2012. Neuromyths in education: prevalence and predictors of misconceptions among teachers. *Front. Psychol.* 3:429. doi: 10.3389/fpsyg.2012.00429
4. Dandy, L., and Bendersky, K. 2014. Student and faculty beliefs about learning in higher education: implications for teaching. *Int. J. Teach. Learn. High. Educ.* 26:358-80. Available online at: <http://www.isetl.org/ijtlhe/>
5. Geake, J. 2008. Neuromythologies in education. *Educ. Res.* 50:123-33. doi: 10.1080/00131880802082518

GEREDIGEERD DOOR: Nienke Van Atteveldt

WETENSCHAPPELIJKE MENTORS: Tijana Bojic en Vladimir Litvak

CITATIE: Lawrence BC, Ntelioglou BY en Milford T (2023) Het Is Ingewikkeld: Leren En Onderwijzen Gaat Niet Over "Leerstijlen". *Front. Young Minds.* doi: 10.3389/frym.2020.00110-nl

VERTALING EN BEWERKING VAN: Lawrence BC, Ntelioglou BY and Milford T (2020) It is Complicated: Learning and Teaching is Not About “Learning Styles”. Front. Young Minds 8:110. doi: 10.3389/frym.2020.00110

BELANGENVERSTRENGELING: De auteurs verklaren dat het onderzoek is uitgevoerd zonder enige commerciële of financiële relaties die zouden kunnen worden opgevat als potentiële belangenverstrengeling.

AUTEURSRECHTEN © 2020 © 2023 Lawrence, Ntelioglou en Milford. Dit is een open-access artikel verspreid onder de voorwaarden van de [Creative Commons Attribution \(CC BY\)](#). Gebruik, verspreiding of reproductie in andere fora is toegestaan, mits de oorspronkelijke auteur(s) en de auteursrechthebbende(n) worden gecrediteerd en de oorspronkelijke publicatie in dit wetenschappelijk tijdschrift wordt geciteerd, in overeenstemming met de gangbare wetenschappelijke beoefening. Geen enkel gebruik, distributie of reproductie is toegestaan dat niet voldoet aan deze voorwaarden.

JONGE REVIEWERS

EMILY, LEEFTIJD: 11

Mijn naam is Emily and ik ben 11 jaar oud. Ik wil graag advocaat of astronaut worden. Ik woon in Londen en ik ga na dit jaar naar de middelbare school. Mijn favoriete vak is Engels. In mijn vrije tijd ga ik graag zwemmen, lers dansen of Harry Potter lezen.



MIHAJLO, LEEFTIJD: 16

Hoi. Ik ben Mihajlo en ik zit in het tweede jaar van het Derde Belgrado Lyceum. Wat ik zo leuk vind aan wetenschap is dat je nooit weet wat er uiteindelijk gaat gebeuren. Ik vind neurowetenschappen erg interessant, omdat we nog steeds zo weinig weten over de hersenen en het zenuwstelsel. Er zijn nog zoveel dingen die wachten om door ons, gepassioneerde wetenschappers, ontdekt te worden. Ik houd ervan om nieuwe dingen te leren en dat is de reden dat ik veel wetenschappelijk onderzoek doe met mijn wetenschapscoach.



AUTEURS

BREANNA C. LAWRENCE

Breanna is professor in de onderwijspsychologie (de studie over onderwijzen en leren) en studieadviseur. Ze geeft les aan studenten die graag docent willen worden over de ontwikkeling van kinderen en adolescenten en de verschillende leertheorieën. Ook geeft ze les aan docenten die graag op hun school counselor willen worden. Breanna onderzoekt de veerkracht van kinderen en jongeren. Dit sluit goed aan bij haar professionele achtergrond in het onderwijs en de gezondheidszorg. Ze houdt van zonsondergangen en buitensporten met haar man en twee kinderen. *lawrenceb@brandonu.ca



**BURCU YAMAN NTELIOGLOU**

Burcu is een onderwijsprofessor aan de Brandon Universiteit in Canada. Ze geeft onderwijs aan studenten die graag leraar willen worden. Ook geeft ze verdiepende cursussen aan docenten en directeuren die hun lesgeven willen verbeteren. Als voorvechtster van diversiteit en gelijkheid in het onderwijs is Burcu vooral geïnteresseerd in taalontwikkeling en alfabetisering van studenten in een mondiale wereld. Sinds ze de trotse moeder is van twee zoons Deniz (16) en Derin (10) gaat Burcu graag kijken bij hun ijshockeywedstrijden.

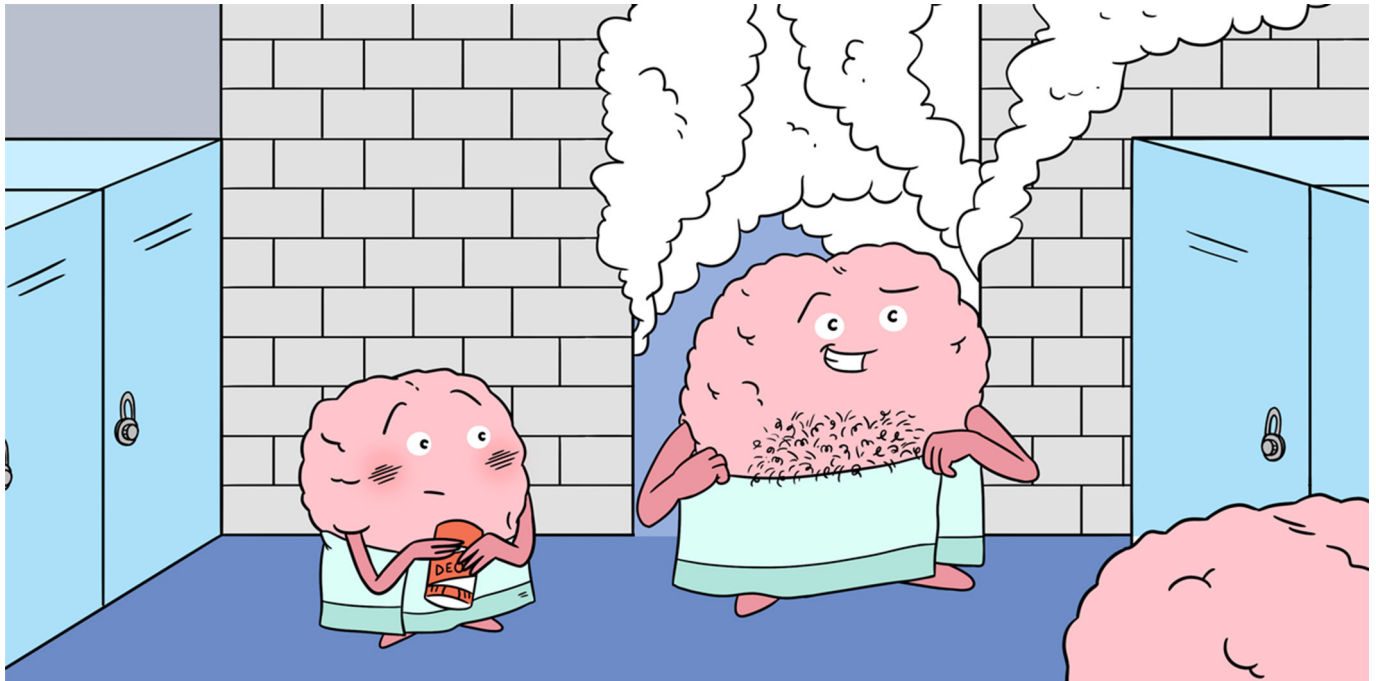
**TODD MILFORD**

Todd M. Milford is een universitair hoofddocent in wetenschapsonderwijs aan de Universiteit van Victoria. Hij is tevens voorzitter van de afdeling Curriculum en Instructie. Hiervoor was hij lector bij de kunst-, rechten- en onderwijsgroep aan Griffith, Universiteit van Brisbane, Australië. Hij houdt van fietsen en basketballen in zijn eigen straat.

Dutch version provided by

Nederlandse versie verzorgd door





JE BREIN IN DE PUBERTEIT

Marjolein E. A. Barendse*, Theresa W. Cheng en Jennifer H. Pfeifer

Developmental Social Neuroscience Lab, Department of Psychology, University of Oregon, Eugene, OR, Verenigde Staten

JONGE REVIEWER:



BENJAMIN

LEEFTIJD: 11

De puberteit is een normaal onderdeel van de ontwikkeling, maar het is ook voor iedereen anders. Voor sommige tieners komt de puberteit eerder dan voor anderen, en voor sommigen gaat het sneller. Hierdoor kunnen kinderen van dezelfde leeftijd er heel anders uit zien - hun lichaam groeit met verschillende snelheden. Onderzoekers hebben ontdekt dat de puberteit niet alleen je lichaam verandert, maar ook je hersenen. Dit komt omdat de puberteit veranderingen in hormonen met zich meebrengt, die zich ook aan de hersencellen hechten en zo veranderen hoe de hersenen leren en groeien. Deze veranderingen zijn nuttig omdat ze de hersenen klaar maken voor nieuwe vormen van leren. Ze kunnen ook leiden tot een aantal "hobbels onderweg" - je kunt bijvoorbeeld risico's nemen die niet goed uitpakken. In dit artikel leggen we uit wat de puberteit met de hersenen doet en waarom deze hersenveranderingen belangrijk zijn om je voor te bereiden op de volwassenheid.

HORMONEN

Kleine boodschapperstofjes die in de bloedbaan naar verschillende delen van het lichaam reizen. Testosteron en oestradiol zijn twee hormonen die belangrijk zijn voor de puberteit.

RECEPTOR

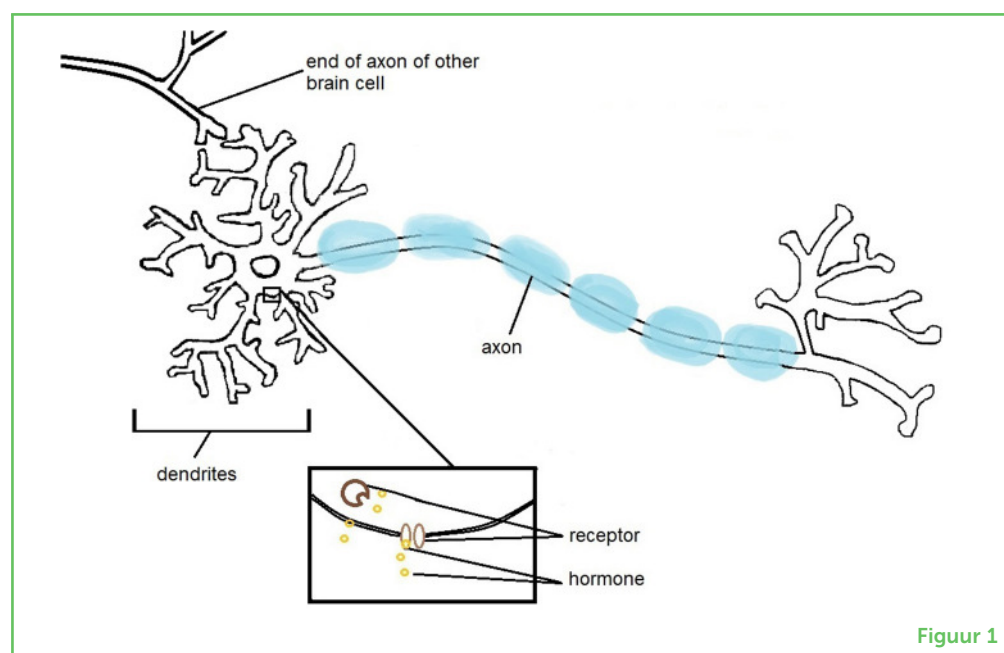
Een structuur in of op een cel waaraan een hormoon of andere boodschapper zich kan hechten.

Figuur 1

Een hersencel en alle onderdelen. Het rechthoekige vak is ingezoomd om te laten zien hoe hormonen zich kunnen hechten aan receptoren, in of op de cel. In blauw is myeline, dat is een beschermend laagje dat om het axon groeit en de signalen sneller laat reizen.

WAT IS PUBERTEIT EN WAT ZIJN HORMONEN?

De puberteit is een normaal onderdeel van de ontwikkeling die in de vroege tienerjaren plaatsvindt. Als je aan de puberteit denkt, denk je misschien aan puistjes, lichaamsgeur en haargroei - naast vele andere, soms ongemakkelijke lichaamsveranderingen - maar weet je wat er in je lichaam gebeurt om deze veranderingen te veroorzaken? De hersenen geven een signaal aan het lichaam om de puberteit te starten door boodschappen door te geven in de vorm van **hormonen**. Hormonen zijn kleine moleculen die door het lichaam worden gemaakt en die in de bloedbaan naar verschillende delen van het lichaam reizen, waaronder de hersenen. Hormonen zijn belangrijk voor het doorgeven van berichten over lange afstanden in je lichaam, zodat verschillende organen met elkaar kunnen communiceren. Wanneer een hormoon zijn bestemming bereikt, hecht het zich aan de zogenoemde **receptor**, op of in een cel (zie **Figuur 1**). Dit veroorzaakt een reactie in de cel die het gedrag en zelfs de overleving van de cel kan beïnvloeden. Hoe de cel reageert, hangt af van het soort cel en het soort hormoon.



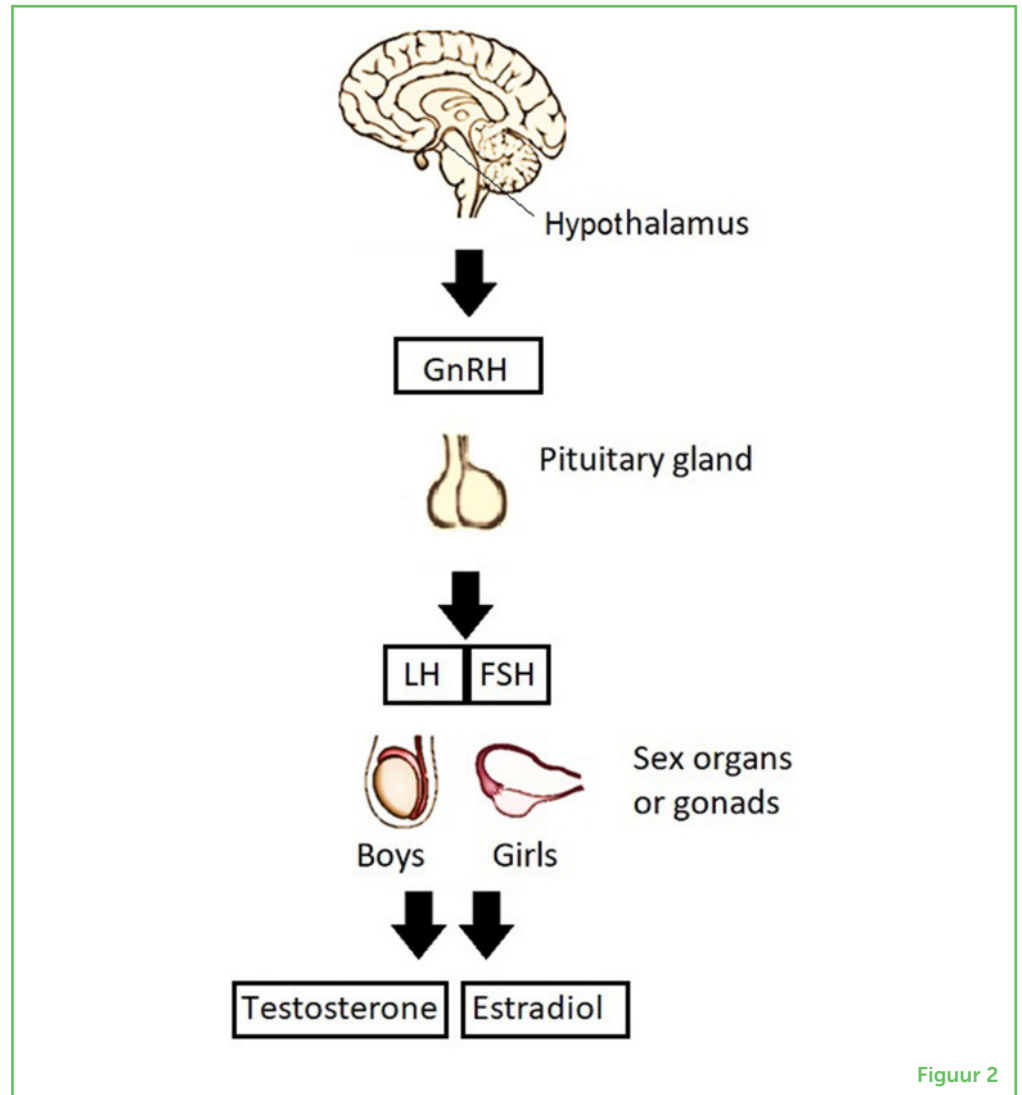
Figuur 1

Hormonen zijn erg belangrijk om het proces van puberteit te starten. Dit komt omdat de puberteit begint wanneer de hersenen het lichaam een signaal geven om meer van bepaalde hormonen te maken. **Figuur 2** legt uit hoe dit werkt.

Testosteron en oestradiol zijn twee belangrijke hormonen die veel van de veranderingen in het lichaam veroorzaken die mensen associëren met de puberteit. De hoeveelheid testosteron stijgt veel meer bij jongens, terwijl oestradiol meer toeneemt bij meisjes. Testosteron kan bijvoorbeeld naar de haarcellen reizen, wat leidt tot donkerder en dikker haar en haargroei op de oksels of het gezicht. Oestradiol is

Figuur 2

Deze figuur laat zien hoe een signaal van de hersenen leidt tot toename van puberteitshormonen. Het begint in een hersengebied dat de hypothalamus wordt genoemd. Dat maakt het hormoon GnRH aan, dat naar de hypofyse reist, een klein orgaan onderaan de hersenen. In de hypofyse worden andere hormonen aangemaakt (LH en FSH). Vervolgens reizen ze naar de geslachtsorganen (dit zijn testikels in mannelijke lichamen en eierstokken in vrouwelijke lichamen), die testosteron en oestradiol maken.



belangrijk voor de borstontwikkeling bij meisjes. Zowel testosteron als oestradiol zijn ook belangrijk voor de vruchtbaarheid, waardoor mensen kinderen kunnen krijgen.

De leeftijd waarop dit alles plaatsvindt, verschilt sterk van persoon tot persoon. Gemiddeld beginnen meisjes de puberteit rond de leeftijd van 10 jaar, terwijl jongens een jaar later beginnen. Een deel van de individuele verschillen is gebaseerd op genen, maar ervaringen eerder in de kindertijd maken ook uit. Kinderen die bijvoorbeeld eerder in hun leven veel stressvolle dingen hebben meegemaakt, gaan vaker op jongere leeftijd door de puberteit.

HORMONEN KUNNEN VERANDEREN HOE DE HERSENEN ZIJN GEORGANISEERD EN HOE HERSENCELLEN ZICH GEDRAGEN

Hormonen zoals testosteron en oestradiol kunnen zich aan de hersencellen hechten. Een hersencel ziet er anders uit dan cellen in

DENDRIET

Het deel van een hersencel dat signalen van andere cellen ontvangt.

AXON

Het deel van een hersencel dat signalen naar andere cellen stuurt.

AMYGDALA

Een klein gebied aan de onderkant van de hersenen dat belangrijk is voor het verwerken van emoties zoals angst.

andere delen van het lichaam: het heeft een cellichaam, maar heeft ook delen die eruit zien als uitstekende draden (zie [Figuur 1](#)). Een hersencel heeft vaak veel korte "draden," **dendrieten** genaamd, voor het ontvangen van signalen van andere cellen. Hersencellen hebben ook een langere "draad," een **axon** genaamd, die signalen naar andere cellen stuurt.

Er zijn twee manieren waarop hormonen je hersencellen kunnen beïnvloeden [1].

Ten eerste kunnen hormonen van invloed zijn op hoe de hersenen zijn georganiseerd, en dit zijn veranderingen die enige tijd nodig hebben. Veranderingen in de organisatie van de hersenen zijn bijvoorbeeld veranderingen in het aantal cellen, of in de grootte en vorm van dendrieten of axonen. Testosteron beïnvloedt bijvoorbeeld de ontwikkeling van nieuwe cellen in een hersengebied dat de mediale **amygdala** wordt genoemd. Omdat jongens tijdens de puberteit meer testosteron aanmaken, wordt dit gebied groter bij jongens dan bij meisjes [2]. Dit werd gevonden in onderzoek met dieren, maar studies bij mensen die gekeken hebben naar hormonen en de grootte van de amygdala suggereren dat het bij mensen hetzelfde werkt.

Ten tweede kan een hormoon de manier beïnvloeden waarop hersencellen actief worden als reactie op een situatie of omgeving. Hormonen kunnen helpen of juist voorkomen dat een cel signalen uitwisselt met andere cellen. Dit kan ook leiden tot langdurige veranderingen in hersencellen. De hoeveelheid testosteron bij muizen (en mensen) neemt bijvoorbeeld toe tijdens een wedstrijd of gevecht. Een studie toonde aan dat muizen die een gevecht winnen, meer receptoren voor testosteron ontwikkelen in hersengebieden die belangrijk zijn voor beloning en sociaal gedrag [3]. Deze nieuwe receptoren kunnen ook het gedrag van de muis in het volgende gevecht veranderen. Dit laat zien dat ervaringen, zoals het winnen van een gevecht, en hormonen samenwerken om de hersenontwikkeling vorm te geven. Dit proces is vooral belangrijk tijdens de puberteit, wanneer de hoeveelheid hormonen hoger is dan tijdens de kindertijd en de hersenen nog in ontwikkeling zijn.

We weten nog steeds niet veel over hoe hormonen de organisatie en acties van hersencellen bij mensen beïnvloeden. We weten dat deze effecten op sommige manieren verschillen tussen jongens en meisjes en tussen hersengebieden. Onderzoekers beginnen nu uit te zoeken hoe de hormoon-gerelateerde veranderingen in de hersenen belangrijk zijn voor gedrag en leren, dus er zijn nog veel onbeantwoorde vragen.

DE PUBERTEIT KAN HET MOEILIJKER MAKEN OM SOMMIGE DINGEN TE LEREN, MAAR GEMAKKELIJKER VOOR ANDERE

Kinderen kunnen bepaalde dingen beter leren dan tieners of volwassenen. Zo zijn jonge kinderen heel goed in het leren van nieuwe talen. Het wordt veel moeilijker om een tweede taal te leren nadat iemand 9-11 jaar oud is. Dit komt waarschijnlijk door veranderingen in de manier waarop de hersenen spraak en andere taal informatie verwerken. In één onderzoek werd gekeken naar de rol van de puberteit bij deze veranderingen. De onderzoekers lieten kinderen naar spraak luisteren van een namaak "buitenaardse" taal en bestudeerden hoe de hersenen dit probeerden te begrijpen [4]. De activiteit in verschillende hersengebieden, die belangrijk zijn voor taal, veranderde naarmate kinderen ouder werden. De activiteit in sommige van deze taal-gerelateerde hersengebieden was ook lager voor kinderen die verder in de puberteit waren. Dit suggereert dat de puberteit dus mogelijk een rol speelt bij de veranderende reacties van de hersenen op taal.

De puberteit kan aan de andere kant ook nieuwe kansen bieden voor andere vormen van leren. Dit zijn bijvoorbeeld kansen om over jezelf te leren en om sociale en emotionele vaardigheden te leren die tieners voorbereiden op volwassenheid. De hersenen kunnen tijdens de tienerjaren veranderen op manieren die zulk leren ondersteunen. Een belangrijk onderdeel van het leren van nieuwe vaardigheden is bijvoorbeeld reageren op feedback - dat wil zeggen, hoe je brein informatie gebruikt die je vertelt of je het juiste antwoord hebt gegeven of niet. In een onderzoek onder meer dan 200 kinderen, tieners en volwassenen werd gekeken hoe de hersenen reageren wanneer ze leren van feedback. Hoe goed mensen van feedback leerden, hield verband met activiteit in verschillende delen van het **striatum**, een hersengebied dat het leren van nieuwe informatie ondersteunt. Sommige delen van het striatum waren actiever bij tieners dan bij kinderen of volwassenen, wat suggereert dat mensen tijdens hun tienerjaren anders van feedback leren [5].

Een ander belangrijk onderdeel van het leren van nieuwe vaardigheden vereist verkenning en risico's nemen, zoals het delen van informatie over jezelf, het uitproberen van een nieuwe hobby waar je misschien niet goed in bent, of proberen te praten met iemand waar je verliefd op bent. Je neemt zo'n beslissing eerder als je denkt dat je er iets positiefs uit kunt halen, zoals een beloning. Wetenschappers hebben gezien dat een deel van het striatum ook actief is wanneer een persoon beloningen ontvangt, waaronder eten en geld. Een studie bij mensen van 8-27 jaar was gericht op dit hersengebied. De onderzoekers ontdekten dat mensen die verder in de puberteit waren en mensen met meer testosteron in hun lichaam, meer activiteit vertoonden in dit deel van het striatum bij het winnen van een beloning. Dit suggereert dat

STRIATUM

Een gebied in het midden van de hersenen dat beloningen en feedback verwerkt. Het wordt het striatum genoemd omdat het er gestreept uitziet door de afwisselende soorten weefsel.

hormonen belangrijk kunnen zijn om je hersenen gevoeliger te maken voor beloning tijdens de puberteit [6].

Deze onderzoeken tonen aan dat de manier waarop de hersenen reageren op feedback en beloningen verandert rond de puberteit. Dit kan tieners aanmoedigen om meer over zichzelf en anderen te leren, waardoor zelfontdekking en persoonlijke groei worden ondersteund. Deze hersenveranderingen kunnen aan de andere kant ook verband houden met het feit dat bepaalde psychische problemen en drugsverslavingen zich vaak tijdens de tienerjaren ontwikkelen. Als tieners bijvoorbeeld gevoeliger zijn voor beloningen, zijn ze mogelijk ook gevoeliger voor het belonende gevoel van het gebruiken van alcohol of drugs. Ook kunnen kinderen die eerder of sneller door de puberteit gaan dan hun leeftijdsgenoten meer psychische problemen hebben, wat volgens onderzoekers voor een deel kan komen door hormonen die een andere invloed op hun hersenen hebben - maar er is meer onderzoek nodig om te zien of dat waar is. De meeste kinderen gaan door de puberteit zonder psychische problemen, en onderzoekers kijken naar manieren om een gezonde puberteit voor nog meer kinderen mogelijk te maken.

CONCLUSIE

De puberteit is een tijd van grote veranderingen, waaronder veranderingen die soms ongemakkelijk, verwarrend of overweldigend kunnen zijn. Sommige van deze veranderingen komen voort uit de werking van hormonen op cellen in het hele lichaam, waaronder de hersenen. Hormonen kunnen het brein op de lange termijn beïnvloeden door de manier waarop het is georganiseerd direct te veranderen, of door te veranderen hoe het op bepaalde situaties reageert. Deze veranderingen kunnen belangrijk zijn voor nieuwe leermogelijkheden die tieners voorbereiden op volwassenheid, hoewel dezelfde hersenveranderingen ook andere vormen van leren lastiger maken. Scholen kunnen profiteren van deze hersenveranderingen bij hun leerlingen, bijvoorbeeld door positieve vormen van verkenning te stimuleren. Leren is meer dan rekenen en lezen - beslissingen nemen die ons helpen onszelf en anderen beter te begrijpen, is een ander belangrijk soort leren waarvoor de hersenen mogelijk bijzonder gevoelig zijn tijdens de puberteit.

DANKWOORD

Auteur TC werd ondersteund door het National Center for Advancing Translational Sciences van de National Institutes of Health onder awardnummer TL1TR002371. De inhoud is uitsluitend de verantwoordelijkheid van de auteurs en vertegenwoordigt niet noodzakelijkerwijs de officiële opvattingen van de National Institutes of Health. We willen iedereen bedanken die meegeholpen heeft met

de vertaling van de artikelen in deze Collectie om ze toegankelijker te maken voor kinderen buiten Engelstalige landen, en voor de Jacobs Foundation voor het verstrekken van de benodigde fondsen voor het vertalen van de artikelen. MB heeft dit artikel vertaald naar het Nederlands.

REFERENTIES

1. Schulz, K. M., Molenda-Figueira, H. A., and Sisk, C. L. 2009. Back to the future: the organizational-activational hypothesis adapted to puberty and adolescence. *Horm. Behav.* 55:597–604. doi: 10.1016/j.yhbeh.2009.03.010
2. Ahmed, E. I., Zehr, J. L., Schulz, K. M., Lorenz, B. H., DonCarlos, L. L., and Sisk, C. L. 2008. Pubertal hormones modulate the addition of new cells to sexually dimorphic brain regions. *Nat. Neurosci.* 11:995–7. doi: 10.1038/nn.2178
3. Fuxjager, M. J., Forbes-Lorman, R. M., Coss, D. J., Auger, C. J., Auger, A. P., and Marler, C. A. 2010. Winning territorial disputes selectively enhances androgen sensitivity in neural pathways related to motivation and social aggression. *Proc. Natl. Acad. Sci. U. S. A.* 107:12393–8. doi: 10.1073/pnas.1001394107
4. McNealy, K., Mazziotta, J. C., and Dapretto, M. 2011. Age and experience shape developmental changes in the neural basis of language-related learning. *Dev. Sci.* 14:1261–82. doi: 10.1111/j.1467-7687.2011.01075.x
5. Peters, S., and Crone, E. A. 2017. Increased striatal activity in adolescence benefits learning. *Nat. Commun.* 8:1983. doi: 10.1038/s41467-017-02174-z
6. Braams, B. R., van Duijvenvoorde, A. C. K., Peper, J. S., and Crone, E. A. 2015. Longitudinal changes in adolescent risk-taking: a comprehensive study of neural responses to rewards, pubertal development, and risk-taking behavior. *J. Neurosci.* 35:7226–38. doi: 10.1523/JNEUROSCI.4764-14.2015

GEREDIGEERD DOOR: Jessica Massonnie

WETENSCHAPPELIJKE MENTOR: Zoltan Sarnyai

CITATIE: Barendse MEA, Cheng TW en Pfeifer JH (2023) Je brein in de puberteit. *Front. Young Minds.* doi: 10.3389/frym.2020.00053-nl

VERTALING EN BEWERKING VAN: Barendse MEA, Cheng TW and Pfeifer JH (2020) Your Brain on Puberty. *Front. Young Minds* 8:53. doi: 10.3389/frym.2020.00053

BELANGENVERSTRENGELING: De auteurs verklaren dat het onderzoek is uitgevoerd zonder enige commerciële of financiële relaties die zouden kunnen worden opgevat als potentiële belangenverstrengeling.

AUTEURSRECHTEN © 2020 © 2023 Barendse, Cheng en Pfeifer. Dit is een open-access artikel verspreid onder de voorwaarden van de [Creative Commons Attribution \(CC BY\)](#). Gebruik, verspreiding of reproductie in andere fora is toegestaan, mits de oorspronkelijke auteur(s) en de auteursrechthebbende(n) worden gecrediteerd en de oorspronkelijke publicatie in dit wetenschappelijk tijdschrift wordt geciteerd, in overeenstemming met de gangbare wetenschappelijke

beoefening. Geen enkel gebruik, distributie of reproductie is toegestaan dat niet voldoet aan deze voorwaarden.

JONGE REVIEWER



BENJAMIN, LEEFTIJD: 11

Mijn favoriete vakken op school zijn wiskunde en engels, omdat ik graag nieuwe informatie leer en graag uitgedaagd word. De buitenschoolse activiteit die ik het leukst vind is waterpolo, omdat ik graag in een team werk en veel nieuwe vrienden maak. Sinds ik in Oxford een levende hersencel zag, werk ik naar mijn doel toe: dokter worden. Ik heb dit gedaan door veel artikelen te lezen en naar lezingen te luisteren, en ik hou van honden.

AUTEURS



MARJOLEIN E. A. BARENDSE

Ik ben een post-doctoraal onderzoeker in Developmental Social Neuroscience aan de universiteit van Oregon. Voordat ik in Oregon ging werken, studeerde ik in Nederland and Australië. Ik ben gefascineerd door hoe de hersenen werken en hoe de puberteit werkt, en alle dingen die de hersenontwikkeling bij kinderen en tieners beïnvloeden. In mijn vrije tijd ga ik graag rotsklimmen en reizen naar plaatsen waar ik nog nooit geweest ben. *barendse@uoregon.edu



THERESA W. CHANG

Ik studeer psychologie en neurowetenschappen in de prachtige staat Oregon. Als werk zoek ik uit hoe puberteit, stress en sociale ervaringen het tienerbrein veranderen. Vroeger was ik lerares wetenschappen op middelbare scholen, en een van de leukste onderdelen van mijn werk is met mensen over wetenschap praten. Naast mijn onderzoek, hou ik van koken, dansen en wandelen. Voor mijn wetenschapsproject in de achtste klas probeerde ik aan te tonen dat het eten in onze schoolkantine illegaal was - met andere woorden, niet voedzaam genoeg volgens de federale regels!

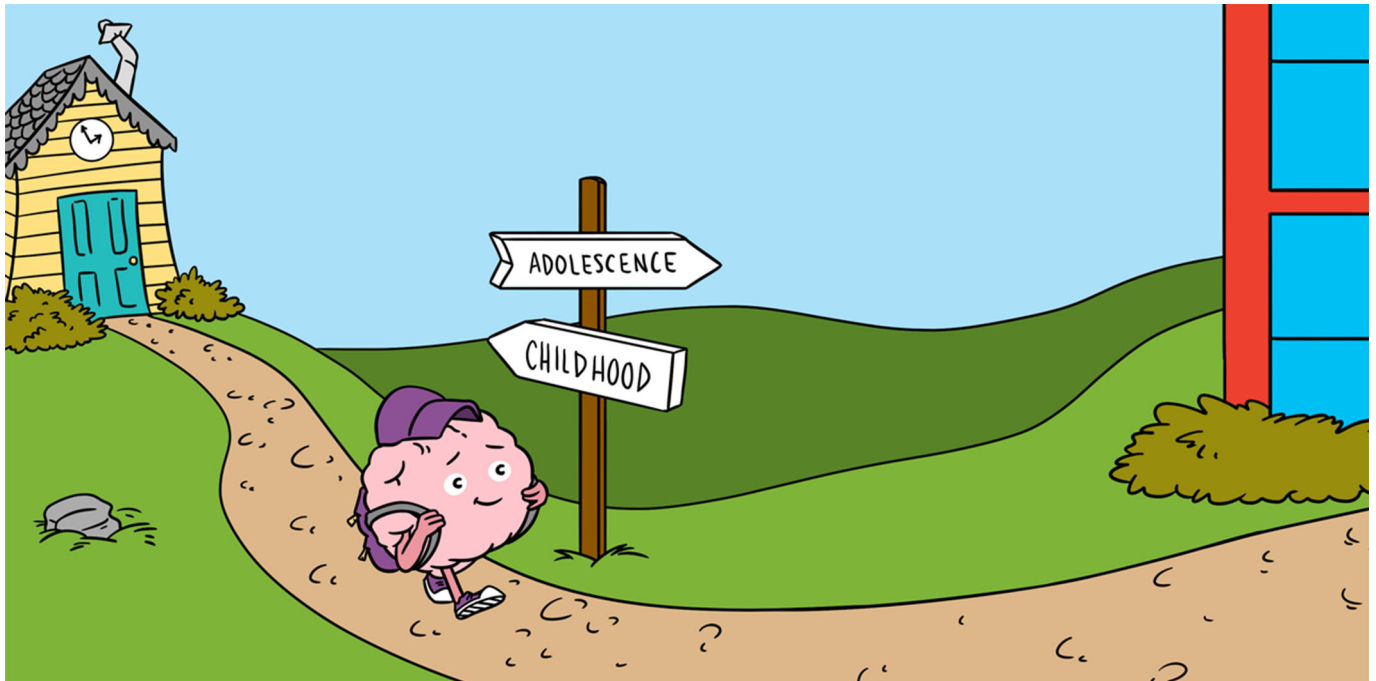


JENNIFER H. PFEIFER

Ik bestudeer hoe grote veranderingen, die adolescenten meemaken in hun hersenen, lichaam en sociale wereld, zich verhouden tot hun welzijn. Ik richt me op momenten waarop veel veranderingen tegelijk plaatsvinden, zoals wanneer je in de puberteit komt en naar de middelbare school gaat, of wanneer je de middelbare school afmaakt en gaat studeren of werken. Deze belangrijke overgangen kunnen moeilijk zijn, maar zijn geweldige kansen om jonge mensen op een positief spoor te zetten. Ik hou van piano spelen en jagen naar schatten aan de kust.

Dutch version provided by
Nederlandse versie verzorgd door

JACOBS
FOUNDATION
Our Promise to Youth



WAAROM HET PUBERBREIN ECHT GEWELDIG IS

Kathryn L. Mills^{1,2*} en Jeya Anandakumar^{1,3}

¹Developing Brains in Context Lab, Department of Psychology, Center for Translational NeuroScience, Universiteit van Oregon, Eugene, OR, Verenigde Staten

²PROMENTA Research Center, Department of Psychology, Universiteit van Oslo, Oslo, Noorwegen

³Portland State University, Portland, OR, Verenigde Staten

JONGE REVIEWERS:



ISABELLA
LEEFTIJD: 13



ALINE
LEEFTIJD: 13



MARILIA
LEEFTIJD: 13

GEWELDIG

Iets wat grote bewondering, ontzag of angst oproept.

Het brein doet er erg lang over om zich volledig te ontwikkelen. In de kindertijd zie je hele grote veranderingen, maar ook nog daarna, in de adolescentie, gebeurt er een hele hoop. We weten nu dat de adolescentie een heel bijzondere periode is voor hersenontwikkeling. De hersenen van adolescenten kunnen bijvoorbeeld beter omgaan met veranderingen dan volwassenen. En in tegenstelling tot kinderen, hebben adolescenten meer invloed op hun eigen hersenontwikkeling. Ze zijn ook heel goed in het oppikken van sociale prikkels en het verwerken van informatie. Dit artikel gaat over hersenonderzoek en hoe jongeren hun brein gebruiken om de wereld te ontdekken. We geven ook een aantal tips voor op school om te zorgen dat het puberbrein zo goed mogelijk wordt geprikkeld om te leren.

INTRODUCTIE

Het puberbrein is echt **geweldig**, en in dit artikel leggen we uit waarom dat zo is. In de adolescentie zijn er allerlei lichamelijke veranderingen,

MAGNETIC RESONANCE IMAGING

Een manier om het lichaam te scannen en foto's te maken van hoe het er van binnen uitziet, zoals het brein.

Figuur 1

(A) Een magnetic resonance imaging (MRI) machine ziet eruit als (B) een donut.

CEREBRUM

Het voorste deel van de hersenen, dat belangrijk is voor gedachten, beslissingen, emoties en persoonlijkheid.

NEURON

Een hersencel.

CORTEX

De buitenste laag van het cerebrum, wat bestaat uit gekronkelde grijze stof.

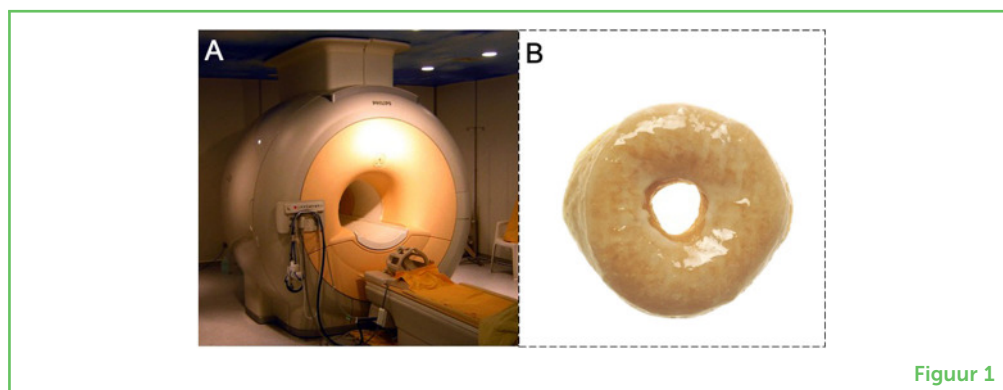
AXON

Een lang dun uitsteeksel van een neuron dat een signaal overbrengt van de ene kant van een neuron naar de andere kant.

maar ook allerlei veranderingen in de hersenen. Zelfs na de puberteit, als alle lichamelijke en hormonale veranderingen al achter de rug zijn, zie je nog steeds veranderingen in de hersenen – zelfs tot in onze twintiger jaren [1]! Deze veranderingen in het brein zie je vaak ook terug in het gedrag van jongeren. Denk hierbij bijvoorbeeld aan het verlangen om te verkennen, nieuwe relaties aan te gaan, en te navigeren in onze veranderende sociale wereld.

BREIN STRUCTUUR VERANDERT IN DE ADOLESCENTIE

Onderzoekers gebruiken een techniek die “**magnetic resonance imaging**” (MRI) heet. Die techniek gebruikt magneten en radiogolven om foto's te maken van het brein. Een MRI-scanner ziet eruit als een soort enorme donut (Figuur 1). Met MRI-scanners kunnen we kijken hoe de hersenen veranderen in structuur (hoe het eruit ziet) en organisatie (hoe alles met elkaar verbonden is) tijdens de adolescentie.



Figuur 1

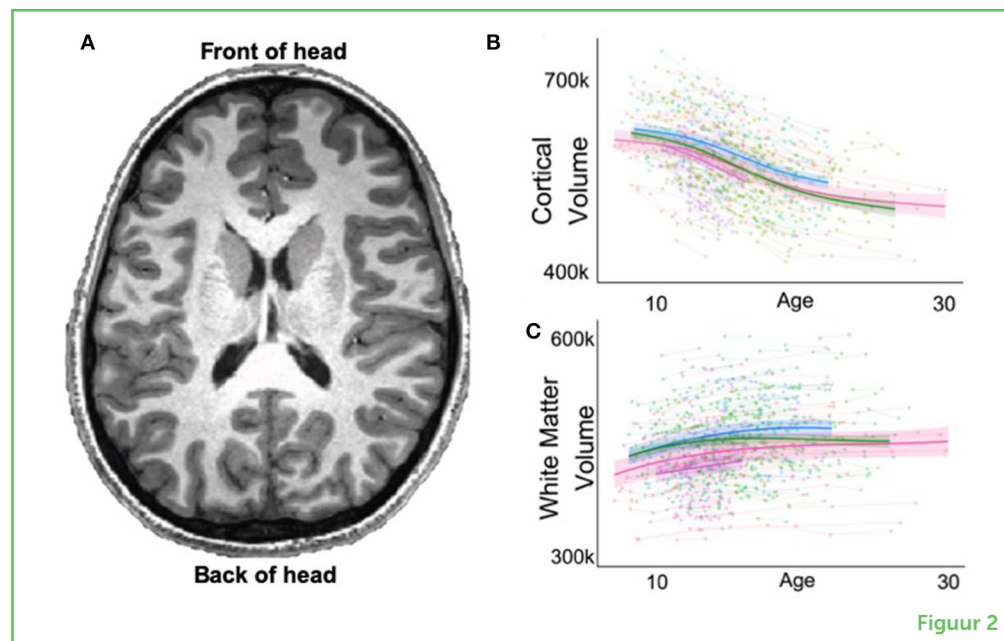
De hersenen bestaan uit veel verschillende delen. In dit artikel focussen we op het “**cerebrum**”, het grootste gedeelte van de hersenen (Figuur 2A). Het cerebrum bestaat uit twee soorten weefsel: grijze stof en witte stof. Grijze stof bestaat vooral uit hersencellen (**neuronen**) en die vind je vooral aan de buitenkant van het cerebrum (de hersenschors of **cortex**), en ook diep binnenin het cerebrum. In de grijze stof vind je dus de meeste hersencellen en samen zijn die belangrijk voor dingen als bewegen, waarnemen, beslissingen maken en zelfcontrole.

Tijdens de adolescentie heb je elk jaar minder en minder grijze stof, ongeveer 1,5% minder per jaar ([1]; Figuur 2B). Gelukkig is die afname niet slecht maar juist goed! We denken dat die afname betekent dat je hersenen steeds sneller en efficiënter worden, en je dus meer kunt doen met minder hersencellen. Ook kan die afname te maken hebben met de toename in het andere soort weefsel in je hersenen: witte stof.

Witte stof vind je onder de cortex. Het bestaat uit lange draden (**axonen**), die verbindingen maken tussen hersencellen. Zo worden

Figuur 2

(A) Een plaatje van een dwarsdoorsnede van een menselijk cerebrum, gemaakt met een MRI scan. Je kijkt naar dit plaatje alsof je vanaf de bovenkant van het hoofd naar beneden het brein in kijkt. De grijze kronkels rondom de witte gedeeltes zijn grijze stof, en die witte gedeeltes zijn de witte stof. (B) De hoeveelheid grijze stof in het cerebrum neemt af in de adolescentie. (C) De hoeveelheid witte stof in het cerebrum neemt toe in de adolescentie. In plaatje B en C is elk puntje een persoon's breinmaat, gemeten op 1 tijdstip met MRI. Als er een klein lijntje tussen 2 puntjes staat betekent dat dat het dezelfde persoon op meerdere tijdstippen gemeten is. Deze data is verzameld in vier verschillende onderzoekslabs, en de gemiddeldes van elk lab zie je in de vier dikke lijnen (figuur aangepast van Tamnes et al. [2] en Mills et al. [1]).



Figuur 2

verschillende delen van je hersenen met elkaar verbonden. In de vroege adolescentie is er een sterke toename in de hoeveelheid witte stof (Figuur 2C). Vanaf ongeveer je 15^e is de hoeveelheid witte stof stabiel. Onderzoekers denken dat de toename in witte stof samenhangt met een snellere overdracht van signalen tussen hersencellen. In Figuur 3 zie je een anatomisch plaatje van witte en grijze stof.

HOE VERANDERT DE ORGANISATIE VAN HET BREIN TIJDENS DE ADOLESCENTIE?

Onderzoekers kunnen MRI ook gebruiken om te zien hoe de hersenen zijn georganiseerd, oftewel hoe verschillende delen van de hersenen met elkaar verbonden zijn. Omdat de hersenen tijdens de adolescentie zo sterk veranderen, kan de organisatie ervan worden beïnvloed door wat we doen, onze ervaringen, en de omgeving waarin we leven. De hersenen zijn een groot netwerk - verschillende hersengebieden communiceren met elkaar wanneer iemand verschillende functies of gedragingen uitvoert, zoals denken aan andere mensen of zich verplaatsen in de wereld. Deze communicatiepatronen in de hersenen kunnen worden bestudeerd met een iets andere techniek, die functionele MRI (fMRI) wordt genoemd. Bij deze techniek wordt de hoeveelheid zuurstof in het bloed dat door de hersenen stroomt onderzocht als maat voor de hersenactiviteit. Wanneer verschillende delen van de hersenen dezelfde patronen vertonen, wordt er gezegd dat deze functioneel met elkaar verbonden zijn.

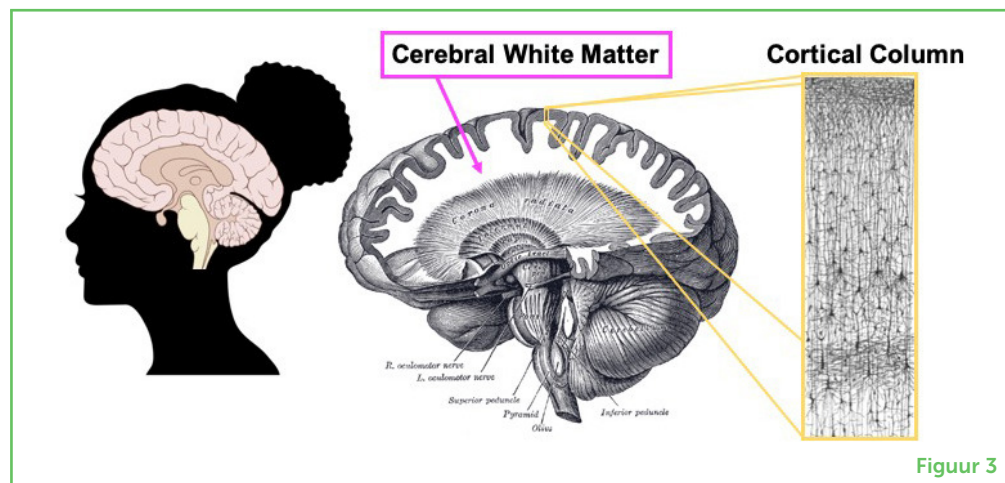
Typisch gedrag dat we tijdens de adolescentie zien, zoals denken aan anderen en beslissingen nemen, is in verband gebracht met bepaalde

Figuur 3

Het silhouet van een meisje met een plaatje van de hersenen eroverheen. Hier kijk je naar de hersenen vanuit een andere doorsnede, alsof je van opzij kijkt. In het middelste plaatje zie je een dwarsdoorsnede van de hersenen, met de witte stof onder de cortex (grijze stof). De witte stof bestaat uit verschillende wittestof-banen. In dit plaatje zie je een bepaalde wittestof-baan, de corona radiata. In het gele vierkant zie je een plaatje van een corticale kolom. In dat plaatje zie je hoe neurons georganiseerd zijn in de cortex. Maar er zit nog veel meer in de grijze stof wat je niet op dat plaatje ziet, zoals glia-cellen en bloedvaten. Deze plaatjes komen uit twee databases voor gratis plaatjes: Wikimedia Commons en Pixabay.

TEMPORAL DISCOUNTING

Iemands voorkeur voor of ze liever snel een kleine beloning willen of dat ze liever willen wachten voor een grotere beloning later.



Figuur 3

patronen van hersenactiviteit tussen functioneel verbonden gebieden. Niet iedereen heeft dezelfde hersenorganisatie, en dus vertoont ook niet elke puber typisch puberaal gedrag. Deze verschillen in patronen van de hersenactiviteit kunnen verband houden met verschillen in het gedrag.

Ook in het gedrag zie je veranderingen in de adolescentie. Een voorbeeld daarvan is **"temporal discounting"**. Dat gaat over hoe lang je bereid bent om te wachten op een beloning. Bijvoorbeeld of je liever nu een kleine beloning wilt, of langer wilt wachten om uiteindelijk een grotere beloning te krijgen. In ons eigen onderzoek hebben wij gekeken hoe deze voorkeur verandert tijdens de adolescentie. We hebben ontdekt dat de jongeren die bereid waren langer op een beloning te wachten, andere verbindingen hadden tussen bepaalde hersengebieden. Dit waren hersengebieden die belangrijk zijn voor zelfcontrole en voor het bepalen hoeveel een beloning waard is voor jou [3]. Hoewel er misschien een vooroordeel is dat adolescenten niet het geduld hebben om op een grotere beloning te wachten, bleek uit ons onderzoek juist dat er vooral heel veel verschillen tussen jongeren onderling zijn. Die onderlinge verschillen blijken weer samen te hangen met hersenverbindingen.

Uit hersenonderzoek weten we dus dat er veel dingen veranderen in het brein tijdens de adolescentie. Omdat er zoveel veranderingen gaande zijn, kunnen de ervaringen die jongeren hebben daar ook veel invloed op hebben. Door bepaalde dingen vaker te doen, maak je bepaalde verbindingen tussen hersencellen sterker. Daardoor kun je heel snel, heel veel leren gedurende de adolescentie. Daarom zie je vaak ook enorme sprongen in de ontwikkeling op school en op sociaal en emotioneel gebied.

WAAROM HET VERANDERENDE PUBERBREIN UNIEKE KANSEN BIEDT

De veranderingen die we in de hersenen zien zijn een stuk groter tijdens de adolescentie vergeleken met de volwassenheid, maar kleiner dan in de kindertijd. Maar in de adolescentie hebben we wel meer mogelijkheden dan kinderen om zelf onze eigen hersenontwikkeling te sturen. Dit komt doordat we onszelf en de wereld beter begrijpen, we meer betrokken en gemotiveerd zijn én we meer zelf keuzes kunnen en mogen maken. Daarom is het puberbrein zo bijzonder.

Een paar voorbeelden van dingen die je steeds beter kunt als adolescent: abstract nadenken, een probleem van meerdere kanten bekijken, en nadenken over hoe je denkt. Sommige onderzoeken laten zien dat jongeren zelfs beter zijn dan volwassenen en kinderen in het ontdekken van nieuwe en creatieve manieren om problemen op te lossen [4]. De vaardigheden die het puberbrein heeft kunnen daarnaast nog verder ontwikkeld worden voor een optimale hersengroei. Daarvoor kan het helpen om adolescenten zelf keuzes te laten maken. Bijvoorbeeld, als je jongeren hun eigen doelen laat stellen, verhoogt dat de hersenactiviteit voor zelfkennis en het nadenken over de lange termijn. Adolescenten zijn verder vaak veel bezig met wat anderen over hun denken. Deze “sociale gevoeligheid” werd vroeger vaak als iets negatiefs gezien (denk bijvoorbeeld aan groepsdruk). Maar sociale gevoeligheid kan ook positief uitpakken in een gezonde sociale omgeving [5]. Wat daarmee te maken heeft is dat adolescenten zich vaak steeds meer bezig gaan houden met de grotere gebeurtenissen in de wereld [6]. Volwassenen hebben vaak meer invloed op wat er gebeurt in de wereld dan jongeren, dus eigenlijk zouden volwassenen ervoor moeten zorgen dat ook jongeren genoeg kansen krijgen voor positieve hersenontwikkeling.

WAT KUNNEN JOUW LERAREN DOEN OM DE LEEROMGEVING TE LATEN AANSLUITEN BIJ HET PUBERBREIN?

Omdat de hersenen zo gevoelig zijn en snel leren in de adolescentie, is het belangrijk dat leraren en ouders ervoor zorgen dat jouw brein zo goed mogelijk kan groeien en leren. Eén ding waar je aan kan denken is school: als je de schoolomgeving zo inricht dat het goed past bij wat jongeren nodig hebben, is dat een van de beste manieren om jongeren te helpen. Onderzoekers weten nu dat adolescenten (vergeleken met jongere kinderen) beter zijn in het begrijpen van moeilijke onderwerpen. Als adolescenten beter begrijpen wat er in hun eigen brein gebeurt, kan dat een positieve invloed hebben op hun ontwikkeling. Het kan bijvoorbeeld een goed idee zijn om het op school te hebben over onderwerpen zoals beslissingen nemen en plannen, maar ook onderwerpen als ruzies met anderen oplossen en

drugsverslaving. Hieronder zijn nog een aantal andere tips om school beter op het puberende brein te laten aansluiten. Misschien wil je die wel delen met je leraren?

MAAK LEREN INTERACTIEF EN AFWISSELEND

Adolescenten zijn ontzettend sociaal en gericht op anderen. In plaats van dit te negeren, kunnen leraren dit ook gebruiken tijdens het leren. Groepsdiscussies of samenwerken kunnen helpen om motivatie te verhogen. Het kan ook helpen als adolescenten input en feedback mogen geven over de lessen. Dan voelen ze zich meer betrokken en zijn ze meer geïnteresseerd in de inhoud. Ook het samenwerken met scholieren uit hogere of lagere klassen kan bijdragen aan nieuwe vaardigheden, doordat jongeren van verschillende leeftijden allemaal weer andere dingen kunnen bijdragen aan een groepsdiscussie of project.

DE KLASINDELING VERANDEREN

Denk eens even aan hoe jouw klaslokalen eruit zien. Hoe staan de tafels en stoelen? Staan die in rechte lijnen, of juist in kleine groepjes? De rijen die je ziet in veel klaslokalen voelen vaak niet zo sociaal omdat je alleen naar de ruggen van je medeleerlingen kijkt. Het kan een goed idee zijn om de indeling te veranderen zodat je meer wordt uitgenodigd om samen te werken en samen te leren. Vraag bijvoorbeeld eens aan een leraar of die ervoor open staat om een keer een andere indeling te proberen. Dit kan helpen om de hoge sociale motivatie van adolescenten te gebruiken, maar kan ook helpen bij leerlingen die sociale angst hebben. In een groepsopstelling is het vaak makkelijker om klasgenoten aan te spreken.

MOEDIG ZELFSTANDIGHEID AAN

Leraren kunnen scholieren aanmoedigen om zelfstandig te werken door scholieren het voortouw te laten nemen. Laat jongeren bijvoorbeeld meedenken over een deel van de inhoud van de les, of laat ze meedenken over de uitwerking van een bepaalde opdracht. Als scholieren (deels) zelf mogen kiezen wat ze leren, zijn ze veel meer gemotiveerd om hun best te doen. Door het zelf stellen van doelen en het samen bepalen van richtlijnen oefenen jongeren bovendien ook met nieuwe uitdagingen en moeilijke samenwerkingen.

ZOEK DE VERBINDING MET DE SAMENLEVING

Op school is de omgeving vaak best gestructureerd en saai. Scholieren zouden meer moeten worden uitgedaagd om de wereld buiten school

te verkennen. Het is goed voor de motivatie als je regelmatig uitstapjes maakt en ziet hoe wat je leert op school in de echte wereld werkt. Zo zie je direct hoe de kennis die je op school leert kan worden toegepast in de samenleving. Dit sluit ook goed aan bij de interesse die de meeste jongeren sowieso al krijgen in de gebeurtenissen in de wereld.

WAT BETEKENT DIT VOOR JOU?

De adolescentie is een periode van snelle groei, ontwikkeling en leren. Dit geeft adolescenten de unieke mogelijkheid om zelf betrokken te zijn bij de ontwikkeling van hun eigen brein. Door bepaalde dingen vaker te doen, maak je patronen van hersenactiviteit sterker. Eén van de manieren om je bezig te houden met je eigen ontwikkeling is door te leren over wat er nu allemaal gebeurt in je eigen brein. Geweldig, toch?

AUTEURSBIJDRAGE

KM heeft de structuur van het artikel bedacht. KM en JA hebben het geschreven.

DANKWOORD

We willen graag de reviewers en editors bedanken voor hun nuttige commentaar en suggesties. KM wil graag Celilo Mitchell en Jerome Mitchell bedanken voor de inspiratie. We willen iedereen bedanken die meegewerkt heeft met de vertaling van de artikelen in deze Collectie om ze toegankelijker te maken voor kinderen buiten Engelstalige landen, en voor de Jacobs Foundation voor het verstrekken van de benodigde fondsen voor het vertalen van de artikelen. Voor dit artikel willen wij in het bijzonder Nienke van Atteveldt en Sabine Peters bedanken voor de Nederlandse vertaling.

REFERENTIES

1. Mills, K. L., Goddings, A. L., Herting, M. M., Meuwese, R., Blakemore, S. J., Crone, E. A., et al. 2016. Structural brain development between childhood and adulthood: convergence across four longitudinal samples. *Neuroimage* 141:273–81. doi: 10.1016/j.neuroimage.2016.07.044
2. Tamnes, C. K., Herting, M. M., Goddings, A. L., Meuwese, R., Blakemore, S. J., Dahl, R. E., et al. 2017. Development of the cerebral cortex across adolescence: a multisample study of inter-related longitudinal changes in cortical volume, surface area, and thickness. *J. Neurosci.* 37, 3402–12.
3. Anandakumar, J., Mills, K. L., Earl, E. A., Irwin, L., Miranda-Dominguez, O., Demeter, D. V., et al. 2018. Individual differences in functional brain connectivity

- predict temporal discounting preference in the transition to adolescence. *Dev. Cogn. Neurosci.* 34:101–13. doi: 10.1016/j.dcn.2018.07.003
4. Stevenson, C. E., Kleibeuker, S. W., de Dreu, C. K. W., and Crone, E. A. 2014. Training creative cognition: adolescence as a flexible period for improving creativity. *Front. Hum. Neurosci.* 8:827. doi: 10.3389/fnhum.2014.00827
 5. Telzer, E. H. 2016. Dopaminergic reward sensitivity can promote adolescent health: a new perspective on the mechanism of ventral striatum activation. *Dev. Cogn. Neurosci.* 17:57–67. doi: 10.1016/j.dcn.2015.10.010
 6. Sherrod, L. 2007. "Civic engagement as an expression of positive youth development," in *Approaches to Positive Youth Development*, eds R. K. Silbereisen and R. M. Lerner (London: SAGE Publications Ltd), 59–74. doi: 10.4135/9781446213803

GEREDIGEERD DOOR: Sabine Peters

WETENSCHAPPELIJKE MENTORS: Aikaterini Dounavi en Carmen E. Flores Nakandakare

CITATIE: Mills KL en Anandakumar J (2023) Waarom het puberbrein echt geweldig is. *Front. Young Minds.* doi: 10.3389/frym.2020.00075-nl

VERTALING EN BEWERKING VAN: Mills KL and Anandakumar J (2020) The Adolescent Brain Is Literally Awesome. *Front. Young Minds* 8:75. doi: 10.3389/frym.2020.00075

BELANGENVERSTRENGELING: De auteurs verklaren dat het onderzoek is uitgevoerd zonder enige commerciële of financiële relaties die zouden kunnen worden opgevat als potentiële belangenverstrengeling.

AUTEURSRECHTEN © 2020 © 2023 Mills en Anandakumar. Dit is een open-access artikel verspreid onder de voorwaarden van de [Creative Commons Attribution \(CC BY\)](#). Gebruik, verspreiding of reproductie in andere fora is toegestaan, mits de oorspronkelijke auteur(s) en de auteursrechthebbende(n) worden gecrediteerd en de oorspronkelijke publicatie in dit wetenschappelijk tijdschrift wordt geciteerd, in overeenstemming met de gangbare wetenschappelijke beoefening. Geen enkel gebruik, distributie of reproductie is toegestaan dat niet voldoet aan deze voorwaarden.

JONGE REVIEWERS

ISABELLA, LEEFTIJD: 13

Mijn naam is Isabella en ik ben 13 jaar oud. Ik ben geboren in New York en woon nu in Zwitserland. Ik hou van kunst, boeken lezen, zingen, dansen en piano spelen. Mijn lievelingssport is zwemmen. Ik ben ook geïnteresseerd in wiskunde, natuur en wetenschap, vooral alles over de ruimte, tijd en materie. Later wil ik graag ruimtevaart ingenieur worden of architect. Ik leer graag meer over de wereld om ons heen.



**ALINE, LEEFTIJD: 13**

Ik ben Aline, ik ben 13 jaar oud. Mijn favoriete hobby's zijn theater, klarinet spelen, tekenen en lezen. Ik ben geïnteresseerd in Griekse mythologie; mijn lievelingsboeken zijn de Harry Potter en Percy Jackson series. Op school vind ik de vakken wiskunde en wetenschap leuk.

MARILIA, LEEFTIJD: 13

Hallo! Mijn naam is Marilia. Ik ben 13 jaar oud en ik houd van schaatsen, ritmische gymnastiek en voetbal. Ik heb ook een kleine hond waar ik helemaal gek op ben! Later wil ik ooit nog een keer naar Australië reizen en koala's zien. Ik ben graag met mijn vrienden, om te zwemmen of samen een film te kijken.

AUTEURS**KATHRYN L. MILLS**

Kate Mills is een Assistant Professor aan de afdeling Psychologie van de Universiteit van Oregon, Verenigde Staten. Ze onderzoekt hoe de hersenen veranderen van de kindertijd tot de volwassenheid, en hoe we strategieën aanleren om ons aan te passen aan onze omgeving. In haar vrije tijd ontdekt ze graag samen met haar familie de omgeving rondom hun woonplaats Eugene in Oregon.

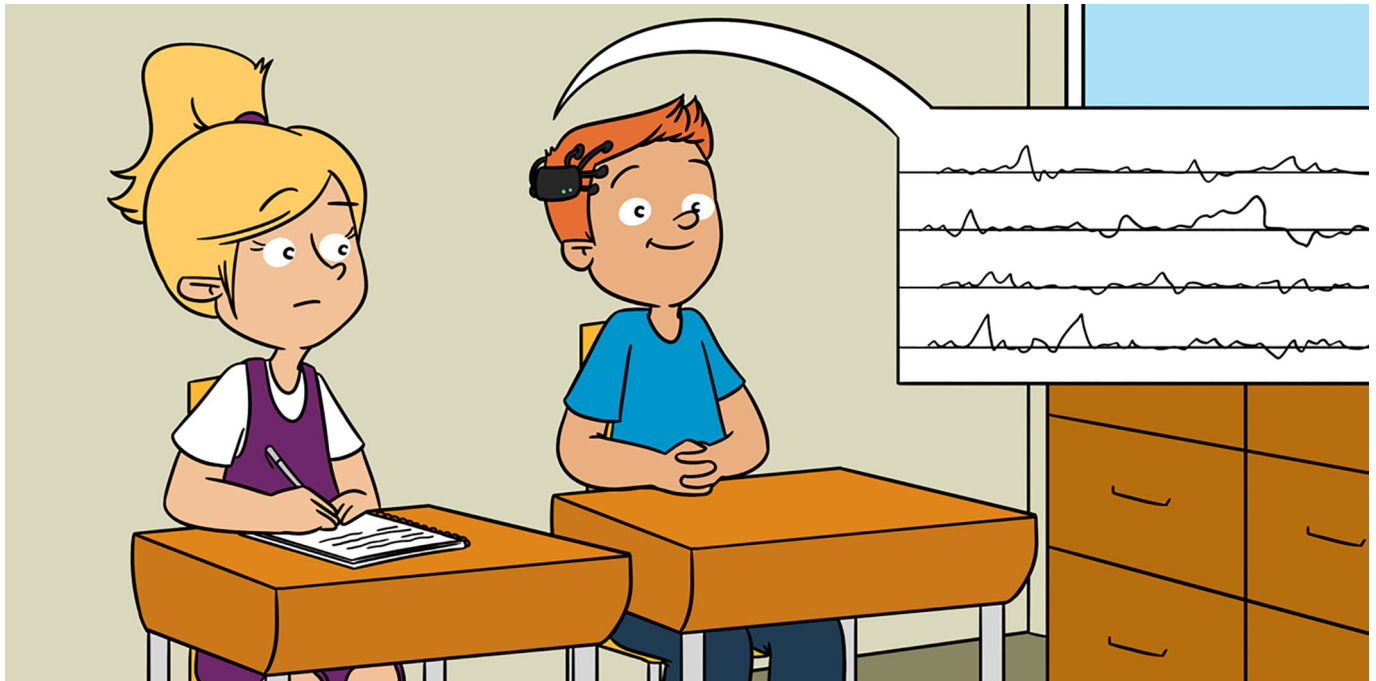
*klmills@uoregon.edu

JEYA ANANDAKUMAR

Jeya Anandakumar is een student aan de Portland State University in Portland, Oregon (Verenigde Staten). Ze doet een major in biologie en een minor in scheikunde met een focus op neurowetenschap. Qua onderzoek is ze geïnteresseerd in hoe de hersenen zich ontwikkelen en bestudeert de neurogenetica. Ze is zelf vroeger ook een jonge reviewer geweest voor Frontiers for Young Minds. In haar vrije tijd speelt ze graag blokfluit en volgt ze danslessen.

Dutch version provided by
Nederlandse versie verzorgd door

JACOBS
FOUNDATION
Our Promise to Youth



HET METEN VAN HERSENGOLVEN IN DE KLAS

Nienke van Atteveldt^{1*}, Tieme W. P. Janssen¹ en Ido Davidesco²

¹Faculteit Gedrags- en Bewegingswetenschappen, Sectie Klinische Ontwikkelingspsychologie en Instituut Learn!, Vrije Universiteit Amsterdam, Amsterdam, Nederland

²Afdeling Onderwijspsychologie, Universiteit van Connecticut, Storrs, CT, Verenigde Staten

JONGE REVIEWERS:

THE
SCHOOL
FOR
SCIENCE
AND MATH
AT
VANDERBILT
LEEFTIJD: 14–15



HERSENGOLVEN

Cycli van elektrische stroompjes opgewekt door groepen neuronen die tegelijkertijd actief zijn.

Vroeger bestudeerden hersenonderzoekers de werking van de hersenen alleen in speciale laboratoria in universiteiten of ziekenhuizen. Sinds kort gebruiken onderzoekers ook draagbare apparaten die mensen buiten het laboratorium op hun hoofd kunnen dragen. Met zulke apparaten kunnen onderzoekers bijvoorbeeld de hersenactiviteit meten van leerlingen in klaslokalen, tijdens een normale schooldag. Dit klinkt futuristisch, en misschien ook een beetje eng. In dit artikel zullen we uitleggen wat dergelijke apparaten wel en niet meten—ze kunnen bijvoorbeeld niet je gedachten lezen! We zullen ook uitleggen hoe dit soort onderzoek nuttig kan zijn voor jou en je klasgenoten.

Heb je wel eens gehoord van hersengolven, en je misschien afgevraagd wat dat eigenlijk zijn? In dit artikel leggen we uit wat **hersengolven** zijn, hoe ze gemeten kunnen worden in het lab en in de klas, en waarom het interessant is om ze te meten.

NEURONEN

De cellen in je hersenen die met elkaar communiceren door het uitzenden van elektrische signalen.

EEG

Elektro-encefalografie, een techniek waarbij kleine detectoren, elektroden genaamd, op de hoofdhuid van een persoon worden geplaatst met behulp van een kapje of een koptelefoon. EEG meet de elektrische activiteit van groepen neuronen die gelijkaardige elektrische signalen uitzenden op hetzelfde ogenblik.

ELEKTRODE

Een detector die op de hoofdhuid wordt geplaatst en bij EEG wordt gebruikt om de elektrische stroompjes te registreren die door neuronen in de hersenen worden opgewekt.

FREQUENTIE

Snelheid van een hersengolf; aantal keren dat een hersengolf op en neer gaat in 1 seconde. De eenheid van frequentie is Hertz (Hz); 1 Hz betekent één cyclus per seconde.

FREQUENTIEBAND

Een bereik van hersengolf frequenties dat wordt geassocieerd met een bepaalde mentale toestand. Bijvoorbeeld, frequenties in het bereik van 1-4 Hz worden de delta-band genoemd, die wordt geassocieerd met diepe slaap.

EEG: HET METEN VAN ELEKTRISCHE ACTIVITEIT IN DE HERSENEN

De cellen in je hersenen worden **neuronen** genoemd, en je hersenen hebben er ongeveer 86 miljard van. Deze neuronen praten graag met elkaar, net als leerlingen in een klaslokaal. Maar in plaats van woorden, gebruiken neuronen kleine elektrische signalen om te communiceren. Deze signalen gaan op en neer in sterkte, en lijken daarom op golven: dit zijn je hersengolven. We kunnen deze hersengolven meten met een techniek die bekend staat als elektro-encefalografie (**EEG**), waarbij kleine detectoren, **elektroden** genaamd, op het hoofd van een persoon worden geplaatst [1]. Gewoonlijk worden al deze elektroden (tot 256!) op hun plaats gehouden door een soort muts, maar sinds kort zijn er ook draagbare EEG-apparaten met minder elektroden, in headsets die er veel hipper uitzien. EEG kan de elektrische activiteit van afzonderlijke hersencellen niet meten, omdat de elektrische stroompjes die één neuron opwekt te klein zijn. Deze stroompjes kunnen alleen worden gemeten als vele neuronen tegelijkertijd soortgelijke elektrische signalen uitzenden. Stel je een muziekfestival voor met duizenden mensen. Wanneer slechts één persoon klappt, zal de band op het podium het niet horen, maar wel als het hele publiek tegelijk klappt.

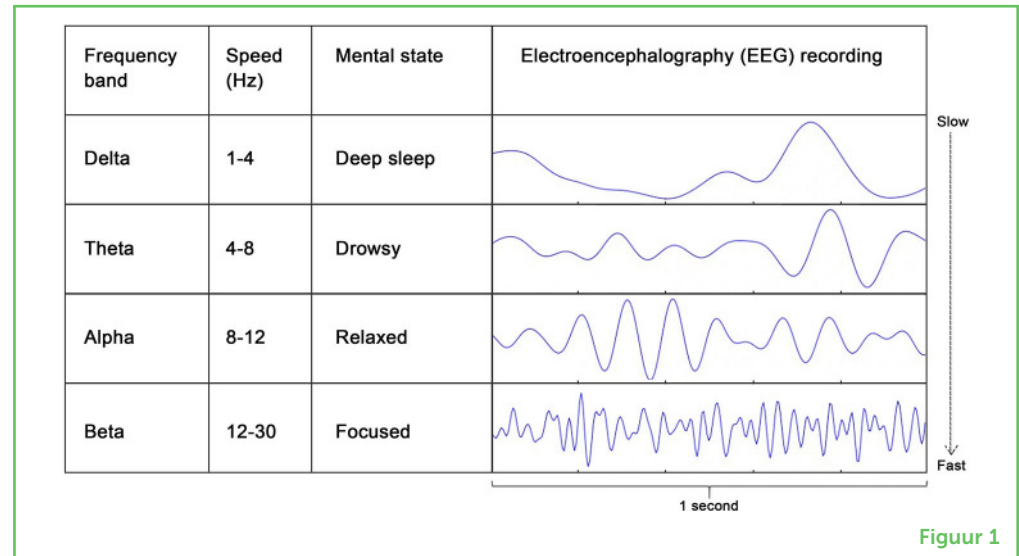
HERSENGOLVEN: LANGZAAM EN SNEL

Hersengolven verschillen in snelheid. Je kunt langzame hersengolven zien als grote golven in de oceaan, die een schip op en neer bewegen, en snelle hersengolven als kleine rimpelingen op het wateroppervlak. Wanneer we EEG gebruiken, krijgen we een mengsel van snelle en trage hersengolven die op hetzelfde moment op en neer gaan.

Waarom is dit interessant? Stel jezelf eens voor als je op een schooldag aan je ontbijt zit. Je bent nog niet helemaal wakker en zelfs nog een beetje dromerig. Als we op dat moment je hersengolven zouden meten met EEG, zouden we vooral hele langzame hersengolven zien. Stel je nu voor dat je op school een toets maakt en je daarop heel erg concentreert. In deze situatie zouden we veel snellere hersengolven meten. Deze voorbeelden laten zien dat de snelheid van de hersengolven samenhangt met wat je aan het doen bent, dit noemen onderzoekers je mentale toestand. De snelheid van de hersengolven wordt de **frequentie** genoemd. Met behulp van EEG kunnen we verschillende soorten frequenties vinden; de **frequentiebanden**. De delta-band komt bijvoorbeeld overeen met relatief trage hersengolven die 1 tot 4 keer per seconde op en neer gaan, of 1-4 Hertz (Hz), de eenheid van frequentie. **Figuur 1** toont een overzicht van de frequentiebanden en hoe ze overeenkomen met je mentale toestand.

Figuur 1

EEG-frequentiebanden van traag tot snel en hoe ze verband houden met de mentale toestand. Trage frequentiebanden komen voor als je slaapt of moe bent. Snelle frequentiebanden komen voor als je erg geconcentreerd bent. De frequentie van hersengolven wordt gemeten in Hertz (Hz), dat is het aantal golven per seconde.



VERDER DAN LANGZAAM EN SNEL: EVENT-RELATED POTENTIALS

Hoewel EEG-frequentiebanden erg interessant zijn, kunnen niet alle vragen ermee worden beantwoord. Bijvoorbeeld, hoe begrijpen de hersenen de woorden als je een boek leest? En hoe zorgen ze ervoor dat je je impulsen in bedwang houdt, zodat je je jongere zusje niet slaat als ze je irriteert?

Voor dit soort vragen bekijken onderzoekers de hersengolven op een andere manier: door de *event-related potential*, of **ERP**, te berekenen. ERP's zijn de elektrische stroompjes die worden opgewekt door specifieke gebeurtenissen, zoals het lezen van een woord of het inhouden van een impuls. In de ERP-methode worden de delen van het EEG-signaal die door deze specifieke gebeurtenissen worden opgewekt, onderzocht. Om deze methode te gebruiken, wordt het EEG opgenomen terwijl de deelnemer een taakje op een computer uitvoert die speciaal is ontworpen om een bepaalde functie van de hersenen te onderzoeken, bijvoorbeeld je impulsen in bedwang houden, ook wel impulscontrole genoemd.

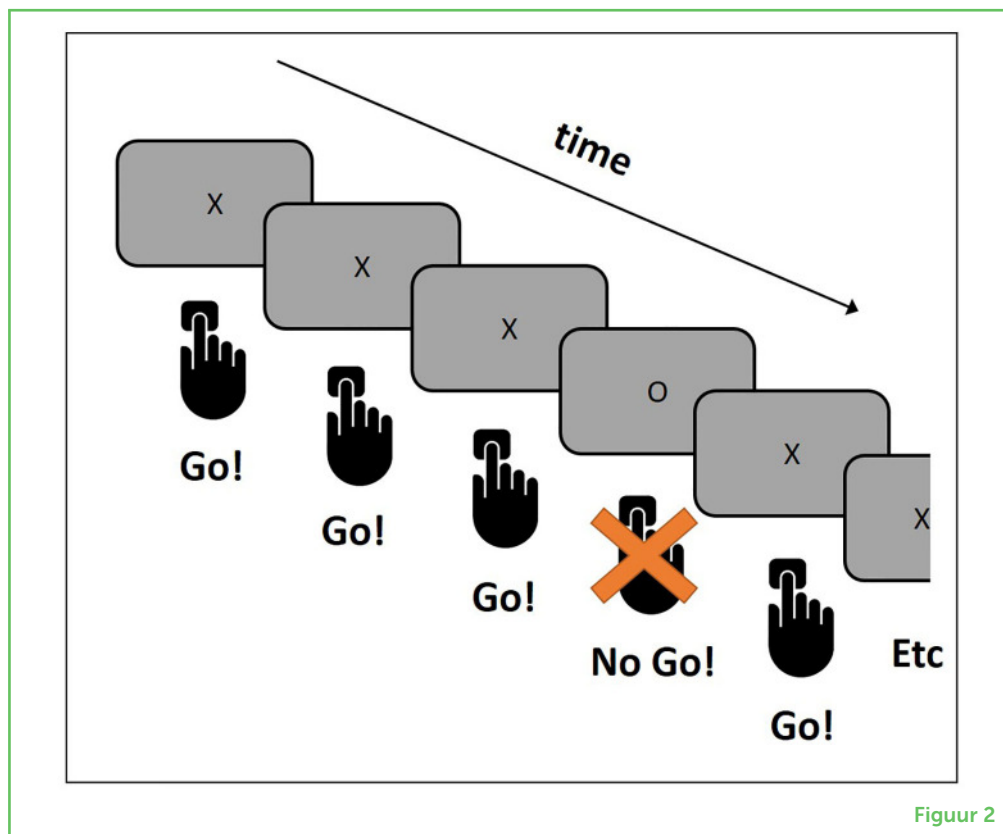
Hier volgt een beschrijving van zo'n taak, een zogenaamde "Go/No-Go"-taak (Figuur 2). Verschillende letters verschijnen één voor één op het computerscherm. Een "X" betekent "druk op de knop" (Go), en een "O" betekent "druk NIET op de knop" (No Go). De "X" in deze taak komt veel vaker op het scherm dan de "O", zodat deelnemers zich automatisch voorbereiden om te drukken wanneer er een letter op het scherm verschijnt—óók als er een "O" komt. Deelnemers moeten hun impuls om op de knop te drukken in het geval van een "O" dus inhouden, en dat is best moeilijk! Na afloop van de taak bekijken de onderzoekers het EEG dat is opgenomen tijdens de X-en en O's op het scherm. Kan je raden in welke letter ze het meest geïnteresseerd zijn?

ERP

Event-related potential, gemeten met EEG. ERP's zijn de elektrische reacties van de hersenen op specifieke gebeurtenissen, zoals het horen van een geluid of het lezen van een woord. Bij de ERP-methode voeren de deelnemers een gecomputeriseerde taak uit waarbij de specifieke gebeurtenis van belang vaak wordt herhaald. De delen van het EEG-signaal die door deze gebeurtenissen worden veroorzaakt, worden samen gemiddeld. Deze middeling zorgt ervoor dat willekeurige hersenactiviteit wordt uitgemiddeld en dat het relevante deel van het EEG overblijft; dit is de ERP.

Figuur 2

De Go/No-Go taak. De letters X en O verschijnen één voor één op het scherm. De deelnemers wordt gevraagd zo snel mogelijk op de knop te drukken als ze een X zien, en NIET op de knop te drukken als ze een O zien. De X verschijnt heel vaak en de O slechts af en toe. Dit maakt het moeilijk om de impuls om op de knop te drukken als er een O op het scherm verschijnt, af te remmen.



Onderzoekers zijn het meest geïnteresseerd in het EEG-sigitaal opgewekt door de "O's", omdat dit het moment is waarop de deelnemer de impuls moet inhouden om op de knop te drukken. Om te onderzoeken hoe de hersenen reageren als er een "O" verschijnt, en er dus een impuls tegengehouden moet worden, isoleert de onderzoeker de EEG-signalen na elke presentatie van een "O" en neemt het gemiddelde van al deze stukjes signaal. Dit gemiddelde EEG-sigitaal na de "O's" is de ERP, en deze laat het hersenproces zien van het inhouden van een impuls. Je kunt het berekenen van de ERP zien als een soort zeef, waarbij stukjes van het EEG-sigitaal die niet van belang zijn, eruit worden gefilterd, zodat alleen de signalen overblijven waarin onderzoekers het meest geïnteresseerd zijn.

DE BEPERKINGEN VAN LABORATORIUMEXPERIMENTEN

Wetenschappers hebben veel geleerd over de werking van de hersenen door EEG en ERP-experimenten in laboratoria uit te voeren. Wanneer we dat soort experimenten doen, meten we meestal de hersenactiviteit terwijl iemand een computertaak uitvoert. Dergelijke taken zijn ontworpen om een bepaalde hersenfunctie te meten, bijvoorbeeld het lezen van woorden, rekenen, of het inhouden van impulsen. Maar meestal is zo'n computertaak heel anders dan de dingen die we in ons dagelijks leven doen.

Denk bijvoorbeeld aan de taak met de “X-en” en “O’s” die gebruikt wordt om impulscontrole te onderzoeken. Is het inhouden om op de knop drukken tijdens de taak hetzelfde als het inhouden van je impuls om rond te gaan lopen in de klas, of met een klasgenoot te praten terwijl je leraar instructies geeft? In het EEG-lab zit je alleen, in een stille kamer, en doe je een taak zoals knoppen indrukken waarbij je af en toe probeert géén knop in te drukken. Dit laboratoriumexperiment kan ons inzicht geven in hoe de hersenen impulsen onder controle houden tijdens zo’n computertaakje, maar wat zegt dit precies over hoe kinderen op school met hun impulsen omgaan? Dit is een belangrijke beperking van laboratoriumexperimenten: ze meten hersenactiviteit in nogal onnatuurlijke situaties [2].

GEbruik van draagbare EEG in de klas

Een ander aspect van menselijk gedrag dat moeilijk in een laboratorium kan worden onderzocht, is sociaal gedrag, zoals hoe kinderen met elkaar omgaan op school. Laboratoriumexperimenten zijn hier niet zo geschikt voor, omdat deelnemers dan meestal onderzocht worden terwijl ze alleen, in een onnatuurlijk ruimte, een taakje uitvoeren. Maar door recente ontwikkelingen in draagbare EEG kunnen wetenschappers nu ook hersenonderzoek doen buiten het laboratorium.

Dit is precies wat een team onderzoekers van de New York University onlangs heeft gedaan [3]. Zij werkten samen met een plaatselijke middelbare school en gebruikten draagbare EEG-apparaten om de hersenactiviteit van een leraar en een groep leerlingen tijdens 11 biologielessen te meten (Figuur 3A). In elke les namen de leerlingen deel aan verschillende activiteiten, zoals uitleg door de leraar, instructievideo’s en groepsdiscussies. De onderzoekers vonden dat tijdens deze klassikale activiteiten, de hersengolven van de leerlingen tegelijk op en neer gingen, dat heet ook wel “**synchroon** lopen”. Wat misschien nog wel interessanter was, was dat hersengolven van leerlingen die zich meer betrokken voelden bij de les, nog meer synchroon liepen met die van hun klasgenoten (Figuur 3B).

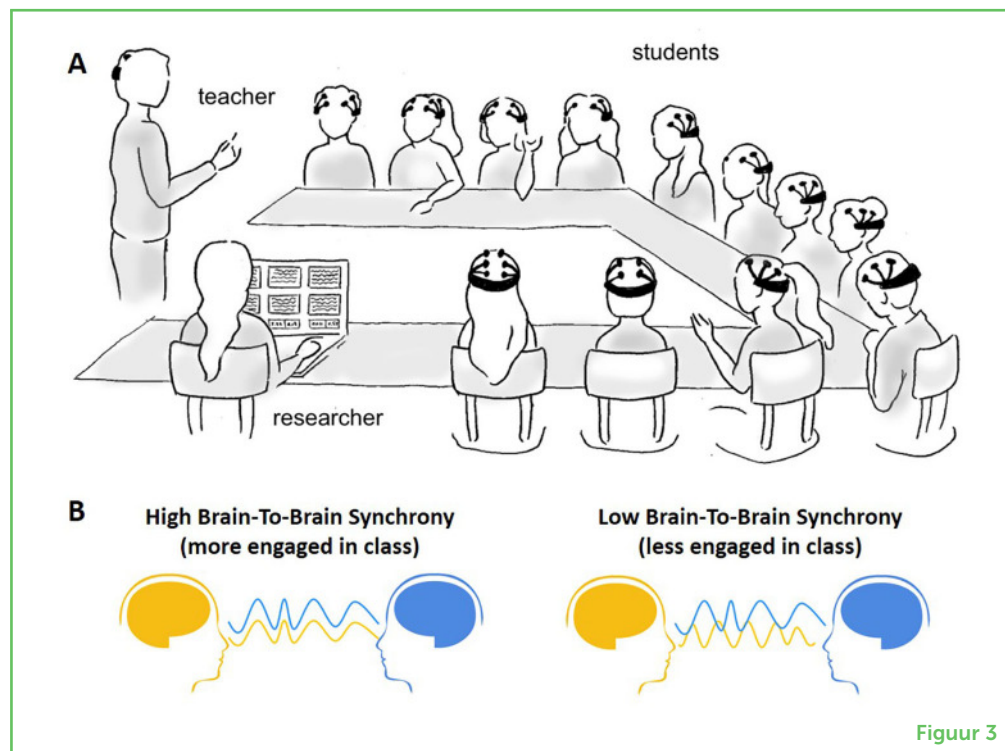
Draagbare EEG-apparaten kunnen niet alleen voor onderzoek, maar ook voor onderwijs worden gebruikt. In “BrainWaves”, een programma dat werd ontwikkeld aan de New York University voor middelbare scholen, gebruiken leerlingen EEG om te leren over hun eigen hersenen en over hoe neurowetenschappelijk onderzoek werkt. Leerlingen werken samen met een wetenschapper om hun eigen onderzoeksprojecten uit te voeren. Ze kunnen bijvoorbeeld EEG gebruiken om te onderzoeken hoe de hersenen reageren op beelden van bekende en onbekende gezichten, of onderzoeken of je je beter kunt concentreren door het luisteren naar muziek.

SYNCHROON

Wanneer hersengolven samen op en neer gaan. Dit kan zowel binnen één brein zijn (bv. hersengolven van verschillende delen van de hersenen) als tussen hersenen onderling. Dit laatste voorbeeld wordt brein-tot-brein synchronie genoemd.

Figuur 3

(A) EEG kan worden gebruikt om de hersengolven van leerlingen in een klaslokaal van een middelbare school te meten (uit: Dikker et al. [3]). (B) De hersengolven van leerlingen kunnen een hoge synchronie met andere leerlingen vertonen, wat gevonden werd bij leerlingen die meer betrokken waren bij de les (links). Lage synchronie met andere studenten (rechts) werd gevonden bij studenten die minder geëngageerd waren.



Figuur 3

Draagbare EEG's zijn niet uitgevonden om laboratorium EEG-onderzoek te vervangen. Het is meer een aanvulling op laboratoriumonderzoek, doordat draagbare apparaten inzicht kunnen geven in hoe de hersenen werken in situaties in het dagelijkse leven, buiten het laboratorium.

Maar het voordeel van het onderzoeken van de hersenen in een meer natuurlijke omgeving gaat ook gepaard met een aantal nadelen. De kwaliteit van de signalen die met draagbare EEG's worden gemeten, is lang niet zo goed als de signalen die in het laboratorium worden gemeten. Dit komt vooral doordat draagbare apparaten veel minder elektroden hebben, en de deelnemers meer bewegen tijdens de metingen. Ook heeft de onderzoeker geen controle over omgeving buiten het lab, zodat de resultaten meestal moeilijker te interpreteren zijn. Er kunnen allerlei onverwachte dingen gebeuren die de signalen beïnvloeden.

KLINKT DIT ALS SCIENCEFICTION?

Nadat je dit allemaal gelezen hebt, wat denk je ervan? Zou je zo'n EEG-apparaat wel eens willen uitproberen in de klas, of vind je dat idee toch een beetje spannend of raar? Om je gerust te stellen, tot nu toe kan een draagbaar EEG-apparaat alleen op een zeer globale manier je hersenactiviteit meten. EEG kan zeker niet je gedachten lezen! Je hoeft je dus geen zorgen te maken dat je leraar of een onderzoeker zomaar je gedachten zou kunnen lezen als je ooit op school zo'n

EEG-apparaat opzet. We kunnen je geruststellen; gedachtenlezen is nog steeds sciencefiction!

Sommige commerciële bedrijven die EEG-apparaten maken en verkopen, beweren dat EEG kan worden gebruikt om leerlingen in de gaten te houden, door de sterkte van verschillende hersengolven te meten en dit na bepaalde berekeningen te vertalen als "geconcentreerd" of "afgeleid". Wij vinden dat geen goed idee, om verschillende redenen. Ten eerste moet er nog veel meer onderzoek worden gedaan voordat we precies genoeg begrijpen wat EEG-signalen zeggen over hersenfuncties. Ten tweede hoeven leerlingen helemaal niet altijd maar geconcentreerd te zijn. We weten dat de hersenen ook tijd nodig hebben om uit te rusten, en dat dagdromen zelfs nuttig kan zijn voor leren [4].

CONCLUSIE

Draagbare EEG-apparaten bieden interessante nieuwe mogelijkheden, zoals onderzoeken hoe de hersenen werken in het dagelijkse leven, zoals in de klas. Het onderzoeken van de hersenen in zulke natuurlijke situaties kan met name ons begrip van sociale interacties vergroten, omdat je met draagbare EEG de hersenactiviteit van verschillende mensen tegelijk kunt meten terwijl zij met elkaar in interactie zijn. Bovendien kan draagbaar EEG leerlingen ook helpen om beter te begrijpen hoe de hersenen werken. De wetenschap gaat echter met kleine stapjes vooruit, dus laten we gedachtenlezen voorlopig over aan de sciencefiction films. Dan kunnen we ondertussen nog goed bedenken of we dat wel ooit werkelijkheid willen laten worden [5].

DANKWOORD

We willen iedereen bedanken die meegewerkt heeft met de vertaling van de artikelen in deze Collectie om ze toegankelijker te maken voor kinderen buiten Engelstalige landen, en voor de Jacobs Foundation voor het verstrekken van de benodigde fondsen voor het vertalen van de artikelen. NA vertaalde dit artikel in het Nederlands.

De illustratie in [Figuur 2](#) is overgenomen uit Dikker et al. [3], Copyright (2017), met toestemming van Elsevier.

Wij danken ook de leden en financiers van de Emerging Field Group Portable Brain Technologies in Educational Neuroscience Research, gefinancierd door EARLI en de Jacobs Stichting. NA en TJ worden verder ondersteund door een Starting Grant van de European Research Council (#716736).

Het BrainWaves-programma is ontwikkeld met steun van het Science Education Partnership-programma van de Amerikaanse National Institutes of General Medical Sciences.

REFERENTIES

1. Biasiucci, A., Franceschiello, B., and Murray, M. M. 2019. Electroencephalography. *Curr. Biol.* 29:R80-5. doi: 10.1016/j.cub.2018.11.052
2. van Atteveldt, N., van Kesteren, M. T. R., Braams, B., and Krabbendam, L. 2018. Neuroimaging of learning and development: improving ecological validity. *Frontline Learn. Res.* 6:186-203. doi: 10.14786/flr.v6i3.366
3. Dikker, S., Wan, L., Davidesco, I., Kaggen, L., Oostrik, M., McClintock, J., et al. 2017. Brain-to-brain synchrony tracks real-world dynamic group interactions in the classroom. *Curr. Biol.* 27:1375-80. doi: 10.1016/j.cub.2017.04.002
4. Immordino-Yang, M. H., Christodoulou, J. A., and Singh, V. 2012. Rest is not idleness: implications of the brain's default mode for human development and education. *Perspect. Psychol. Sci.* 7:352-64. doi: 10.1177/1745691612447308
5. Williamson, B. 2018. Brain data: scanning, scraping and sculpting the plastic learning brain through neurotechnology. *Postdigit. Sci. Educ.* 1:65. doi: 10.1007/s42438-018-0008-5

GEREDIGEERD DOOR: [Stephan Vogel](#)

WETENSCHAPPELIJKE MENTOR: [Menton Deweese](#)

CITATIE: van Atteveldt N, Janssen TWP en Davidesco I (2023) Het meten van hersengolven in de klas. *Front. Young Minds*. doi: 10.3389/frym.2020.00096-nl

VERTALING EN BEWERKING VAN: van Atteveldt N, Janssen TWP and Davidesco I (2020) Measuring Brain Waves in the Classroom. *Front. Young Minds* 8:96. doi: 10.3389/frym.2020.00096

BELANGENVERSTRENGELING: De auteurs verklaren dat het onderzoek is uitgevoerd zonder enige commerciële of financiële relaties die zouden kunnen worden opgevat als potentiële belangenverstrengeling.

AUTEURSRECHTEN © 2020 © 2023 van Atteveldt, Janssen en Davidesco. Dit is een open-access artikel verspreid onder de voorwaarden van de [Creative Commons Attribution \(CC BY\)](#). Gebruik, verspreiding of reproductie in andere fora is toegestaan, mits de oorspronkelijke auteur(s) en de auteursrechthebbende(n) worden gecrediteerd en de oorspronkelijke publicatie in dit wetenschappelijk tijdschrift wordt geciteerd, in overeenstemming met de gangbare wetenschappelijke beoefening. Geen enkel gebruik, distributie of reproductie is toegestaan dat niet voldoet aan deze voorwaarden.

JONGE REVIEWERS



THE SCHOOL FOR SCIENCE AND MATH AT VANDERBILT, LEEFTIJD: 14–15

Wij zijn een klas studenten uit heel Nashville, die één keer per week samenkomen op Vanderbilt om meer te leren over wetenschap, technologie, techniek en wiskunde. We voeren experimenten uit in ons klaslokaal en in labs op de campus!

AUTEURS

NIENKE VAN ATTEVELDT

Nienke is neurowetenschapper en combineert verschillende methoden om individuele verschillen in leren en motivatie te bestuderen. Ze is gepassioneerd over het vinden van manieren waarop neurowetenschappelijk onderzoek over leren en ontwikkeling relevant gemaakt kan worden voor leerlingen en leerkrachten. Haar uiteindelijke doel als onderzoeker is om kennis en instrumenten bij te dragen die in het onderwijs gebruikt kunnen worden om meer kinderen met plezier te laten leren. Nienke leidt het Lab of Learning aan de Vrije Universiteit in Amsterdam, zie www.laboflearning.com. *n.m.van.attedveldt@vu.nl



TIEME W. P. JANSSEN

Tieme is neurowetenschapper en werkt vaak met elektro-encefalografie (EEG). Zijn passie is het begrijpen hoe hersenen werken, en hoe hersenen anders werken, bijvoorbeeld bij kinderen met ADHD. Een van zijn onderzoekslijnen betreft de toepassing van neurowetenschap op maatschappelijke behoeften. Hij gebruikt bijvoorbeeld EEG-neurofeedback om aandacht te trainen bij ADHD, of om kinderen te laten zien dat ze controle hebben over hun eigen brein. Tieme haalt neurowetenschappelijk onderzoek uit het lab en brengt het naar werkende klaslokalen en andere real-life settings, met behulp van draagbare EEG-technologie.



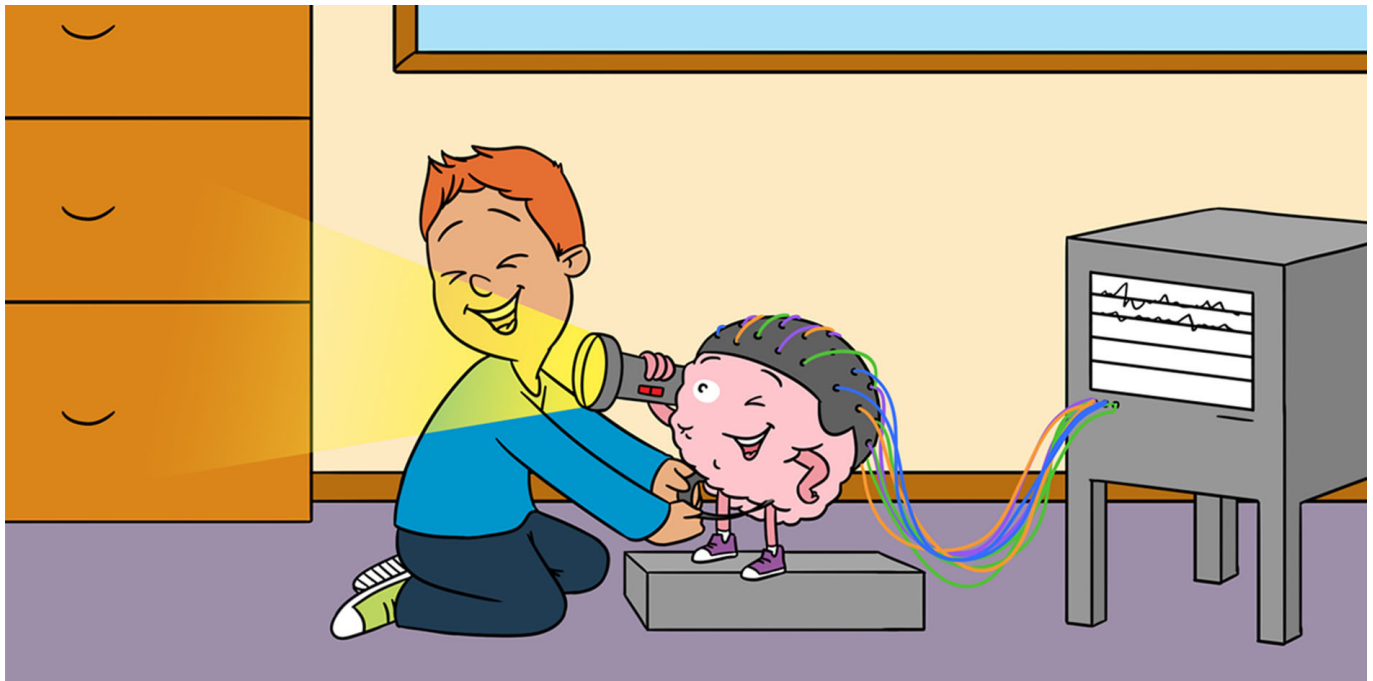
IDO DAVIDESCO

Ido is een neurowetenschapper die geïnteresseerd is in het leggen van verbanden tussen hersenwetenschap en onderwijs. Hij doet onderzoek in klaslokalen met behulp van draagbare apparaten waarmee de hersenactiviteit van leerlingen en leraren kan worden gemeten. Hij is ook geïnteresseerd in het ontwikkelen van manieren voor studenten om te interageren met wetenschappers en deel te nemen aan real-world onderzoek met betrekking tot hersenen en gedrag.



Dutch version provided by
Nederlandse versie verzorgd door

JACOBS
FOUNDATION
Our Promise to Youth



LICHT GEBRUIKEN OM TE BEGRIJPEN HOE DE HERSENEN IN DE KLAS WERKEN

Mojtaba Soltanlou^{1,2,3,4*} en Christina Artemenko^{1,2}

¹Afdeling Psychologie, Universiteit van Tübingen, Tübingen, Duitsland

²LEAD Universiteit & Onderzoeksnetwerk, Universiteit van Tübingen, Tübingen, Duitsland

³Brein en Geest Instituut, Universiteit van West Ontario, Londen, ON, Canada

⁴Afdeling Psychologie, Universiteit van West Ontario, Londen, ON, Canada

JONGE REVIEWERS:



ISTITUTO
EUROPEO
LEOPARDI

LEEFTIJD: 11–12

Wist je dat we de hersenen in de klas kunnen bestuderen? Veel mensen denken dat het onderzoeken van de hersenen alleen mogelijk is in complexe laboratoria met enorme, ingewikkelde apparaten. Functionele nabij-infrarood spectroscopie (fNIRS) is een nieuwe techniek die licht gebruikt om te bekijken hoe actief de hersenen zijn. fNIRS heeft verschillende voordelen die het erg geschikt maken voor het bekijken van de hersenen van baby's en kinderen. Daarnaast is het ook een van de beste technieken om de werking van de hersenen in het dagelijks leven en in echte situaties te bestuderen, zoals in de klas of tijdens een gesprek. Maar net als alle andere technieken voor hersenmetingen kan het niet voor alles worden gebruikt, wat betekent dat het beperkingen heeft. In dit artikel bespreken we hoe fNIRS werkt, hoe het kan worden gebruikt en wat de voordelen en de beperkingen zijn. We komen tot de conclusie dat fNIRS, wanneer het

FUNCTIONELE NABIJ-INFRAROOD SPECTROSCOPIE (FNIRS)

Een nieuwe techniek die wetenschappers kan helpen de werking van de hersenen te volgen door gebruik te maken van een speciaal soort licht, genaamd nabij-infrarood licht.

NABIJ-INFRAROOD LICHT

Een speciaal soort licht dat door huid, botten en hersenen kan gaan en kan worden gebruikt om te meten wat er in de hersenen gebeurt.

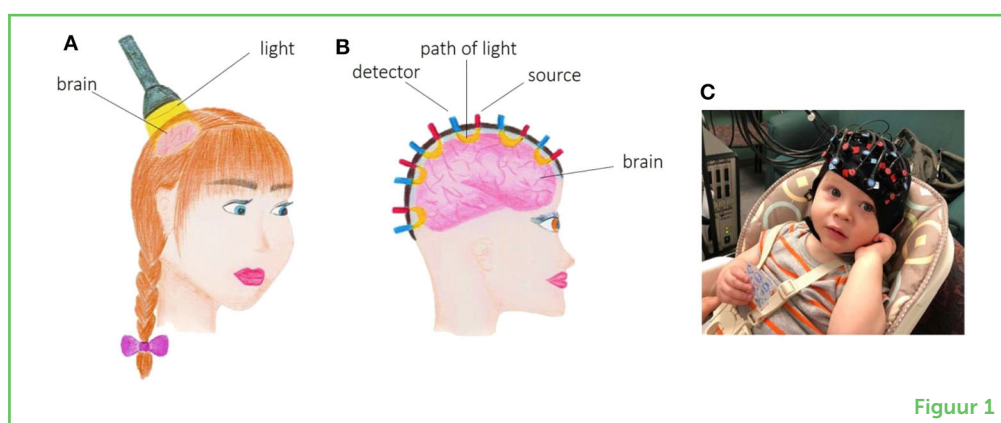
Figuur 1

(A) fNIRS gebruikt licht om de hersenfunctie te bekijken. (B) Bronnen (rood) en detectoren (blauw) van het licht in fNIRS. Het licht dat door de hersenen gaat, wordt weergegeven als gele banaanvormen. (C) Een fNIRS kapje op het hoofd van een baby.

binnen Onderwijsneurowetenschap wordt gebruikt, onderzoekers kan helpen te begrijpen hoe kinderen leren.

WAT IS FUNCTIONELE NABIJ-INFRAROOD SPECTROSCOPIE (FNIRS)?

Functionele nabij-infrarood spectroscopie (fNIRS) is een nieuwe techniek waarmee onderzoekers gemakkelijk kunnen bekijken hoe de hersenen werken. fNIRS maakt gebruik van een speciaal soort licht dat **nabij-infrarood licht** wordt genoemd (Figuur 1A). Nabij-infrarood licht is speciaal omdat het door de huid, botten en de hersenen heen kan gaan. Het licht wordt vanuit een lichtbron de hersenen in geschoten (rood in Figuur 1B) en wordt vervolgens door een detector ontvangen zodra het weer naar buiten komt (blauw in Figuur 1B). Het verschil tussen de hoeveelheid licht die de hersenen in wordt gestuurd en de hoeveelheid licht die terugkomt, geeft aan hoe actief de hersenen zijn. Maar waarom is er een verschil tussen het licht dat verstuurd wordt en het licht dat weer terugkomt? Gaat een deel van het licht verloren wanneer het door de hersenen reist?



Figuur 1

Om deze vragen te beantwoorden, moeten we begrijpen hoe de hersenen werken. De hersenen werken door zuurstof te gebruiken. Zuurstof wordt door het bloed naar de hersenen gebracht. Er stroomt meer bloed wanneer de hersenen actief zijn en dat betekent dat er meer zuurstof in de hersenen is. Bloed absorbeert nabij-infrarood licht, dus wanneer we dit licht naar de actieve hersenen sturen, komt er minder van terug, omdat een deel van het licht door het bloed is opgenomen. Dus: hoe meer licht er wordt geabsorbeerd, hoe minder licht er terugkomt, en hoe actiever de hersenen zijn.

WAT ZIJN DE VOORDELEN, TOEPASSINGEN EN BEPERKINGEN VAN FNIRS?

fNIRS heeft verschillende voordelen, waaronder:

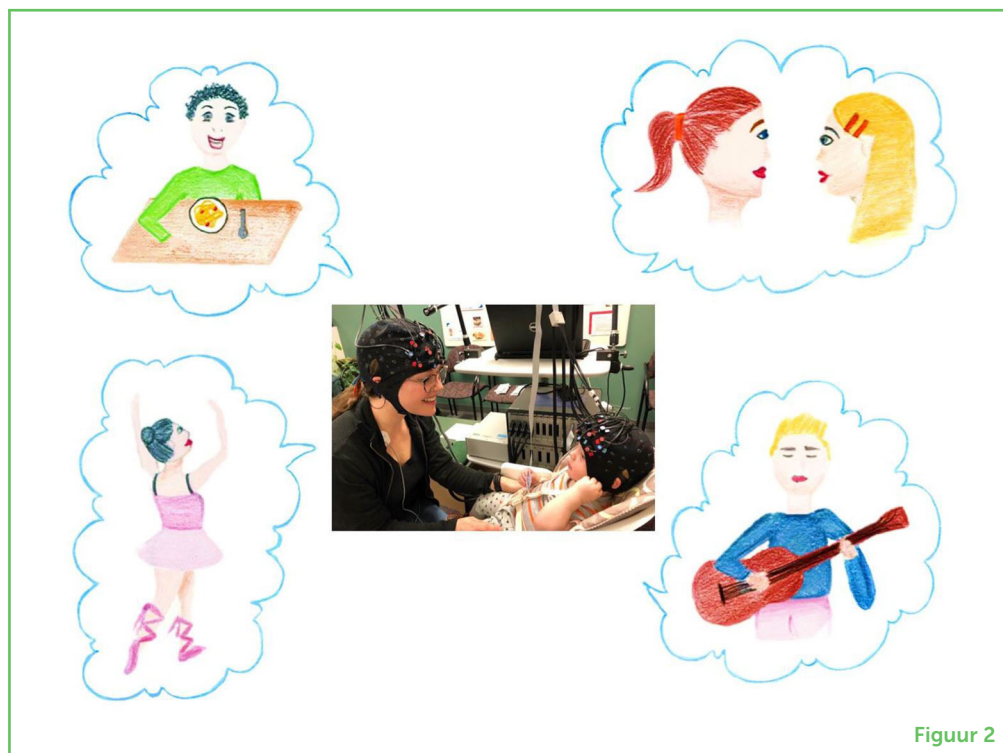
- het maakt het mogelijk deelnemers te testen terwijl ze zitten of staan
- het is gemakkelijk mee te nemen en kan bijna overal worden gebruikt
- het is gemakkelijk en kost slechts enkele minuten om op te zetten
- het is goedkoop in gebruik
- het meet de werking van de hersenen meerdere keren per seconde
- het doet geen pijn en maakt geen geluid
- het kan samen met andere technieken voor hersenmetingen worden gebruikt
- het staat lichaamsbewegingen toe, zoals praten, schrijven of lopen.

Door deze voordelen is fNIRS geschikt voor verschillende toepassingen (Figuur 2). Ten eerste kunnen we de hersenen onderzoeken in een natuurlijke omgeving en in dagelijkse situaties, in plaats van alleen in laboratoria. Dit is mogelijk omdat sommige fNIRS-apparaten zo klein zijn dat ze meegenomen kunnen worden naar de plek waar het onderzoek plaatsvindt. Bovendien hoeven de proefpersonen tijdens de metingen niet te liggen. Ze kunnen aan een tafel zitten en wat huiswerk maken of op de computer werken. fNIRS kan worden gebruikt om meer ingewikkelde denktaken te bestuderen dan met sommige andere technieken voor het meten van de hersenen mogelijk is, en niet alleen meerkeuzeopdrachten. Daarnaast is fNIRS vrij comfortabel voor de proefpersoon. Dit betekent dat we zelfs de hersenen van baby's en kinderen kunnen onderzoeken (Figuur 1C). Meestal is het moeilijk om de hersenen van deze jonge doelgroepen te bestuderen omdat ze veel bewegen, waardoor andere technieken voor hersenmetingen niet kunnen worden gebruikt. Verder is het mogelijk om de werking van de hersenen gedurende een lange tijd te meten (tot 1 uur) en bij veel proefpersonen tegelijk. De meeste van deze voordelen zorgen ervoor dat fNIRS een unieke techniek is om de hersenen te onderzoeken in situaties en bij mensen die normaal moeilijk of soms onmogelijk zijn om te onderzoeken met andere technieken.

Deze voordelen en toepassingen hebben wel een prijs. We moeten de beperkingen van fNIRS in gedachten houden. Ten eerste meet fNIRS ongeveer 3 cm van de hersenen per keer. Dit is een groot gebied als we het over de hersenen hebben, omdat verschillende onderdelen binnen de hersenen heel klein zijn. Een fNIRS-meting omvat dus mogelijk onderdelen van de hersenen met verschillende functies en zal daarom niet zo nauwkeurig zijn als metingen die met sommige andere technieken worden gedaan [1]. Ten tweede kan fNIRS alleen de activatie meten van gebieden die ongeveer 1,5-2 cm diep in de hersenen liggen. Daarom is het niet geschikt voor het meten van functies die zich diep in de hersenen bevinden. Verder geeft fNIRS alleen informatie over functies en niet over structuren [1]. Dat betekent dat we kunnen begrijpen hoe de hersenen werken, maar

Figuur 2

fNIRS kan worden gebruikt in veel verschillende situaties in het dagelijks leven, zoals tijdens het eten, een gesprek, dansen en muziek spelen. Het kan worden gebruikt om te zien wat er gebeurt in de hersenen van een moeder en haar baby wanneer zij met elkaar communiceren.



Figuur 2

niet hoe de hersenen eruit zien. Omdat fNIRS de hoeveelheid bloed meet, is het bovendien gevoelig voor de hartslag, de bloeddruk en de aderen in de huid. Het is dus mogelijk dat veranderingen die niets te maken hebben met de hersenen worden verward met metingen van hersenfunctie. Ten slotte gebruikt niet iedereen dezelfde manier om de data te analyseren, omdat fNIRS een nieuwe techniek is. Data-analyse is een procedure om de verzamelde hersengegevens van verschillende mensen te combineren en weer te geven op een manier die voor iedereen begrijpelijk is. Samenvattend moeten wetenschappers die met fNIRS hersenfuncties willen meten zich bewust zijn van zowel de voordelen als de beperkingen.

HOE WORDT FNIRS UITGEVOERD EN HOE WORDEN DE GEGEVENS GEBRUIKT?

Afhankelijk van het onderzoek en de onderzoeksvraag kunnen proefpersonen individueel of in groepen worden gemeten. We moeten een aantal stappen volgen om fNIRS uit te voeren. Eerst meten we het hoofd van de proefpersoon om een aantal belangrijke punten te bepalen, zoals het midden van het hoofd. Door deze punten te gebruiken, kunnen we inschatten welk deel van de hersenen door elke sensor wordt gemeten. Daarna bevestigen we met behulp van een elastische kap (een soort muts) de lichtbronnen en detectoren op het hoofd. Vervolgens vragen we onze proefpersoon een taak uit te voeren terwijl zijn/haar hersenfuncties worden gemeten door fNIRS (Figuur 3). De taak kan van alles zijn, bijvoorbeeld rekensommen. En als laatste

stap zetten we het fNIRS-apparaat uit nadat de proefpersoon klaar is met de taak en halen we de kap van het hoofd van de proefpersoon af. Dan is het experiment beëindigd.

Figuur 3

Terwijl een kind een wiskundeprobleem oplost, wordt haar hersenfunctie geregistreerd met fNIRS.



Figuur 3

Normaal gesproken herhalen we hetzelfde experiment met veel proefpersonen (ongeveer 40 kinderen). Dan kunnen we de gegevens van alle proefpersonen analyseren. Maar wat betekent dat? Stel dat onze onderzoeksvraag is: "Welke delen van de hersenen zijn actief tijdens het rekenen?" Om een antwoord te vinden op deze vraag meten we de werking van de hersenen in twee situaties: wanneer de proefpersonen rekensommen oplossen en wanneer ze gewoon aan het rusten zijn. Met behulp van computersoftware kunnen we de gegevens van alle proefpersonen verzamelen en combineren. Vervolgens berekenen we voor alle proefpersonen de niveaus van hersenfunctie als ze rekensommen oplossen als ze rusten. Daarna vergelijken we deze hersenfunctieniveaus. We zien een enorm verschil tussen de hersenfunctieniveaus tijdens het rekenen en tijdens het rusten in sommige delen van de hersenen, maar niet in andere. We kunnen daarom concluderen dat alleen de hersengebieden die een enorm verschil tussen rekenen en rusten lieten zien belangrijk zijn voor rekenen.

CONCLUSIE

fNIRS is een techniek die het mogelijk maakt de hersenfunctie te meten, zelfs bij speciale groepen, zoals baby's en kinderen [2], en in echte situaties, zoals in het klaslokaal [3]. Deze mogelijkheden maken fNIRS erg geschikt voor neurowetenschappelijk onderzoek op het gebied van onderwijs [4]. **Onderwijsneurowetenschap** gebruikt technieken zoals fNIRS om de hersenen te onderzoeken en gebruikt

ONDERWIJSNEURO WETENSCHAP

Een gebied van hersenonderzoek dat onderwijs beter wil maken in scholen.

de resultaten van hersenonderzoek om het onderwijs op scholen beter te maken. De meeste veelgebruikte technieken voor hersenmetingen werken goed voor onderzoeken bij volwassenen, maar hebben meerdere beperkingen wanneer ze bij kinderen worden gebruikt. Hierdoor weten we nog steeds niet veel over hoe de hersenen veranderen wanneer we opgroeien van baby's tot volwassenen. Gelukkig kunnen we met fNIRS de veranderingen in de hersenen en in het leren bij kinderen volgen [5, 6]. Wij geloven dat het gebruik van fNIRS in de Onderwijsneurowetenschap ons uiteindelijk zal helpen te begrijpen hoe kinderen leren lezen, schrijven en rekenen.

DANKWOORD

Onze dank gaat uit naar Bahar Rad, een 16-jarige kunstenaar, voor het illustreren van de figuren, naar Merle Bode voor het bewerken van de figuren, en naar Zoë Kirste voor het proeflezen van dit artikel. We bedanken ook Megan en Warren voor hun toestemming om foto's van hun deelname aan een fNIRS onderzoek te gebruiken. We willen iedereen bedanken die meegeholpen heeft met de vertaling van de artikelen in deze Collectie om ze toegankelijker te maken voor kinderen buiten Engelstalige landen, en voor de Jacobs Foundation voor het verstrekken van de benodigde fondsen voor het vertalen van de artikelen. Voor dit artikel willen wij in het bijzonder Nienke van Atteveldt en Sabine Peters bedanken voor de Nederlandse vertaling.

REFERENTIES

1. Hoyos, P., Kim, N., and Kastner, S. 2019. How is magnetic resonance imaging used to learn about the brain? *Front. Young Minds* 7:86. doi: 10.3389/frym.2019.00086
2. Edwards, L. A., Wagner, J. B., Simon, C. E., and Hyde, D. C. 2016. Functional brain organization for number processing in pre-verbal infants. *Dev. Sci.* 19:757–69. doi: 10.1111/desc.12333
3. Obersteiner, A., Dresler, T., Reiss, K., Vogel, A. C. M., Pekrun, R., and Fallgatter, A. J. 2010. Bringing brain imaging to the school to assess arithmetic problem solving: chances and limitations in combining educational and neuroscientific research. *ZDM* 42:541–54. doi: 10.1007/s11858-010-0256-7
4. Soltanlou, M., Sitnikova, M. A., Nuerk, H.-C., and Dresler, T. 2018. Applications of functional near-Infrared spectroscopy (fNIRS) in studying cognitive development: the case of mathematics and language. *Front. Psychol.* 9:277. doi: 10.3389/fpsyg.2018.00277
5. Artemenko, C., Soltanlou, M., Ehlis, A.-C., Nuerk, H.-C., and Dresler, T. 2018. The neural correlates of mental arithmetic in adolescents: a longitudinal fNIRS study. *Behav. Brain Funct.* 14:5. doi: 10.1186/s12993-018-0137-8
6. Soltanlou, M., Artemenko, C., Ehlis, A.-C., Huber, S., Fallgatter, A. J., Dresler, T., et al. 2018. Reduction but no shift in brain activation after arithmetic learning in

children: a simultaneous fNIRS-EEG study. *Sci. Rep.* 8:1707. doi: 10.1038/s41598-018-20007-x

GEREDIGEERD DOOR: Stephan E. Vogel

WETENSCHAPPELIJKE MENTOR: Ruggero G. Bettinardi

CITATIE: Soltanlou M en Artemenko C (2023) Licht gebruiken om te begrijpen hoe de hersenen in de klas werken. *Front. Young Minds.* doi: 10.3389/frym.2020.00088-nl

VERTALING EN BEWERKING VAN: Soltanlou M and Artemenko C (2020) Using Light to Understand How the Brain Works in the Classroom. *Front. Young Minds* 8:88. doi: 10.3389/frym.2020.00088

BELANGENVERSTRENGELING: De auteurs verklaren dat het onderzoek is uitgevoerd zonder enige commerciële of financiële relaties die zouden kunnen worden opgevat als potentiële belangenverstrengeling.

AUTEURSRECHTEN © 2020 © 2023 Soltanlou en Artemenko. Dit is een open-access artikel verspreid onder de voorwaarden van de [Creative Commons Attribution \(CC BY\)](#). Gebruik, verspreiding of reproductie in andere fora is toegestaan, mits de oorspronkelijke auteur(s) en de auteursrechthebbende(n) worden gecrediteerd en de oorspronkelijke publicatie in dit wetenschappelijk tijdschrift wordt geciteerd, in overeenstemming met de gangbare wetenschappelijke beoefening. Geen enkel gebruik, distributie of reproductie is toegestaan dat niet voldoet aan deze voorwaarden.

JONGE REVIEWERS

ISTITUTO EUROPEO LEOPARDI, LEEFTIJD: 11–12

Wij zijn een groep studenten van het Istituto Europeo Leopardi en we zitten in het eerste jaar van de middelbare school. Onze namen zijn Lucrezia, Sofia, Benedetta, Eleonora, Francesco, Matteo, Marco, Emma, Greta en Lidia. We wonen in Milaan (Italië) en we zijn 11 en 12 jaar oud. We zijn een grappige, leuke en creatieve klas, en we houden van natuurwetenschappen en gym. Tot ziens van de 1e A!

AUTEURS

MOJTABA SOLTANLOU

Ik ben onderzoeker aan de Universiteit van Western Ontario in Canada. Voordat ik onderzoek ging doen, werkte ik als therapeut en hielp ik kinderen met verschillende stoornissen. Met mijn onderzoek wil ik graag begrijpen wat er in de hersenen gebeurt als een kind iets leert zoals wiskunde en waarom sommige kinderen moeite hebben met leren. In mijn vrije tijd sport ik graag, bespeel ik de Tar en lees ik over geschiedenis. *mojtaba.soltanlou@gmail.com



**CHRISTINA ARTEMENKO**

Ik ben onderzoeker aan de Universiteit van Tübingen in Duitsland. Mijn onderzoek gaat over wiskunde en rekenen. Ik wil weten wat er in de hersenen gebeurt als iemand aan het rekenen is, en ik gebruik fNIRS om de hersenen te bestuderen. Ik wil begrijpen wat rekenen moeilijk maakt en waarom sommige mensen moeite hebben met wiskunde. Naast onderzoek doen, speel ik dwarsfluit en doe ik aan ballet en volleybal.

Dutch version provided by
Nederlandse versie verzorgd door





DE MAGIE VAN MAGNETISCHE RESONANTIE-IMAGING OM HET LEZENDE BREIN TE ONDERZOEKEN

Nora Maria Raschle^{1*}, Réka Borbás¹, Carolyn King² en Nadine Gaab^{2,3}

¹Jacobscentrum voor Productieve Jeugdontwikkeling, Universiteit van Zürich, Zürich, Zwitserland

²Laboratoria voor Cognitieve Neurowetenschappen, Boston Children's Hospital, Harvard Medical School, Boston, MA, Verenigde Staten

³Harvard Graduate School of Education, Cambridge, MA, Verenigde Staten

JONGE REVIEWERS:



CASCADIA
ELEMENTARY

LEEFTIJD: 8–9

In de Harry Potterboekenreeks werd de legilimentiespreuk gebruikt om de gedachten van anderen te lezen. Het gebruik van magie gaat altijd gepaard met een grote verantwoordelijkheid en mag daarom alleen voorzichtig worden gedaan. Op dezelfde manier is magnetische resonantie-imaging (of MRI) een krachtige techniek waarmee we gedetailleerde afbeeldingen kunnen maken van verschillende delen van het lichaam, waaronder ook de hersenen. Ook MRI mag alleen voorzichtig gebruikt en geïnterpreteerd worden. Met MRI kunnen we verschillende lichaamsdelen van buitenaf bekijken. Sommige dreuzels (mensen zonder magische krachten) gebruiken MRI om de geheimen van het menselijk brein te bestuderen. Hoewel het niet kan worden gebruikt om iemands gedachten te lezen, kan het ons vertellen hoe de hersenen eruitzien, werken, groeien en leren. MRI kan ons bijvoorbeeld helpen te

begrijpen hoe het brein leert lezen en hoe dit misschien anders is bij kinderen die moeite hebben met leren lezen.

Hou jij van lezen? Heb je de Harry Potterboeken gelezen? Lezen is een vaardigheid die wordt aangeleerd met behulp van uitleg (een leerkracht of ouder leert het je bijvoorbeeld) en moet thuis of op school veel worden geoefend. Er zijn veel verschillende dingen die ons helpen om goede lezers te worden. Tijdens het opgroeien maken we veel mee en onze lichamen, onze gedachten, onze gevoelens en de omgeving om ons heen veranderen voortdurend. Op jonge leeftijd leren we de vaardigheden die wat makkelijker zijn, zoals het begrijpen wat bepaalde klanken betekenen, het herkennen van gezichten of lopen. Eigenlijk begint het leren zelfs al voordat we geboren zijn! Naarmate we ouder worden, leren we meer complexe vaardigheden, zoals het spreken van woorden en zinnen, lezen en hoe we met andere mensen moeten omgaan. Het leren van nieuwe vaardigheden gaat samen met hoe de hersenen zich ontwikkelen. Maar veel verschillende dingen kunnen onze ontwikkeling beïnvloeden. Voorbeelden zijn veranderingen in onze omgeving, onze leerervaringen of zelfs ons DNA, wat de biologische informatie is die we van onze ouders hebben geërfd.

Dit geldt ook voor lezen. Lezen is een vaardigheid die we lang oefenen voordat we er goed in worden. Maar dit oefenen begint al voordat we ons eerste boek uitkiezen of naar school gaan. Nog voor we geboren zijn, luisteren we naar klanken en horen we basiselementen van taal. Deze ervaringen dragen bij aan de werking van hersengebieden die ons later helpen om te leren lezen. In 1983 zei professor Jeanne Chall [1] dat leren lezen in verschillende fasen gebeurt (Figuur 1). Inmiddels weten we dat veel verschillende factoren deze leesfasen kunnen beïnvloeden, en dat het leren lezen niet bij alle kinderen en niet over de hele wereld hetzelfde verloopt. Verschillen in leren lezen bestaan omdat veel dingen de leesontwikkeling kunnen beïnvloeden, zoals waar we opgroeien, welke taal we spreken, welke woorden in onze taal gebruikt worden, welke spelletjes we met spraakklanken kunnen spelen (bijv. het zeggen van “banaan” zonder de klank /b/ te gebruiken), en hoe goed we zijn in het begrijpen van verhalen [2].

HOE DE HERSENEN LEREN LEZEN

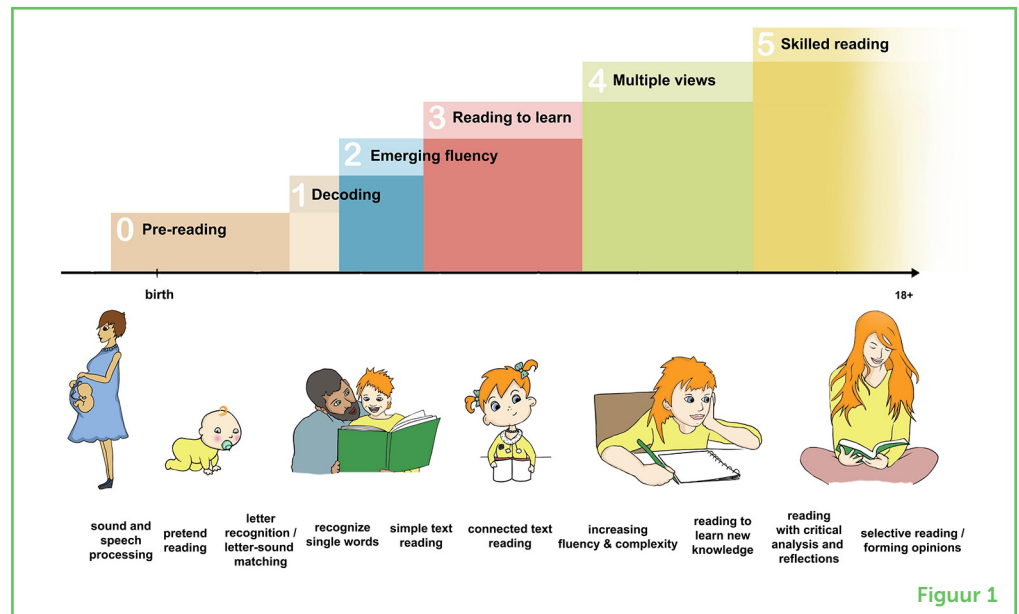
Technieken om afbeeldingen van de hersenen te maken, zoals magnetische resonantie-imaging (**MRI**), maken het mogelijk te onderzoeken hoe de hersenen leren. MRI is als het ware een grote camera die beelden kan maken van verschillende lichaamsdelen, bijvoorbeeld van de hersenen. MRI werkt door signalen van de watermoleculen in het lichaam te meten. Elk deel van het lichaam is een beetje anders en daarom verschilt het MRI-signaal dat van elk deel komt ook een beetje. Met behulp van computers kunnen wetenschappers van deze signalen gedetailleerde afbeeldingen

MRI

Staat voor magnetic resonance imaging. Met MRI kunnen wetenschappers beelden maken van alle delen van het menselijk lichaam. Het werkt met sterke magneten en radiogolven.

Figuur 1

Stap voor stap leren we lezen. Er zijn verschillende fasen die we kunnen doorlopen om vloeiende lezers te worden. Leren lezen begint vanaf het moment dat een baby begint te groeien en gaat door gedurende de hele schooltijd tot aan de jonge volwassenheid (Illustraties: N. M. Raschle; het bovenste gedeelte van deze grafiek is aangepast van Chall [1]).



Figuur 1

maken (als je meer wil weten over de werking van MRI, kun je "The physics of MRI and how we use it to reveal the mysteries of the mind" lezen, geschreven voor kinderen door Kathryn Broadhouse [3]). Met MRI kunnen we zowel bekijken hoe de hersenen werken terwijl we iets doen of voelen (de functie van de hersenen), als hoe de hersenen zijn opgebouwd (de structuur van de hersenen).

Telkens wanneer de hersenen groeien en leren, ontstaan er verbindingen tussen verschillende hersengebieden. Na verloop van tijd vormen deze verbindingen netwerken. Netwerken bestaan uit verschillende hersengebieden die veel samenwerken. Vergelijkbaar met een goed getrainde muziekgroep of band, helpen hersennetwerken ons bij het leren van vaardigheden zoals lezen. Wanneer we leren, maken hersencellen (**neuronen** genaamd) verbindingen met elkaar door hun kleine armpjes (**axonen** genaamd) uit te steken of door zelfs nieuwe armpjes te groeien. Na verloop van tijd verbinden veel van de axonen zich met elkaar waardoor lange snelwegen worden gevormd. Deze snelwegen worden ook wel **witte stofbanen** genoemd. Ze zorgen ervoor dat informatie van het ene deel van de hersenen naar een ander deel kan reizen. Met behulp van MRI hebben wetenschappers ontdekt dat we kunnen lezen omdat bepaalde hersengebieden actiever worden en met elkaar praten terwijl we leren. Deze hersengebieden hebben grappige namen: het occipitotemporale gebied, of de "letterdoos" van de hersenen (waar we letters en woorden verwerken); het temporoparietaal gebied (helpt ons te spelen met de spraakklanken van onze taal, zoals uitvogelen dat "banaan" zonder de klank /b/ "anaan" is); en de inferieure frontale regio (de "kapitein" die ons de weg wijst). Als hersengebieden vaak met elkaar praten, worden de snelwegen sterker.

NEURON

Zenuwcellen in de hersenen of het ruggenmerg.

AXON

Een deel van de zenuwcel dat verbinding kan maken met andere cellen en op die manier informatie van de ene cel naar de andere kan transporteren.

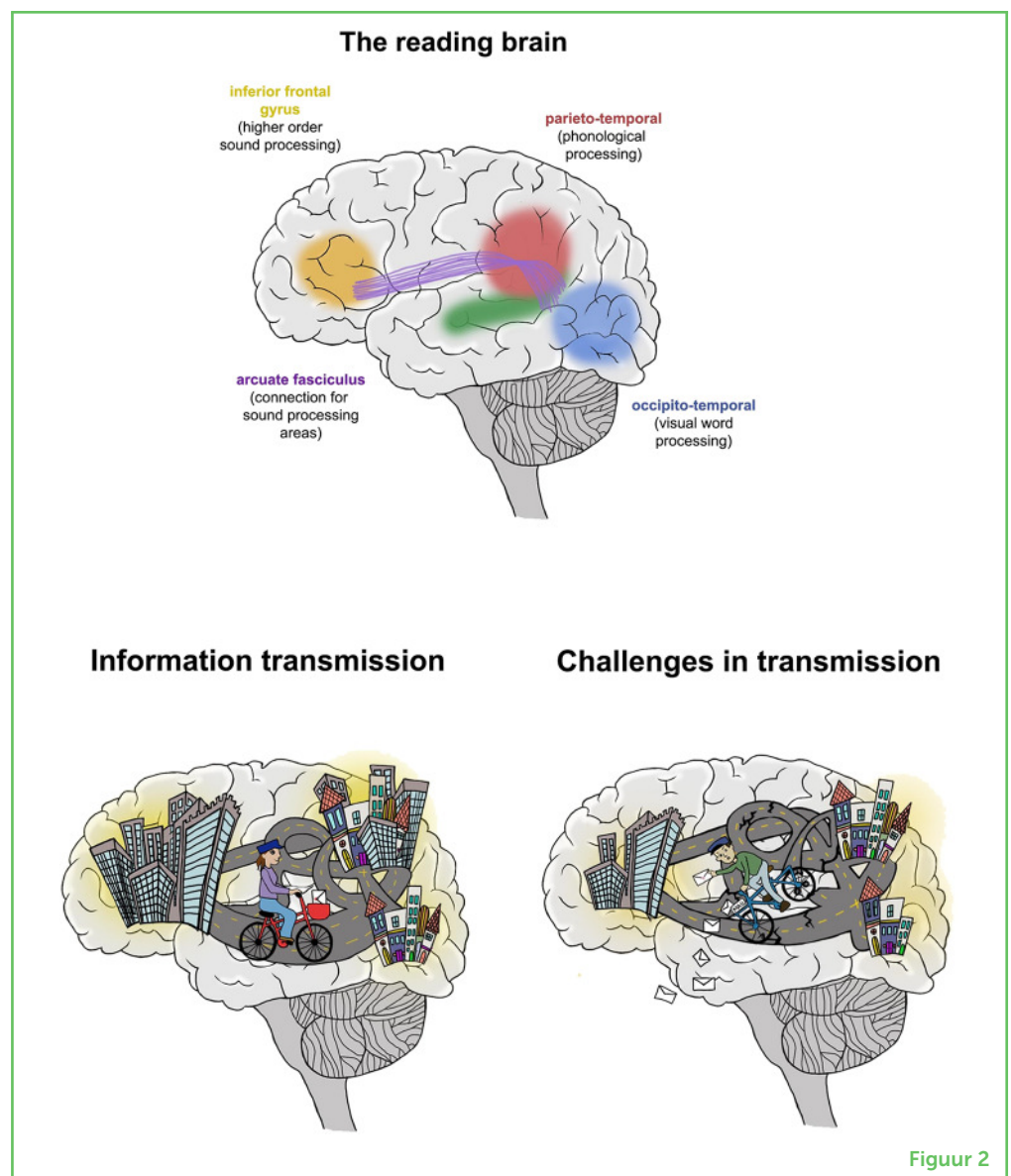
WITTE STOFBAAN

Een verzameling van vele axonen die verschillende hersengebieden met elkaar verbinden.

Een belangrijke snelweg voor lezen is een verzameling axonen die we de arcuate fasciculus of de boogbundel noemen, omdat het de vorm van een boog heeft. Binnen het netwerk van hersengebieden die ons helpen bij het lezen, zorgen witte stofbanen zoals de arcuate fasciculus voor het vervoer van informatie van het ene naar het andere gebied. Bij kinderen die moeite hebben met lezen, is het leesnetwerk van de hersenen soms iets anders opgebouwd of reist informatie via andere routes. In sommige hersenen kunnen de snelwegen die de informatie tussen de leesgebieden vervoeren bijvoorbeeld smal zijn, net alsof er maar één rijbaan is in plaats van twee. Of er kan juist minder snel op de snelwegen gereden worden vanwege bijvoorbeeld een hobbelig wegdek of veel stoplichten. Door deze belemmeringen is de communicatie tussen hersengebieden moeilijker en is lezen voor sommige kinderen een lastige taak (Figuur 2).

Figuur 2

Het leesbrein. Bovenaan zie je de namen en functies van de hersengebieden die worden gebruikt bij het lezen. Samen vormen deze hersengebieden het leesnetwerk van de hersenen. Tijdens het lezen worden deze gebieden actiever en praten met elkaar. Soms verloopt de informatieoverdracht in dit netwerk soepel (linksonder), maar soms kan het ook uitdagender zijn (rechtsonder) (Illustraties: N. M. Raschle).



ONTWIKKELINGSDYSLEXIE EN DE DYSLEXIEPARADOX

De ontwikkeling van de menselijke hersenen is complex, en het is niet verrassend dat sommige hersenen zich anders ontwikkelen dan andere. Soms kunnen deze verschillen gevolgen hebben die pas veel later worden ontdekt. In een gemiddelde schoolklas van 20 kinderen hebben ongeveer één of twee kinderen zeer grote moeite met leren lezen. Veel onderzoekers zouden graag willen dat ze zo vroeg mogelijk kunnen voorspellen welke kinderen waarschijnlijk moeite krijgen met lezen. Het is veel gemakkelijker een kind te helpen zodra de problemen beginnen dan af te wachten en het kind jaren later proberen te helpen. Op jonge leeftijd zijn onze hersenen veel flexibeler voor dingen zoals taal en daardoor is het gemakkelijker om dan nieuwe dingen te leren en problemen aan te pakken. Als hulp pas erg laat komt kunnen sommige kinderen, die moeite hebben met leren lezen, verdrietig worden, gefrustreerd raken of doelwit worden van pesterijen. Soms willen ze zelfs helemaal niet meer leren. Sommige ouders kunnen ongeduldig worden en denken dat hun kind niet genoeg zijn best doet. Dit zijn belangrijke redenen waarom wetenschappers deze kinderen graag zo vroeg mogelijk vinden.

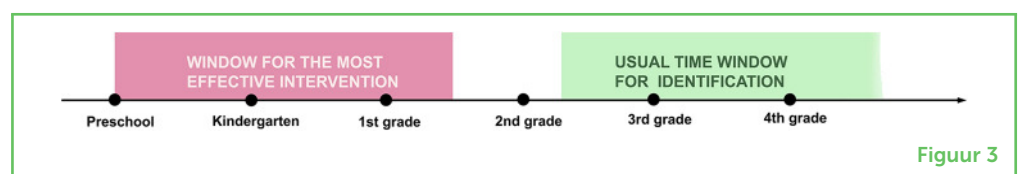
DYSLEXIA

Een leerstoornis die gepaard gaat met moeilijkheden bij het lezen als gevolg van problemen bij het herkennen van spraakklanken en het leren hoe die klanken in verband staan met letters en woorden.

Figuur 3

De dyslexie-paradox. Bij de meeste kinderen worden leesproblemen pas in groep 4 of groep 5 ontdekt (groene gebied). Het beste en meest effectieve venster om hen te helpen is echter veel eerder (roze gebied).

Bij sommige kinderen die leesproblemen hebben wordt vastgesteld dat ze **dyslexie**, of ontwikkelingsdyslexie, hebben. Dit is een vorm van een leesstoornis. Meestal wordt deze diagnose gesteld nadat kinderen al een langere tijd proberen te leren lezen (bijvoorbeeld in groep 4 of groep 5). De moeite om te lezen komt niet doordat deze kinderen te weinig oefenen, lui zijn of niet genoeg hun best doen. Tegen die tijd moeten ze alleen wel een achterstand inhalen om het goed te doen op school en dat is best een moeilijke klus. Zoals eerder gezegd heeft onderzoek aangetoond dat de kleuterklas of groep 3 de beste tijd is om kinderen te helpen met lezen. Dan zijn de hersenen nog een stuk meer vormbaar. Het verschil tussen het moment waarop we kinderen die moeite hebben met lezen meestal vinden en het moment waarop ze het best geholpen kunnen worden, wordt de dyslexie-paradox genoemd, omdat het iets is dat zichzelf tegenspreekt (Figuur 3).



Figuur 3

Wetenschappers hebben ontdekt dat we vroege tekenen van leesproblemen kunnen vinden door middel van mondelinge testen, schriftelijke testen of computertesten. Wij waren benieuwd of MRI ook kon worden gebruikt om al vroege verschillen in de hersenen op te sporen bij kinderen die uiteindelijk moeite krijgen met lezen. We ontdekten dat jonge kinderen die later moeite hebben met leren lezen een ander leesnetwerk lijken te hebben [4–6]. Maar, met hulp en het juiste onderwijs kan dit worden veranderd.

DE MAGIE VAN ANDEREN HELPEN

In tegenstelling tot de tovenaars in Harry Potter kunnen wetenschappers geen gedachten lezen of andere magische krachten gebruiken. Maar we hebben wel verschillende methoden en technologieën ontwikkeld om het lerende brein te bestuderen en één daarvan is MRI. MRI heeft wetenschappers de mogelijkheid gegeven onderzoek te doen naar de hersenengebieden die ons in staat stellen te lezen en heeft ons laten zien wat er mogelijk gebeurt in de hersenen van kinderen die moeite hebben met lezen. Met elk nieuw onderzoek komen wetenschappers meer te weten over hoe wij leren en waarom sommige mensen moeilijker leren dan anderen. Uiteindelijk zal deze informatie ons kunnen helpen om alle kinderen te helpen bij het behalen van hun doelen. En dat te kunnen doen is ware magie.

DANKWOORD

We willen iedereen bedanken die meegewerkt heeft met de vertaling van de artikelen in deze Collectie om ze toegankelijker te maken voor kinderen buiten Engelstalige landen, en voor de Jacobs Foundation voor het verstrekken van de benodigde fondsen voor het vertalen van de artikelen. Voor dit artikel willen wij in het bijzonder Nienke van Atteveldt en Sabine Peters bedanken voor de Nederlandse vertaling. Wij willen onze dank uitspreken en dit artikel opdragen aan alle kinderen die moeite hebben of hebben gehad met leren lezen en aan de opvoeders, ouders en professionals die hen helpen.

REFERENTIES

1. Chall, J. S. 1983. *Stages of Reading Development*. New York, NY: McGraw-Hill Book Company.
2. Castles, A., Rastle, K., and Nation, K. 2018. Ending the reading wars: Reading acquisition from novice to expert. *Psychol. Sci. Public Interest*. 19:5–51. doi: 10.1177/1529100618772271
3. Broadhouse, K. 2019. The physics of MRI and how we use it to reveal the mysteries of the mind. *Front. Young Minds* 7:23. doi: 10.3389/frym.2019.00023
4. Raschle, N. M., Zuk, J., and Gaab, N. 2012. Functional characteristics of developmental dyslexia in left-hemispheric posterior brain regions predate reading onset. *Proc. Natl. Acad. Sci. U.S.A.* 109:2156–61. doi: 10.1073/pnas.1107721109
5. Raschle, N. M., Chang, M., and Gaab, N. 2011. Structural brain alterations associated with dyslexia predate reading onset. *Neuroimage* 57:742–9. doi: 10.1016/j.neuroimage.2010.09.055
6. Langer, N., Peysakhovich, B., Zuk, J., Drott, M., Sliva, D., Smith, S., et al. 2017. White matter alterations in infants at risk for developmental dyslexia. *Cereb. Cortex* 27:1027–36. doi: 10.1093/cercor/bhv281

GEREDIGEERD DOOR: [Stephan E. Vogel](#)

WETENSCHAPPELIJKE MENTOR: [Carol L. Thompson](#)

CITATIE: Raschle NM, Borbás R, King C en Gaab N (2023) De Magie Van Magnetische Resonantie-Imaging Om Het Lezende Brein Te Onderzoeken. *Front. Young Minds*. doi: 10.3389/frym.2020.00072-nl

VERTALING EN BEWERKING VAN: Raschle NM, Borbás R, King C and Gaab N (2020) The Magical Art of Magnetic Resonance Imaging to Study the Reading Brain. *Front. Young Minds* 8:72. doi: 10.3389/frym.2020.00072

BELANGENVERSTRENGELING: De auteurs verklaren dat het onderzoek is uitgevoerd zonder enige commerciële of financiële relaties die zouden kunnen worden opgevat als potentiële belangenverstrengeling.

AUTEURSRECHTEN © 2020 © 2023 Raschle, Borbás, King en Gaab. Dit is een open-access artikel verspreid onder de voorwaarden van de [Creative Commons Attribution \(CC BY\)](#). Gebruik, verspreiding of reproductie in andere fora is toegestaan, mits de oorspronkelijke auteur(s) en de auteursrechthebbende(n) worden gecrediteerd en de oorspronkelijke publicatie in dit wetenschappelijk tijdschrift wordt geciteerd, in overeenstemming met de gangbare wetenschappelijke beoefening. Geen enkel gebruik, distributie of reproductie is toegestaan dat niet voldoet aan deze voorwaarden.

JONGE REVIEWERS

CASCADIA ELEMENTARY, LEEFTIJD: 8–9

Wij zijn de zeehondenklas! Wij zitten in groep vijf en houden van lezen en rekenen. In onze klas hebben wij 9 meisjes en 14 jongens. We zijn een groep kinderen met veel energie die het leuk vindt om samen onze ideeën te bespreken en nieuwe dingen te leren. We hebben dit jaar veel aandacht besteed aan samenwerken, spreken en naar elkaar luisteren en we vinden het heel leuk om deel uit te maken van de Frontiersgemeenschap!

AUTEURS

NORA MARIA RASCHLE

Nora is een assistent psychologieprofessor bij het Jacobscentrum voor Productieve Jeugdontwikkeling aan de Universiteit van Zürich in Zwitserland. Haar team in het NMR Kinderen Lab wil meer te weten komen over hoe de menselijke hersenen groeien, veranderen en leren. Nora tekent ook graag cartoons die te maken hebben met wetenschap en gelooft dat nieuwe kennis aan anderen overbrengen op een manier kan die leuk en begrijpelijk is voor iedereen. Met haar drie kinderen probeert ze graag nieuwe dingen uit, zoals een reuzentaart bakken, karaokeliedjes zingen (ook al is ze geen goede zangeres), dingen bouwen (zoals robots) of interessante plaatsen bezoeken. *nora.raschle@jacobscenter.uzh.ch



**RÉKA BORBÁS**

Réka is een promovendus in neuropsychologie bij het Jacobscentrum voor Productieve Jeugdontwikkeling aan de Universiteit van Zürich in Zwitserland. Ze werkt met gezinnen en is super geïnteresseerd in hoe de hersenen van kinderen en hun ouders werken. Hiervoor is ze van plan om gezinnen te vragen in een MRI scanner te gaan liggen zodat er een kijkje in hun hersenen kan worden genomen. Binnen het NMR Kinderen Lab probeert ze onderzoek voor iedereen leuk te maken en ontwikkelt ze spannende spelletjes om in de scanner te spelen. In haar vrije tijd vindt ze het leuk om bordspelletjes te spelen, met haar harige kat te knuffelen en voor haar vrienden en familie te bakken.

**CAROLYN KING**

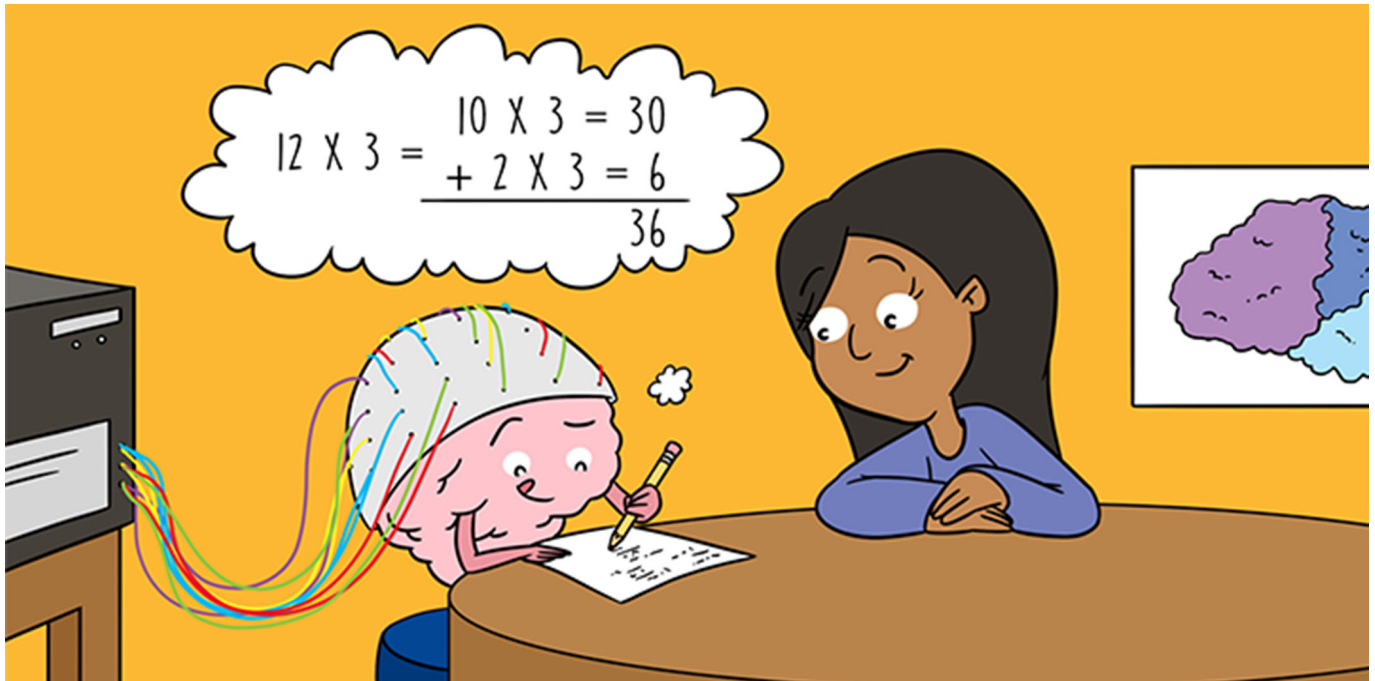
Carolyn is onderzoeksassistent bij de laboratoria voor Cognitieve Neurowetenschappen van het kinderziekenhuis in Boston en van de artsenopleiding in Harvard. Ze werkt elke dag met kinderen om te begrijpen hoe sommige kinderen anders leren lezen en rekenen dan anderen. Een groot deel van de tijd speelt ze denkspelletjes met peuters en kleuters. Ook reist ze door de Verenigde Staten om nieuwe spelletjes uit te testen. Carolyn houdt van het beklimmen van de hoogste bergen die ze maar kan vinden en speelt graag met de alpaca's, konijntjes en katten op de alpacaboerderij van haar oma. Een van de alpaca's heeft zelfs een keer over een berg gewandeld en Carolyn hoopt dat ooit samen met hem te kunnen doen!

**NADINE GAAB**

Nadine is professor bij het kinderziekenhuis in Boston en de artsenopleiding in Harvard. Tijdens een normale werkweek bekijkt ze kinderhersenen, kletst ze met haar studenten, geeft ze les, moet ze saaie vergaderingen bijwonen of speelt ze met kinderen die naar het lab komen. Ook reist ze naar (meestal koude) bestemmingen om mensen te vertellen over dyslexie, leren lezen en de hersenen. In haar vrije tijd speelt ze graag bordspelletjes met haar drie kinderen en gaat ze vaak kijken wanneer haar dochter moet voetballen en wanneer haar zoon moet honkballen. Ze houdt van zeevruchten en chocolade-ijs. Als ze groot is, zou ze graag chef-kok willen worden.

Dutch version provided by
Nederlandse versie verzorgd door

JACOBS
FOUNDATION
Our Promise to Youth



HOVEEL IS 2×4 ? INZICHT IN HOE JE BREIN REKENPROBLEMEN OPLOST

Nikolaus Koren[†], Judith Scheucher[†] en Stephan E. Vogel^{*}

Section of Educational Neuroscience, Institute of Psychology, University of Graz, Graz, Oostenrijk

JONGE REVIEWERS:

DR. H.
BAVINCK-
SCHOOL

LEEFTIJD:
8–12



LIJIA
LEEFTIJD: 12

Hoeveel is 2×4 ? Klinkt als een simpele vraag, maar heb je er ooit over nagedacht hoe je dat probleem oplost? In dit artikel leer je over twee verschillende strategieën die je gebruikt om rekenproblemen op te lossen. Je leert ook over de verschillende hersengebieden - zoals de intraparietale sulcus (IPS) - die samenwerken wanneer je deze verschillende strategieën gebruikt. Welke strategie en welk brein gebied je gebruikt, verandert in de loop van de tijd als je ouder wordt en beter wordt in rekenen. Die verandering zie je terug in de manier waarop hersengebieden werken en communiceren met elkaar - sommige gebieden worden actiever, terwijl anderen minder actief worden. Na het lezen van dit artikel weet je meer over die verschillende strategieën, én welke hersengebieden je allemaal gebruikt om je wiskundehuiswerk zo snel mogelijk te kunnen maken.

ONTWIKKELINGSDYS CALCULIE

Is dat leerlingen problemen ervaren met het leren of begrijpen van rekenen. Kijk voor meer informatie bijvoorbeeld in het artikel van Bugden and Ansari (2014) in [Frontiers for Young Minds](#).

INLEIDING

Wiskunde is één van de belangrijkste vaardigheden die je moet leren op school. Beter begrijpen hoe rekenproblemen worden opgelost kan daarom een hele grote impact hebben op kinderen. Je hebt wiskunde namelijk niet alleen elke dag nodig op school, maar ook als volwassene. Als je bijvoorbeeld programmeur, ingenieur of wetenschapper wilt worden, ga je dagelijks met cijfers om, maar ook in veel andere beroepen. Omdat wiskunde in bijna elk beroep belangrijk is, hebben mensen die niet goed zijn in wiskunde soms moeite om een baan te vinden. Sommige van hen hebben zelfs iets dat “**ontwikkeldyscalculie**” wordt genoemd. Je kunt voor een goed overzicht dit [Young Minds Artikel](#) bekijken [1]. Een beter begrip van wat er in de hersenen gebeurt terwijl je rekt, kan mogelijk nuttige informatie opleveren voor kinderen die moeite hebben met wiskunde. Leraren zouden bijvoorbeeld hun lessen zodanig kunnen inrichten dat kinderen gemakkelijker kunnen leren. En natuurlijk zijn we ook gewoon nieuwsgierig naar hoe dingen werken: op zich al reden genoeg om een experiment uit te voeren!

ZIJN ER VERSCHILLENDE MANIEREN OM EEN REKENKUNDIG PROBLEEM OP TE LOSSEN?

In onderzoeken naar rekenen worden kinderen en volwassenen meestal gevraagd om rekenproblemen zo snel en nauwkeurig mogelijk op te lossen. Proefpersonen zien dan een voor een rekenopgaven op een computerscherm (zie [Figuur 1](#)). Zodra de deelnemer een antwoord geeft, wordt de volgende opgave gepresenteerd. Om de verschillende strategieën die we gebruiken tijdens het rekenen in kaart te brengen, gebruiken wetenschappers meestal een mix van verschillende rekenopgaven met verschillende moeilijkheidsgraden.

Hierdoor hebben wetenschappers ontdekt dat rekenproblemen in twee categorieën kunnen worden verdeeld: kleine en grote problemen. Kleine problemen worden heel snel opgelost, en deelnemers maken minder fouten bij het oplossen van deze problemen. Een goed voorbeeld is “ 2×4 ”. Grote problemen zijn meestal een beetje moeilijker op te lossen. Deelnemers doen er langer over om deze problemen op te lossen en maken ook meer fouten. Een goed voorbeeld is “ 12×3 ”. Wetenschappers zijn het er soms niet over eens waar de grens tussen kleine en grote problemen precies ligt. Hoe moeilijk het is om een probleem op te lossen hangt af van je leeftijd en rekenvaardigheden. Uit de verschillen in snelheid en fouten tussen kleine en grote rekenproblemen weten onderzoekers dat we twee strategieën gebruiken om ze op te lossen [2].

De eerste strategie, het daadwerkelijk berekenen van het antwoord, wordt vaak gebruikt met grote problemen. Dit noemen we ook wel de

Figuur 1

Voorbeeld van hoe een onderzoek naar rekenen eruit ziet. Deelnemers zien een rekensom op een computerscherm. Zodra een antwoord is gegeven, komt er weer een nieuwe som. Bij elk probleem meet de computer of het antwoord goed was (accuratesse) en hoe lang de deelnemer ertoe heeft gedaan (snelheid).



Figuur 1

ELEKTRO-ENCEPHALOGRAFIE (EEG)

Een neuroimaging-methode om de elektrische signalen die het brein maakt te meten. Met deze methode kun je heel gedetailleerd naar de timing van hersenprocessen kijken.

FUNCTIONELE MAGNETISCHE RESONANTIE BEELDVORMING (fMRI)

Een neuroimaging-methode om zuurstofverschillen in hersengebieden te meten. Omdat actieve hersengebieden meer zuurstof nodig hebben, kun je dan zien welke hersengebieden precies actief zijn.

“procedurele strategie”, want het bedenken van het antwoord omvat meerdere stappen - of meerdere procedures. Om bijvoorbeeld “12 x 3” op te lossen, kun je het probleem opsplitsen in twee makkelijkere problemen, zoals “10 x 3 = 30” en “2 x 3 = 6”. Daarna kun je de resultaten optellen om het antwoord te krijgen, “36”. Maar het toevoegen van extra stappen heeft nadelen. Het kost meer tijd en elke extra stap verhoogt ook de kans om fouten te maken. Maar je gebruikt niet altijd deze zelfde strategie om hetzelfde probleem op te lossen. Nadat je het meerdere keren goed hebt opgelost, kun je het gaan onthouden en verschijnt het juiste antwoord op een dag vanzelf in je hoofd. Dit laat zien dat de manier waarop je dit probleem oplost is veranderd.

Dat betekent dat je de tweede strategie nu gebruikt: het antwoord uit het hoofd kennen – dit wordt vaak “feit-retrieval” genoemd. Door hetzelfde probleem meerdere keren te oefenen, heb je het antwoord opgeslagen in je lange-termijn geheugen. De verandering van procedurele strategieën naar feit-retrieval is een belangrijke stap in de ontwikkeling van rekenvaardigheden [3]. In plaats van het antwoord te moeten berekenen, kun je het nu onthouden. Bovendien word je door het onthouden van makkelijkere problemen, ook steeds beter in het oplossen van moeilijker problemen. Om deze veranderingen van strategie beter te begrijpen, hebben onderzoekers gekeken wat er in het brein gebeurt terwijl kinderen sommen maken. Hiervoor gebruiken wetenschappers verschillende methoden zoals **elektro-encefalografie (EEG)** en **functionele magnetische resonantie beeldvorming (fMRI)**, zie Figuur 2).

Figuur 2

Kinderen die meedoen aan één van onze fMRI-onderzoeken (links) en EEG-onderzoeken (rechts). Met deze twee technieken kunnen wetenschappers kijken wat er in het brein gebeurt.



Figuur 2

HERSENGBIEDEN

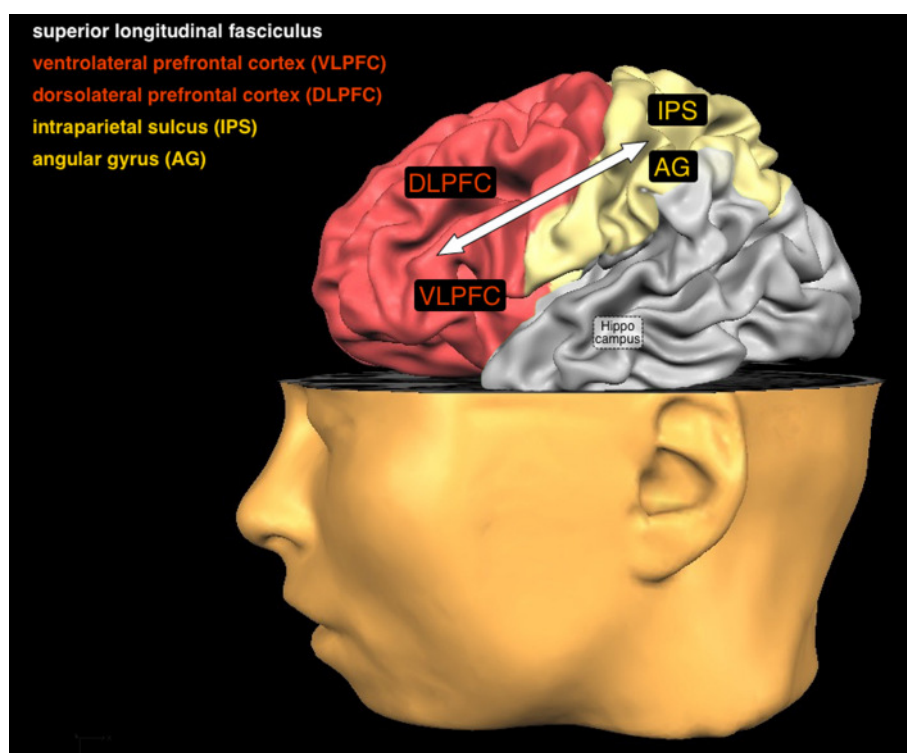
De hersenen kunnen in 4 grote onderdelen worden verdeeld: de frontale, pariëtale, temporale en occipitale cortex. Elk onderdeel bevat weer andere hersengebieden met unieke functies.

Figuur 3

Hier zie je een aantal hersengebieden en hersenverbindingen die belangrijk zijn bij rekenen. Twee gebieden zitten in de frontale cortex (rood) en twee in de pariëtale cortex (geel). Hoe ze samenwerken hangt af van je leeftijd en rekenvaardigheden. Een ander heel belangrijk gebied, de hippocampus, zit helemaal middenin je brein en is daarom niet te zien op dit plaatje.

WELKE HERSENGBIEDEN ZIJN BETROKKEN BIJ REKENEN?

Proberen te begrijpen hoe de hersenen werken, is vaak net als een ingewikkelde puzzel oplossen. Net zoals een puzzel uit verschillende stukjes bestaat, bestaat je brein ook uit verschillende **hersengebieden** (zie **Figuur 3**). Als je de functie van elk hersengebied begrijpt, krijg je een duidelijker beeld van hoe het in de puzzel past.



Figuur 3

Het eerste stukje van de puzzel is de “intraparietale sulcus” (IPS). Die bevindt zich in de pariëtale cortex en is verantwoordelijk voor het begrijpen van de *betekenis* van getallen [4]. Het begrijpen van de grootte van een getal is de eerste stap bij het oplossen van een rekenkundig probleem. Je moet bijvoorbeeld weten dat “4 honden” meer is dan “2 honden”. Je moet ook de volgorde van getallen begrijpen (d.w.z. “1” komt vóór “2”, “2” komt vóór “3”, enzovoort). Tijdens het rekenen gebruik je dit inzicht in omvang en volgorde van cijfers om de juiste oplossing te vinden.

De volgende stukjes van de puzzel zijn drie hersengebieden in de frontale cortex. De ventrolaterale prefrontale cortex werkt samen met regio's in de pariëtale cortex om geconcentreerd te blijven werken. Zo wordt je niet afgeleid door bijvoorbeeld dagdromen. De dorsolaterale prefrontale cortex is nodig om getallen te manipuleren, zoals het opsplitsen van een groot probleem in gemakkelijkere stappen. De inferieure frontale gyrus speelt ook een belangrijke rol door soortgelijke maar foute antwoorden te negeren [5].

De laatste stukjes in onze puzzel zijn de hippocampus en de angular gyrus. De hippocampus bevindt zich diep in je hersenen. Het speelt een belangrijke rol bij het opslaan van rekenkundige feiten [6]. De hippocampus is de “save” knop van je hersenen. Tijdens het rekenen werkt de hippocampus samen met de frontale Cortex om antwoorden op rekenproblemen op te slaan in je langetermijngeheugen. De angular gyrus is weer betrokken bij het ophalen van deze feiten wanneer je ze nodig hebt.

HOE VERANDERT HET OPLOSSEN VAN REKENPROBLEMEN NAARMATE JE OUDER WORDT?

Heb je ooit samen met vrienden aan een moeilijke opdracht gewerkt? Zo ja, dan heb je waarschijnlijk samengewerkt om het op te lossen. Je hersenen werken op een vergelijkbare manier. Verschillende hersengebieden werken samen bij het oplossen van een probleem. Het laatste stuk in onze puzzel is dan ook om te begrijpen hoe deze hersengebieden precies samenwerken tijdens het rekenen. Zoals je nu weet, verandert de manier waarop je rekenproblemen oplost als je ouder wordt. Je gaat meer opgeslagen feiten gebruiken en hoeft minder vaak procedurele strategieën te gebruiken. Maar dit is niet het enige dat verandert. Wetenschappers hebben ontdekt dat tijdens dit proces de manier waarop de verschillende hersengebieden samenwerken ook verandert. Bijvoorbeeld, als je jong bent heeft de frontale cortex nog een zeer belangrijke rol. Die zorgt voor aandacht en **werkgeheugen**, omdat je rekensommen nog vooral maakt met behulp van procedurele strategieën. Als je ouder wordt en meer feiten gaat gebruiken, verandert de rol van je frontale cortex. Als je naar de frontale cortex kijkt met behulp van fMRI of EEG, is ook te zien dat deze minder actief wordt tijdens rekenen naarmate je ouder wordt.

WERKGEHEUGEN

Een belangrijke hersenfunctie. Net als het werkgeheugen van een computer, werkt het door informatie in je hoofd vast te houden tijdens het nadenken.

De frontale cortex is nog steeds wel betrokken bij het vinden van het juiste antwoord, maar hoeft niet meer zo hard te werken als voorheen. Misschien heb je wel iets soortgelijks meegemaakt tijdens het samenwerken met je vrienden. In het begin moest iemand de voortgang van iedereen misschien wel in de gaten houden en steeds instructies geven over wat er gedaan moest worden (vergelijkbaar met de frontale cortex). Maar als je eenmaal succesvol een paar opdrachten samen hebt gemaakt, kun je zelfstandig samenwerken zonder dat je altijd iemand nodig hebt om de voortgang te controleren. De rol van de hippocampus verandert ook: tijdens het ophalen van feiten is die actiever bij jonge kinderen dan bij volwassenen [7]. Dit komt omdat als je jong bent, de hippocampus nog steeds hard werkt om de antwoorden op rekenproblemen op te slaan in het lange-termijn geheugen. Naarmate je ouder wordt, hoeft je hippocampus minder en minder te werken, omdat jij al heel veel feiten hebt opgeslagen.

Alle hersengebieden werken samen door met elkaar te communiceren. Deze communicatie gebeurt via een netwerk van hersenpaden (witte stof) die alle hersengebieden verbinden. Deze netwerken zijn vergelijkbaar hoe autowegen verschillende steden met elkaar verbinden. Een van deze wegen in de hersenen wordt de "superieure longitudinale fasciculus" genoemd. Deze weg verbindt de prefrontale cortex met de pariëtale cortex (waar de IPS zich bevindt) [8]. De verbindingen tussen deze regio's veranderen ook als je ouder wordt. Wetenschappers proberen nog steeds volledig te begrijpen hoe en waarom deze verbindingen veranderen naarmate je ouder wordt. Dat betekent dat, hoewel we al veel weten over rekenvaardigheden, er nog steeds meer onderzoek nodig is om de puzzel over hoe het brein leert rekenen volledig op te lossen.

CONCLUSIE

Hoewel het misschien in eerste instantie als een eenvoudig proces klinkt, zijn er eigenlijk veel stappen nodig om een rekensom op te lossen. Ook blijkt dat naarmate je ouder wordt, je andere strategieën gaat gebruiken om sommen op te lossen. De hersengebieden die verantwoordelijk zijn voor rekenen veranderen daarin mee. In het begin werken veel hersengebieden samen om een rekenkundig probleem op te lossen. Sommige delen houden je aandacht gefocust op de taak, andere helpen om de tussenstappen en resultaten van je berekeningen in de gaten te houden. De hippocampus slaat het juiste resultaat op in je lange termijn geheugen. Naarmate je ouder wordt, heb je nog maar een paar gespecialiseerde hersengebieden nodig om hetzelfde probleem op te lossen. Je brein werkt dan heel efficiënt. Dus, de volgende keer dat je je wiskundehuiswerk doet, denk dan even goed aan alle verschillende hersengebieden die je dan aan het gebruiken bent!

DANKWOORD

We willen iedereen bedanken die meegeholpen heeft met de vertaling van de artikelen in deze Collectie om ze toegankelijker te maken voor kinderen buiten Engelstalige landen, en voor de Jacobs Foundation voor het verstrekken van de benodigde fondsen voor het vertalen van de artikelen. Voor dit artikel willen we in het bijzonder Nienke van Atteveldt en Sabine Peters bedanken voor de Nederlandse vertaling.

REFERENTIES

1. Bugden, S., and Ansari, D. 2014. When your brain cannot do 2+2: a case of developmental dyscalculia. *Front. Young Minds* 2:8. doi: 10.3389/frym.2014.00008
2. Siegler, R. S. 1996. *Emerging Minds: The Process of Change in Children's Thinking*. New York, NY: Oxford University Press. doi: 10.5860/choice.34-5984
3. De Smedt, B. 2016. "Individual differences in arithmetic fact retrieval," in *Mathematical Cognition and Learning*, eds D. B. Berch, D. C. Geary, and K. M. Koepke (San Diego, CA: Academic Press). p. 219–43. doi: 10.1016/B978-0-12-801871-2.00009-5
4. Vogel, S. E., Goffin, C., and Ansari, D. 2015. Developmental specialization of the left parietal cortex for the semantic representation of Arabic numerals: an fMR-adaptation study. *Dev. Cogn. Neurosci.* 12, 61–73. doi: 10.1016/j.dcn.2014.12.001
5. De Visscher, A., Vogel, S. E., Reishofer, G., Hassler, E., Koschutnig, K., De Smedt, B., et al. 2018. Interference and problem size effect in multiplication fact solving: individual differences in brain activations and arithmetic performance. *Neuroimage* 15:718–27. doi: 10.1016/j.neuroimage.2018.01.060
6. Qin, S., Cho, S., Chen, T., Rosenberg-Lee, M., Geary, D. C., and Menon, V. 2014. Hippocampal-neocortical functional reorganization underlies children's cognitive development. *Nat. Neurosci.* 17:1263–9. doi: 10.1038/nn.3788
7. Cho, S., Metcalfe, A. W. S., Young, C. B., Ryali, S., Geary, D. C., and Menon, V. 2012. Hippocampal-prefrontal engagement and dynamic causal interactions in the maturation of children's fact retrieval. *J. Cogn. Neurosci.* 24:1849–66. doi: 10.1162/jocn_a_00246
8. Matejko, A. A., and Ansari, D. 2015. Drawing connections between white matter and numerical and mathematical cognition: a literature review. *Neurosci. Biobehav. Rev.* 1:35–52. doi: 10.1016/j.neubiorev.2014.11.006

GEREDIGEERD DOOR: Sabine Peters

WETENSCHAPPELIJKE MENTOR: Sok King Ong

CITATIE: Koren N, Scheucher J en Vogel SE (2023) Hoeveel is 2 x 4? Inzicht in hoe je brein rekenproblemen oplost. *Front. Young Minds*. doi: 10.3389/frym.2020.00048-nl

VERTALING EN BEWERKING VAN: Koren N, Scheucher J and Vogel SE (2020) How much Is 2 X 4? Understanding How the Brain Solves Arithmetic Problems. *Front. Young Minds* 8:48. doi: 10.3389/frym.2020.00048

BELANGENVERSTRENGELING: De auteurs verklaren dat het onderzoek is uitgevoerd zonder enige commerciële of financiële relaties die zouden kunnen worden opgevat als potentiële belangenverstrengeling.

AUTEURSRECHTEN © 2020 © 2023 Koren, Scheucher en Vogel. Dit is een open-access artikel verspreid onder de voorwaarden van de [Creative Commons Attribution \(CC BY\)](#). Gebruik, verspreiding of reproductie in andere fora is toegestaan, mits de oorspronkelijke auteur(s) en de auteursrechthebbende(n) worden gecrediteerd en de oorspronkelijke publicatie in dit wetenschappelijk tijdschrift wordt geciteerd, in overeenstemming met de gangbare wetenschappelijke beoefening. Geen enkel gebruik, distributie of reproductie is toegestaan dat niet voldoet aan deze voorwaarden.

JONGE REVIEWERS

DR. H. BAVINCKSCHOO, LEEFTIJD: 8–12

Wij zijn de Spectrumklassen 5–6 en 7–8 van de Bavinckschool in Haarlem, Nederland. Dit is een groep van 40 kinderen (19 in groep 5–6 en 21 in groep 7–8) die graag wat meer willen leren dan het reguliere schoolprogramma. We hadden veel plezier in het nakijken voor FYM, en namen de artikelen met veel focus en enthousiasme door, en maakten een kritische evaluatie. We vonden het erg leuk om bij te dragen aan de wetenschap en mee te helpen!

LIJIA, LEEFTIJD: 12

LiJia is een fervente lezer sinds ze klein was, ze las de meeste boeken die ze zelfstandig kon vinden in de bibliotheek of thuis, inclusief dikke romans. Ze is nieuwsgierig naar het leven en hoe mensen functioneren. Ze volgt momenteel klas 8 op een internationale school in Zuidoost-Azië.

AUTEURS

NIKOLAUS KOREN

Ik ben afgestudeerd aan de Universiteit van Graz, Oostenrijk, waar ik momenteel mijn master in psychologie afrond met een focus op cognitieve neurowetenschappen. Mijn masterthesis richt zich op elektrofysiologische correlaten van het oplossen van rekenproblemen bij kinderen. Ik vind het belangrijk om wetenschappelijke bevindingen te communiceren buiten het eigen beperkte onderzoeksgebied. Als ik niet in het lab ben, ben ik waarschijnlijk de buitenlucht aan het verkennen met vrienden, te voet of op de fiets.



**JUDITH SCHEUCHER**

Ik ben master student aan de Universiteit van Graz, Oostenrijk, waar ik Psychologie studeer met een specialisatie in Cognitieve Neurowetenschappen. Voor mijn masterscriptie gebruik ik elektro-encefalografie (EEG) om het oplossen van rekenproblemen bij kinderen te onderzoeken. In de toekomst wil ik promoveren op het gebied van neurowetenschappen en blijven werken in dit fascinerende veld. Mijn vrije tijd besteed ik vooral aan het spelen in een concertband, het leren bespelen van nieuwe muziekinstrumenten en het lezen van vele Scandinavische misdaadromans.

**STEPHAN E. VOGEL**

Ik ben assistent-professor aan het Instituut voor Psychologie van de Universiteit van Graz. Mijn onderzoek richt zich op de ontwikkeling van het menselijk brein. In het bijzonder ben ik zeer geïnteresseerd in hoe de netwerken van de hersenen en hun functies veranderen naarmate we ouder worden. Om deze processen te bestuderen gebruik ik verschillende neurowetenschappelijke instrumenten zoals elektro-encefalografie (EEG) en functionele magnetische resonantie beeldvorming (fMRI). Ik werk ook samen met leerkrachten, om hen te helpen beter te begrijpen hoe de hersenen van kinderen leren. In mijn vrije tijd ga ik graag bergbeklimmen en skiën in de prachtige bergen van Oostenrijk. *stephan.vogel@uni-graz.at

[†]Deze auteurs hebben in gelijke mate aan dit werk bijgedragen.

Dutch version provided by
Nederlandse versie verzorgd door

JACOB'S
FOUNDATION
Our Promise to Youth



MAAK RUIMTE VOOR RUIMTELIJK DENKEN! WAAROM RUIMTELIJK DENKEN ZO BELANGRIJK IS OM TE LEREN REKENEN

Katie A. Gilligan*

School of Psychology, University of Surrey, Guildford, Verenigd Koninkrijk

JONGE REVIEWER:



GONI

LEEFTIJD: 11

Ruimtelijk denken helpt je om te begrijpen waar een object is, wat de afmetingen zijn en hoe het zich verhoudt tot andere objecten in de ruimte. Het helpt ook bij het visualiseren en manipuleren van vormen en objecten in je hoofd, zoals puzzelstukjes in je hoofd omdraaien. Ruimtelijk denken is niet alleen belangrijk voor alledaagse taken. Uit nieuw onderzoek weten we dat het ook heel belangrijk is voor leren rekenen. Kinderen en jongeren die goed zijn in ruimtelijke taakjes zijn ook goed in rekenproblemen oplossen. En sommige hersengebieden die je gebruikt tijdens ruimtelijk denken, worden ook actief terwijl je rekenproblemen oplost. Het goede nieuws is dat je je ruimtelijk denken ook kunt verbeteren door te trainen. Dit betekent dat je beter kunt worden in ruimtelijk denken door te oefenen met spelletjes en activiteiten waarbij je ruimtelijk inzicht nodig hebt. In dit artikel gaan we het hebben over verschillende manieren om je ruimtelijk inzicht te verbeteren. Ook bespreken we een aantal

RUIMTELIJK DENKEN

Hoe het brein omgaat met de positie en vorm van verschillende objecten.

REKENEN

Een vak op school dat gaat over getallen en hoeveelheden.

onderzoeken die bewijzen dat oefenen met ruimtelijk inzicht je ook beter kan maken in rekenen.

INTRODUCTIE

Hoe weet je hoe je verschillende objecten kunt organiseren, zoals wanneer je een koffer inpakt of je boeken in je schoeltas stopt? Hoe weet je hoe je je schoenen aan de juiste voet aandoet en hoe je de knopen van je vest dichtdoet? Hoe lukt het je om de weg te vinden in een winkelcentrum, en hoe weet je wat je moet doen als je bij de verkeerde bushalte uitstapt? Dit zijn allemaal taken waarbij je **ruimtelijk denken** nodig hebt. Mensen gebruiken ruimtelijke denken honderden keren per dag, zonder dat ze het zelf doorhebben. Zelfs buiten deze alledaagse activiteiten hebben de meeste mensen (ook leraren) vaak niet door hoeveel invloed ruimtelijk denken heeft op je schoolprestaties, vooral met **rekenen**. Maar wat is ruimtelijk denken precies, en is het mogelijk om zelf een hele goede ruimtelijk denker te worden?

RUIMTELIJK DENKEN: HOE MEET JE DAT?

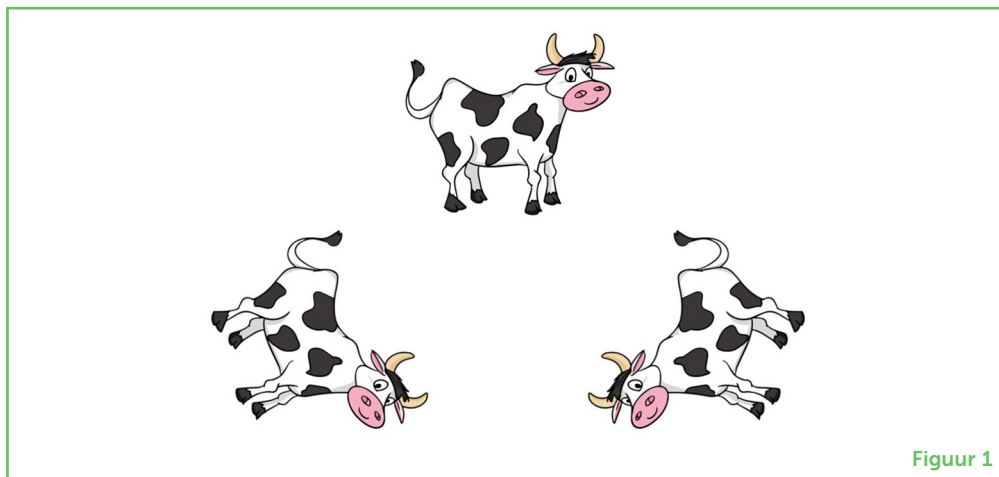
Mensen gebruiken ruimtelijk denken om de locatie (positie) en dimensies (bv. lengte of grootte) van een object te bepalen, en hoe verschillende objecten zich tot elkaar verhouden. Het is belangrijk om te begrijpen dat ruimtelijk denken niet één losse vaardigheid is, maar juist een combinatie van verschillende vaardigheden bij elkaar. We beschrijven hieronder een paar van de belangrijkste ruimtelijke vaardigheden en hoe onderzoekers die meten.

Mentale rotatie

Door mentale rotatie kunnen we plaatjes in ons hoofd omdraaien. Probeer maar eens je ogen dicht te doen en je een object voor te stellen, zoals een auto. Probeer je daarna voor te stellen hoe de auto eruit zou zijn als die omgedraaid was en op zijn kop lag. Om dit te doen heb je mentale rotatie nodig. In **Figuur 1** zie je een mentale rotatie test. Kun jij zien welk van de onderste plaatjes hetzelfde is als het bovenste plaatje? Om daarachter te komen moet je de koeien in je hoofd omdraaien. Dan kun je zien dat de linkerkoe dezelfde is als de bovenste koe. Hoe vaak je ook de rechterkoe omdraait, die zal nooit hetzelfde worden als de bovenste koe en altijd de verkeerde kant op blijven kijken. Om deze test te doen heb je mentale rotatie gebruikt. Naast dit omdraaien in je hoofd is het ook mogelijk om je voor te stellen hoe een object eruit zou zijn als het in tweeën gebroken is, of als het opgevouwen of gebogen is.

Figuur 1

Voorbeeld van een mentale rotatietask.



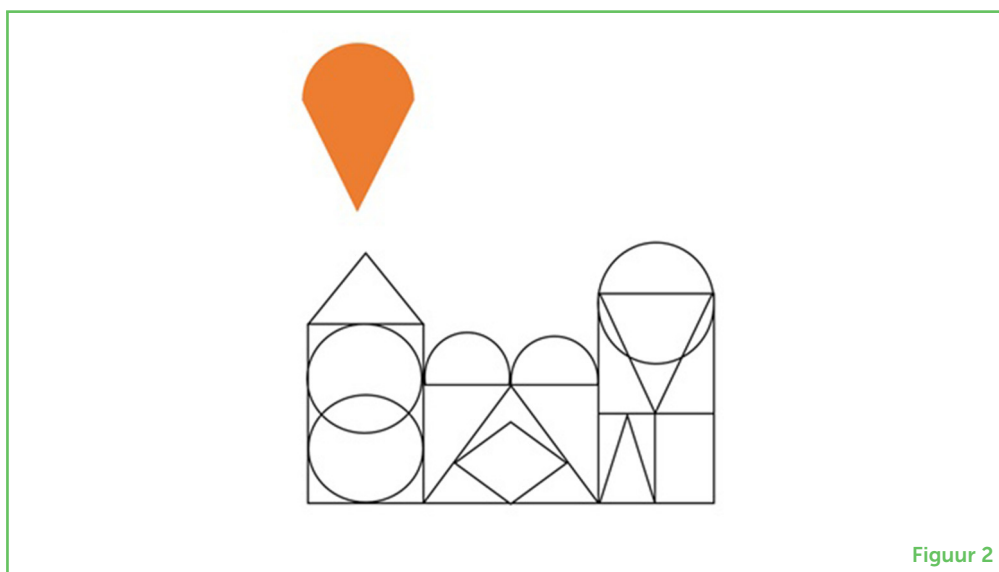
Figuur 1

Loskoppeling

De vaardigheid “loskoppelen” betekent dat je de ruimtelijke vaardigheid hebt om een object los te koppelen van een meer complexe achtergrond. Deze vaardigheid helpt je bijvoorbeeld om te zien hoe ingewikkelde objecten kunnen worden opgedeeld in kleinere onderdelen. Een simpel voorbeeld zie je in [Figuur 2](#). Kun jij het oranje object zien in de meer complexe achtergrond?

Figuur 2

Voorbeeld van een loskoppelings-taak.



Figuur 2

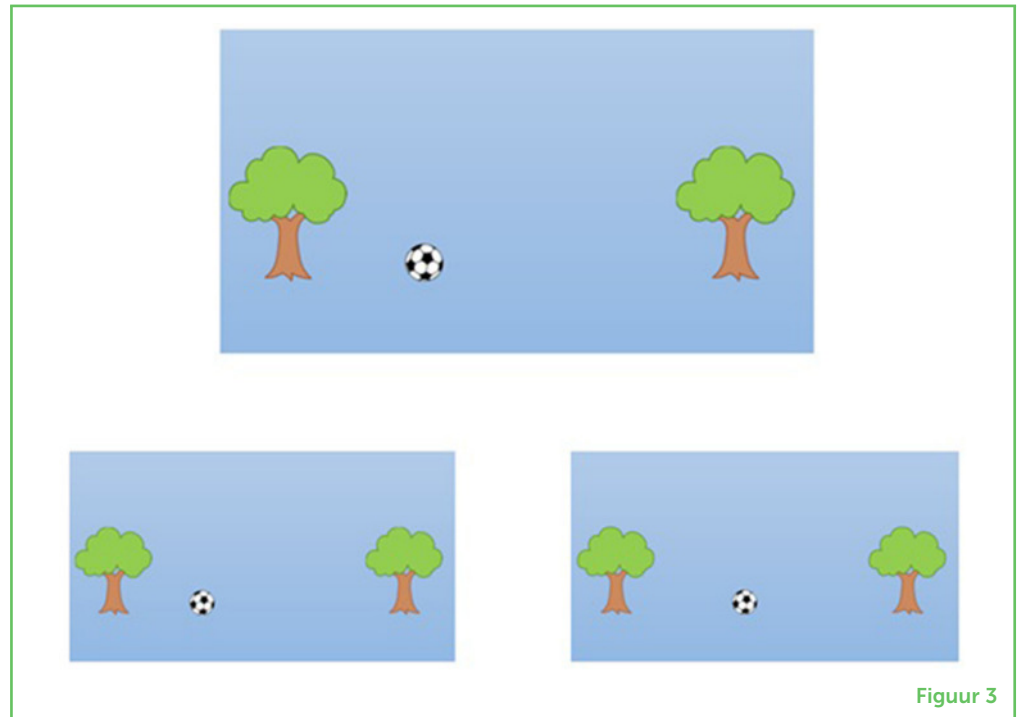
Ruimtelijk schalen

Ruimtelijk schalen betekent dat je informatie kunt gebruiken vanuit weergaves van verschillende groottes. Je gebruikt bijvoorbeeld ruimtelijk schalen wanneer je snapt dat als je naar een plattegrond van een park kijkt, dat het dan over hetzelfde park gaat als die waarin je nu staat, ook al is het park in het echt veel groter. Of wanneer je een IKEA-kast in elkaar zet, dan kijk je naar voorbeeldplaatjes voor hoe het moet. Je begrijpt dat de piepkleine deur in het plaatje verwijst naar

de grote deur die in jouw kamer staat. Als je naar **Figuur 3** kijkt, zie je steeds een bal tussen twee bomen. Welk van de onderste plaatjes is hetzelfde als het bovenste plaatje? De twee onderste plaatjes hebben niet dezelfde grootte als het bovenste plaatje, dus je hebt ruimtelijk schalen nodig om het juiste antwoord te vinden (het juiste antwoord is links).

Figuur 3

Voorbeeld van een ruimtelijk schalen taak.



Figuur 3

Navigatie

Navigatievaardigheden zijn belangrijk als je door de omgeving beweegt en naar bepaalde plekken wilt komen. Om goed te kunnen navigeren moet de relaties tussen verschillende gebouwen en straten begrijpen. Je moet ook begrijpen hoe straten of gebouwen eruit zien vanuit verschillende perspectieven (bijvoorbeeld van links of van rechts, of van de voor- of achterkant), je moet routes kunnen leren, en je moet een soort mentale kaart in je hoofd maken van hoe je omgeving eruit ziet.

RUIMTELIJK DENKEN IS BELANGRIJK VOOR SCHOOL EN WERK

Het is nu wel duidelijk hoe belangrijk ruimtelijk denken is in het alledaagse leven. Maar het is ook heel belangrijk voor hoe goed je het doet op school, vooral voor rekenen. Mensen die goed zijn in ruimtelijk denken halen vaak hogere scores op rekentoetsen. Dit verband tussen ruimtelijk denken en rekenen zie je in mensen van allerlei verschillende leeftijden. Uit onderzoek blijkt bijvoorbeeld dat baby's die beter zijn in blokkentorens bouwen, ook beter zijn in

tellen en getallen begrijpen [1]. Ook op de basisschool hebben veel onderzoeken laten zien dat verschillende soorten ruimtelijk denken belangrijk zijn voor rekenvaardigheden [2]. Kinderen die goed zijn in ruimtelijk schalen, zijn beter in het plaatsen van getallen op de juiste plek in een getallenlijn. Kinderen die goed zijn in mentale rotatie, zijn ook beter in sommen waarin een nummer ontbreekt, zoals $3 + \square = 5$. Ook voor volwassenen is ruimtelijk denken belangrijk voor veel verschillende beroepen. Ingenieurs hebben bijvoorbeeld ruimtelijke vaardigheden nodig om zich de structuur van een brug of gebouw voor te stellen. Geologen hebben ruimtelijk denken nodig om door landschappen te navigeren, dokters hebben het nodig om injecties op de juiste plek te plaatsen en om x-rays goed te kunnen lezen, en biologen hebben ruimtelijke vaardigheden nodig om te begrijpen hoe voedsel beweegt door verschillende delen van ons lichaam. Uit onderzoek blijkt dat mensen die als tiener goed waren in ruimtelijk denken, later vaker een baan hadden in wetenschap of techniek.

WAT ALS IK NIET GOED BEN IN RUIMTELIJK DENKEN?

Het goede nieuws is dat als je zelf niet goed bent in ruimtelijk denken, je je geen zorgen hoeft te maken. Ruimtelijk denken is juist één van de vaardigheden die je heel goed kunt trainen. In veel onderzoeken is gekeken of je ruimtelijk denken kunt verbeteren door verschillende soorten **cognitive training**. Bij het woord training denk je misschien vooral aan sport, maar wanneer wetenschappers het hebben over training bedoelen ze gewoon oefenen. "Ruimtelijk trainen" betekent dus meestal gewoon computertaakjes doen, met pen en papier ruimtelijke taakjes uitvoeren, of activiteiten zoals blokkentorens bouwen. Veel studies hebben inmiddels laten zien dat als je op deze manier oefent, je je ruimtelijk inzicht kan verbeteren [3].

Nog beter nieuws komt uit nieuw onderzoek. Het blijkt dat als je traint met ruimtelijk denken, je ook beter kunt worden in rekenen. Als het trainen in een bepaalde vaardigheid zorgt voor verbeterde prestaties in een andere vaardigheid, noemen onderzoekers dat "transfer". Onderzoeken naar andere soorten denken heeft juist laten zien dat transfer vaak heel moeilijk te bereiken is. Je kunt meer lezen over breintraining in dit artikel [7]. Ruimtelijk trainen is dus een uitzondering omdat het wél voor transfer zorgt naar betere rekenvaardigheden.

Uit onderzoek dat ik zelf heb uitgevoerd blijkt dat kinderen hogere scores haalden op een rekentoets, als ze vlak daarvoor een korte video hadden gekeken over ruimtelijk denken [4]. Andere onderzoekers hebben ook laten zien dat het spelletje Tangram spelen (een soort puzzel), en andere ruimtelijke spelletjes spelen, kunnen zorgen voor betere rekenvaardigheden [5]. Jammer genoeg wordt er op

COGNITIEVE TRAINING

Het oefenen van bepaalde denkvaardigheden om er beter in te worden.

school vaak nog niet zoveel aandacht besteed aan het leren van ruimtelijk denken. Gelukkig zijn er wel een hoop manieren waarop je hier zelf meer mee kunt oefenen thuis en op school. Je kunt bijvoorbeeld meer gebruik maken van diagrammen, mindmaps en grafieken tijdens het leren van nieuwe onderwerpen. Je kunt ook meer “ruimtelijke taal” gebruiken, zoals de woorden boven, onder, doorheen, omheen, parallel, symmetrisch, of meer gebaren maken wanneer je moeilijke dingen uitlegt aan anderen. Je kunt spelen en oefenen met dingen als blokken, Lego, puzzels, meubels in elkaar zetten of zelfs cadeautjes inpakken. Computerspellen zoals Minecraft (waarin spelers met 3D-blokken structuren zoals huizen of steden bouwen) of games waarin spelers navigeren door doolhoven of onbekende omgevingen, kunnen ook helpen om ruimtelijk inzicht te verbeteren.

WAAROM IS RUIMTELIJK DENKEN BELANGRIJK VOOR REKENEN?

Onderzoekers zijn nog steeds bezig met de vraag *waarom* ruimtelijke vaardigheden en rekenvaardigheden samenhangen. Oftewel, waarom zijn mensen die goed zijn in ruimtelijk denken, ook beter in rekenen? Een mogelijke reden is dat je deels dezelfde delen van je hersenen gebruikt tijdens ruimtelijke taken als tijdens rekenen. Met fMRI (functional Magnetic Resonance Imaging) kun je zien welke gebieden van de hersenen actief zijn tijdens bepaalde taken. Deze techniek gebruikt een soort scanner die laat zien welke hersendelen actief zijn op welke momenten. Zo kun je bijvoorbeeld zien welke hersendelen actief zijn terwijl je aan het rekenen bent. Hersenonderzoek toont aan dat sommige ruimtelijke- en rekenvaardigheden beide zorgen voor activiteit in een bepaald hersengebied: de pariëtale kwab [6]. Dit betekent misschien dat trainingsprogramma's voor ruimtelijk denken zorgen voor een betere verbinding tussen hersencellen in dit hersengebied. Dat zou kunnen bijdragen aan een betere prestatie op zowel ruimtelijke taken als op rekentaken.

CONCLUSIE

De volgende keer dat je zoveel mogelijk kleren in je koffer probeert te proppen, of een route op je telefoon probeert te volgen, denk dan nog eens na over hoe nuttig je ruimtelijke vaardigheden zijn. Misschien nog wel meer dan taal- of rekenvaardigheden, omdat ruimtelijke vaardigheden zo belangrijk zijn voor ons alledaagse leven. Bovendien, zoals je hebt gelezen in dit artikel, kunnen we ook onze rekenvaardigheden verbeteren door te oefenen met ruimtelijk denken. Laten we dus meer ruimte maken om ons ruimtelijke denken te trainen!

DANKWOORD

Ik wil iedereen bedanken die meegeholpen heeft met de vertaling van de artikelen in deze Collectie om ze toegankelijker te maken voor kinderen buiten Engelstalige landen, en voor de Jacobs Foundation voor het verstrekken van de benodigde fondsen voor het vertalen van de artikelen. Voor dit artikel will ik in het bijzonder Nienke van Atteveldt en Sabine Peters bedanken voor de Nederlandse vertaling.

OORSPRONKELIJKE ARTIKEL

Gilligan, K. A., Hodgkiss, A., Thomas, M. S., and Farran, E. K. 2019. The developmental relations between spatial cognition and mathematics in primary school children. *Dev. Sci.* 22:e12786. doi: 10.1111/desc.12786

REFERENTIES

1. Verdine, B. N., Golinkoff, R. M., Hirsh-Pasek, K., Newcombe, N. S., Filipowicz, A. T., and Chang, A. 2014. Deconstructing building blocks: preschoolers' spatial assembly performance relates to early mathematical skills. *Child Dev.* 85:1062-76. doi: 10.1111/cdev.12165
2. Mix, K. S., Levine, S. C., Cheng, Y.-L., Young, C., Hambrick, D. Z., Ping, R., et al. 2016. Separate but correlated: the latent structure of space and mathematics across development. *J. Exp. Psychol. Gen.* 145:1206-27. doi: 10.1037/xge0000182
3. Uttal, D. H., Meadow, N. G., Tipton, E., Hand, L. L., Alden, A. R., Warren, C., et al. 2013. The malleability of spatial skills: a meta-analysis of training studies. *Psychol. Bull.* 139:352-402. doi: 10.1037/a0028446
4. Gilligan, K. A., Thomas, M. S. C., and Farran, E. K. 2019. First demonstration of effective spatial training for near-transfer to spatial performance and far-transfer to a range of mathematics skills at 8 years. *Dev. Sci.* e12909. doi: 10.1111/desc.12909
5. Cheng, Y. L., and Mix, K. S. 2014. Spatial training improves children's mathematics ability. *J. Cogn. Dev.* 15:2-11. doi: 10.1080/15248372.2012.725186
6. Hawes, Z., Moriah Sokolowski, H., Ononye, C. B., and Ansari, D. 2019. Neural underpinnings of numerical and spatial cognition: An fMRI meta-analysis of brain regions associated with symbolic number, arithmetic, and mental rotation. *Neurosci. Biobehav. Rev.* 103:316-33. doi: 10.1016/j.neubiorev.2019.05.007
7. Goffin, C., and Ansari, D. 2018. Can brain training train your brain? Using the scientific method to get the answer. *Front. Young Minds* 6:26. doi: 10.3389/frym.2018.00026

GEREDIGEERD DOOR: Stephan E. Vogel

WETENSCHAPPELIJKE MENTOR: Elizabeth Johnson

CITATIE: Gilligan KA (2023) Maak ruimte voor ruimtelijk denken! waarom ruimtelijk denken zo belangrijk is om te leren rekenen. Front. Young Minds. doi: 10.3389/frym.2020.00050-nl

VERTALING EN BEWERKING VAN: Gilligan KA (2020) Make Space: The Importance of Spatial Thinking for Learning Mathematics. Front. Young Minds 8:50. doi: 10.3389/frym.2020.00050

BELANGENVERSTRENGELING: De auteurs verklaren dat het onderzoek is uitgevoerd zonder enige commerciële of financiële relaties die zouden kunnen worden opgevat als potentiële belangenverstrengeling.

AUTEURSRECHTEN © 2020 © 2023 Gilligan. Dit is een open-access artikel verspreid onder de voorwaarden van de [Creative Commons Attribution \(CC BY\)](#). Gebruik, verspreiding of reproductie in andere fora is toegestaan, mits de oorspronkelijke auteur(s) en de auteursrechthebbende(n) worden gecrediteerd en de oorspronkelijke publicatie in dit wetenschappelijk tijdschrift wordt geciteerd, in overeenstemming met de gangbare wetenschappelijke beoefening. Geen enkel gebruik, distributie of reproductie is toegestaan dat niet voldoet aan deze voorwaarden.

JONGE REVIEWER

GONI, LEEFTIJD: 11

Ik hou van lezen, gamen en sporten. Ik speel voetbal, basketbal, schermen en hardlopen. Mijn lievelingseten is pho en sushi. Ik hou van geschiedenis, aardrijkskunde en alles wat te maken heeft met dieren. Ik speel piano en spreek Hebreeuws, Engels en ik ben bezig met Chinees te leren. Ik ben net terug in de Verenigde Staten na 1 jaar in Israël te hebben gewoond.

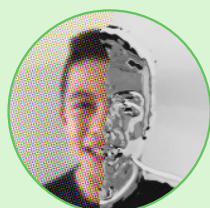
AUTEUR

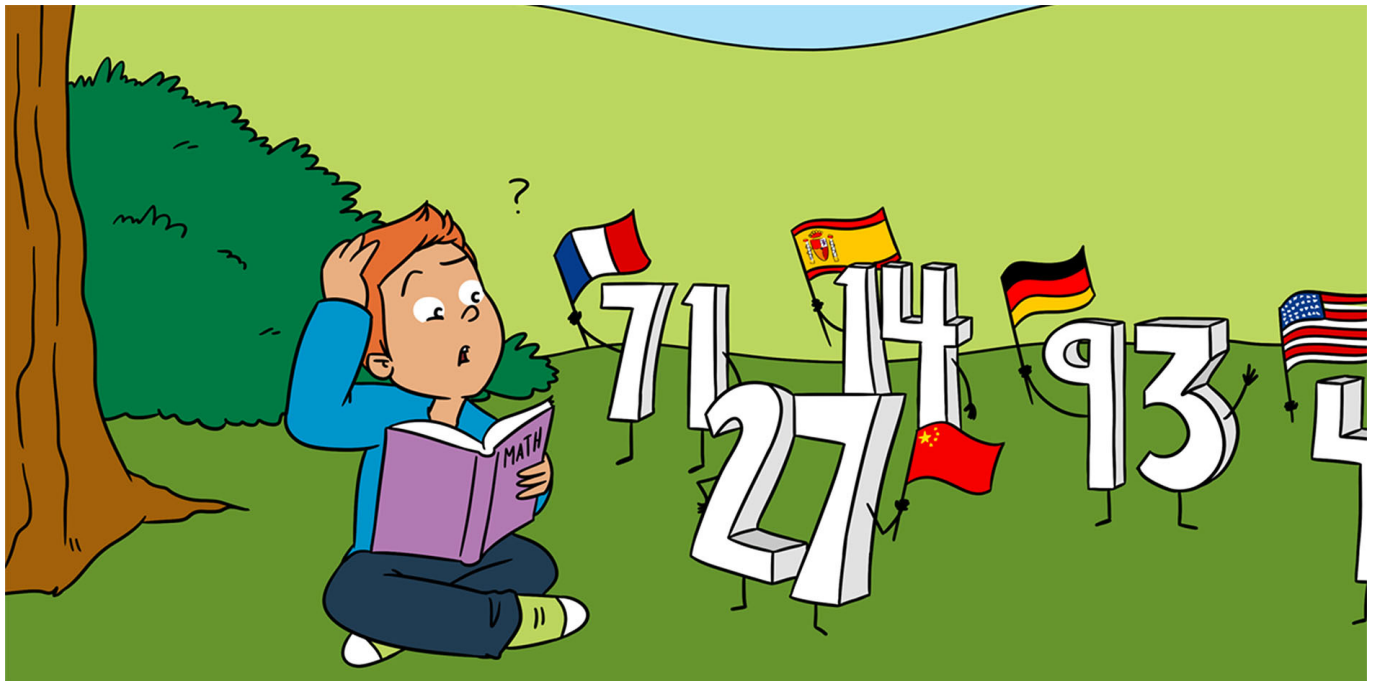
KATIE A. GILLIGAN

Mijn onderzoek gaat over hoe kinderen leren rekenen en de invloed van ruimtelijk denken op rekenprestaties. Ik ben geïnteresseerd in hoe verschillende soorten training kunnen bijdragen aan rekenvaardigheden, zoals computergames voor ruimtelijk denken, video's kijken waarin ruimtelijke strategieën worden uitgelegd, spelen met blokken en Lego. *k.gilligan@surrey.ac.uk

Dutch version provided by
Nederlandse versie verzorgd door

 **JACOBS
FOUNDATION**
Our Promise to Youth





TWEEËNVEERTIG OF VEERTIG-TWEE: LEREN REKENEN IN VERSCHILLENDE TALEN

Julia Bahnmueller^{1,2,3*}, Hans-Christoph Nuerk^{2,4} en Krzysztof Cipora^{1,2,4}

¹Centre for Mathematical Cognition, Loughborough University, Loughborough, Verenigd Koninkrijk

²LEAD Graduate School & Research Network, University of Tübingen, Tübingen, Duitsland

³Neuro-Cognitive Plasticity Laboratory, Leibniz-Institut für Wissensmedien, Tübingen, Duitsland

⁴Department of Psychology, University of Tübingen, Tübingen, Duitsland

JONGE REVIEWERS:



THE
BOMBAY
INTER-
NATIONAL
SCHOOL

LEEFTIJD: 13–14



BRIDGET
LEEFTIJD: 11



SIENA
LEEFTIJD: 10

Rekenen is overal ter wereld hetzelfde. $2 + 2$ is 4 in zowel Frankrijk als China. 7×8 is 56, in de Verenigde Staten en ook in Duitsland. De meeste (maar niet alle!) landen gebruiken dezelfde tekens voor getallen (1, 2, 3, 4...). Maar verschillende landen gebruiken wel verschillende woorden voor deze cijfers, simpelweg omdat ze verschillende talen spreken. In dit artikel geven we voorbeelden van hoe “getalwoorden” er in andere landen uit zien. We laten ook zien hoe verschillende landen omgaan met grotere getallen en waarom dat rekenen soms makkelijker en soms moeilijker kan maken.

CIJFERS EN REKENEN ZIJN BIJNA UNIVERSEEL

Rekenen is iets wat de meeste mensen doen: ik doe het, jij doet het, en zelfs jonge kinderen doen het al voordat ze naar school gaan, bijvoorbeeld als ze knikkers tellen. Ook rekensommen zijn overal

- ¹ Het symbool “ \times ” in 7×8 is het symbool voor vermenigvuldigen. Soms gebruikt men ook “ \cdot ” ($7 \cdot 8$) of “ $*$ ” ($7 * 8$)

HINDOE-ARABISCH NUMERIEK SYSTEEM

Dit is de naam voor de symbolen die de meeste landen gebruiken voor getallen. Het Hindoe-Arabische systeem gebruikt 10 symbolen: 1, 2, 3, 4, 5, 6, 7, 8, 9 en 0. We gebruiken deze 10 symbolen voor getallen onder de tien, en we combineren ze om getallen boven de tien te maken.

PLAATS-WAARDE REGEL

Door deze regel kunnen we alle getallen die we willen opschrijven met maar 10 symbolen (die we al kennen: 1, 2, 3, 4, 5, 6, 7, 8, 9 en 0). De plaats-waarde regel betekent dat de plek waar het symbool staat in een rijtje getallen een betekenis heeft. Bijvoorbeeld, de waarde van de 9 in 92 is 90 (9×10) en de waarde van de 2 in 92 is 2 (2×1). In het getal 29 is het andersom, de waarde van de 9 is nu maar 9 (9×1) en de waarde van de 2 is 20 (2×10). Dit is waarom 92 niet hetzelfde is als 29, ook al wordt het gemaakt van dezelfde symbolen.

hetzelfde: $2 + 2$ is 4, of je nu in Frankrijk of China bent. 7×8 is 56, zowel in de Verenigde Staten als in Duitsland¹. De meeste landen gebruiken het zogenaamde **Hindoe-Arabisch Numeriek Systeem** voor getallen. Dit systeem gebruikt de tien symbolen voor getallen die je natuurlijk wel kent: 1, 2, 3, 4, 5, 6, 7, 8, 9 en 0. We gebruiken deze symbolen als we het over getallen tussen de nul en de tien hebben, en we combineren de symbolen als we het over grotere getallen hebben van boven de tien.

Deze meercijferige getallen volgen de zogenaamde **plaats-waarde regel**. Dat betekent dat de plek waar het cijfer in een rij getallen staat, een betekenis heeft. Daardoor kunnen we zoveel getallen als we willen beschrijven met maar tien cijfers. Bijvoorbeeld, de waarde van de 9 in 92 is 90 (9×10) en de waarde van de 2 in 92 is 2 (2×1). Maar in het getal 29 is het andersom: De waarde van de 9 is maar 9 (9×1) en die van de 2 is 20 (2×10). Dat is waarom 92 niet hetzelfde is als 29, ook al bestaan ze uit dezelfde symbolen.

Het is heel handig dat de meeste landen deze zelfde regels en symbolen gebruiken, want daardoor kunnen we makkelijk met anderen praten over aantallen en berekeningen. Tot nu toe lijkt het dus alsof we één wereldwijde taal hebben voor rekenen. Als je leert rekenen in een land, kun je het ook in een ander land. $2 + 2$ blijft 4, waar ter wereld je ook bent. Toch?

TALen GEBRUIKEN VERSCHILLENDE WOORDEN VOOR GETALLEN: MET VOOR- EN NADELEN VOOR LEREN REKENEN

Er is alleen één klein probleem. Hoewel we allemaal dezelfde symbolen gebruiken voor dezelfde getallen, gebruiken we wel hele verschillende woorden voor deze cijfers. Dit komt simpelweg doordat we verschillende talen spreken. In **Tabel 1** zie je voorbeelden van hoe de cijfers 1-10 worden genoemd in verschillende talen. Zoals je kunt zien, verschilt dit erg per taal (één, one, uno). Logisch, want de meeste andere woorden verschillen ook in verschillende talen. Voor jonge kinderen is het leren van de betekenis van de cijfers 1-10 en de juiste woorden daarbij in de eigen taal de eerste stap van het leren rekenen. Het leren van de tien juiste woorden voor de cijfers 1-10 is even moeilijk voor kinderen die verschillende talen spreken. Ze moeten allemaal tien nieuwe woorden onthouden, of elf, als je ook 0 en 10 meetelt.

Maar voor getallen boven de tien ga je ineens verschillen tussen talen zien (doe de quiz in **Figuur 1!**). In sommige talen zijn de woorden voor meercijferige getallen heel logisch en constant. Het Mandarijn (de meest gesproken taal in China) is daar een voorbeeld van. Het Mandarijnse woord voor 29 betekent letterlijk “twee-tien-negen”. Het woord voor 97 betekent “negen-tien-zeven”. Wetenschappers

noemen dat soort talen **transparant**. Dat betekent dat in het Mandarijn getalwoorden precies passen bij de manier waarop de getallen worden opgeschreven en de plaats-waarde regel duidelijk is: $97 = 9 \times 10 + 7 = \text{"negen-tien-zeven"}$.

Tabel 1

Getalwoorden in verschillende talen. Geen zorgen: je hoeft ze niet allemaal in detail te bekijken. Misschien kun je vooral op de blauwe woorden letten. Met al die blauwe woorden is iets speciaals aan de hand vergeleken met de hele logische woorden in het Mandarijn. Onder alle getallen met 2 symbolen (10-99) zie je hoe deze ongeveer vertaald zouden worden in het Engels. Sommige van deze getallen zijn best wel ingewikkeld qua opbouw. Als je wilt weten hoe deze woorden worden uitgesproken, kun je dat opzoeken op internet. Voor Mandarijn, Frans, Duits en Hindi, kun je kijken op bing.com/translator en het getalwoord invoeren. Voor Baskisch, kun je naar deze YouTube video's kijken: <https://www.youtube.com/watch?v=6eb0J4Vg5ys> (getal 1 t/m 19) en <https://www.youtube.com/watch?v=wPbYCBzsw2A> (getal 20 t/m 39).

	Mandarin	English	French	German	Basque	Hindi	
0	ling	zero	zéro	null	zero, hutsa	shuniye	0
1	yi	one	un	eins	bat	ek	1
2	èr	two	deux	zwei	bi	do	2
3	sān	three	trois	drei	hiru	teen	3
4	sì	four	quatre	vier	lau	chat	4
5	wǔ	five	cinq	fünf	bost	panch	5
6	liù	six	six	sechs	sei	chekh	6
7	qī	seven	sept	sieben	zazpi	saat	7
8	bā	eight	huit	acht	zortzi	aath	8
9	jiǔ	nine	neuf	neun	bederatzi	nao	9
10	shí	ten	dix	zehn	hamar	das	10
11	shí yī [tien een]	eleven	onze [eentien]	elf [elf]	hamaiika [tien een]	gyaarah [eentien]	11
12	shí èr [tien twee]	twelve	douze [tweetien]	zwölf [twaalf]	hamabi [tien twee]	baarah [tweetien]	12
13	shí sān [tien drie]	thirteen	treize [dertien]	dreizehn [drie tien]	hamahiru [tien drie]	tehrāh [dertien]	13
16	shí liù [tien zes]	sixteen	seize [zestien]	sechzehn [zes tien]	hamasei [tien zes]	saalah [zestien]	16
17	shí qī [tien zeven]	seventeen	dix-sept [tien zeven]	siebzehn [zeven tien]	hamazazpi [tien zeven]	satrah [zeventien]	17
20	èr shí [twee tien]	twenty	vingt [twintig]	zwanzig [twintig]	hogei [twintig]	bees [twintig]	20
21	èr shí yī [twee tien een]	twenty-one	vingt et un [twintig en een]	einundzwanzig [een en twintig]	hogeita bat [twintig en een]	ikis [een en twintig]	21
29	èr shí jiǔ [twee tien negen]	twenty-nine	vingt-neuf [twintig-negen]	neunundzwanzig [negen en twintig]	hogeita bederatzi [twintig en negen]	unatis [een voor dertig]	29
48	sì shí bā [vier tien acht]	forty-eight	quarante-huit [veertig-acht]	achtundvierzig [acht en veertig]	borrogeita zortzi [veertig en acht]	adialis [acht en veertig]	48
75	qī shí wǔ [zeven tien vijf]	seventy-five	soixante-quinze [zestig-vijftien]	fünfundsiebzig [vijf en zeventig]	hirurogeita hamabost [zestig en tien vijf]	chayahatar [vijf en zeventig]	75
97	jiǔ shí qī [negen tien zeven]	ninety-seven	quatre-vingt-dix-sept [vier-twintig-tien-zeven]	siebenundneunzig [zeven en negentig]	laurogeita hamazazpi [tachtig en tien zeven]	sataanave [zeven en negentig]	97
100	yī bǎi [een honderd]	one hundred	cent [honderd]	(ein)hundred [(een)honderd]	ehun [honderd]	ek sau [een honderd]	100

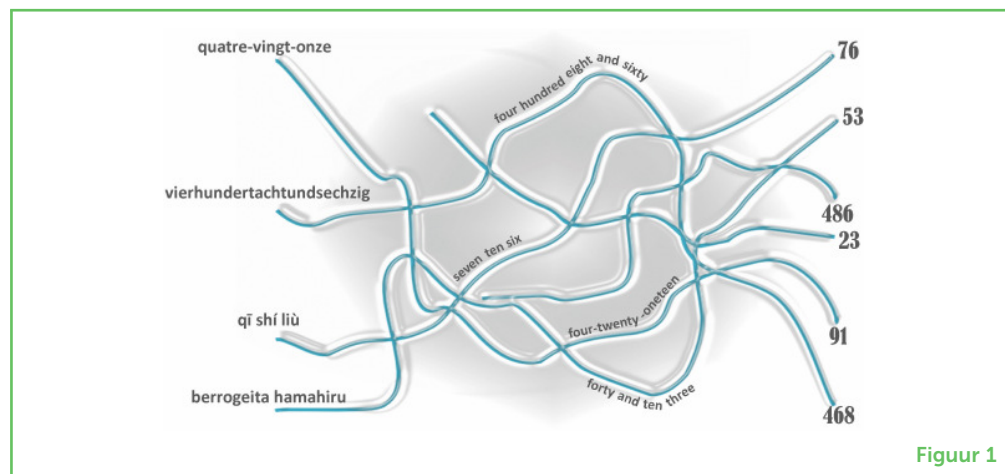
Tabel 1

Wetenschappers hebben ontdekt dat leren rekenen makkelijker is voor kinderen met zo'n transparante taal. Het probleem is dat niet alle landen zo duidelijk zijn. Hoe ziet zo'n onduidelijk getalwoord eruit? We kijken weer naar het getal 97. In het Baskisch (vooral gesproken in een regio in Noord-Spanje) zeggen mensen "laurogeita hamazazpi", wat "tachtig-tien-zeven" betekent ($80 + 10 + 7$). In het Frans zeggen ze "quatre-vingt-dix-sept", oftewel "vier-twintig-tien-zeven" ($4 \times 20 + 10 + 7$). Deze getalwoorden zitten dus nogal complex in elkaar. In het

Hindi (één van de meest gesproken talen in India), zijn er een aantal woorden waarbij mensen aftreksommen in plaats van optelsommen gebruiken om het getalwoord te maken. Bijvoorbeeld, voor het getal 29 zeggen ze “unatis”, wat “één voor dertig” betekent ($30 - 1$).

Figuur 1

Welk getalwoord (links) hoort bij welk Hindoe-Arabisch symbool (rechts)? Probeer het maar eerst zelf en volg daarna de lijn om te zien of het klopt. In dit artikel vind je een aantal hints waardoor je het misschien al kunt oplossen. Ook in Tabel 1 kun je informatie vinden om je hierbij te helpen.



Figuur 1

TRANSPARANT

Transparant is een ander woord voor duidelijk of logisch opgebouwd. Als we het over getalwoorden hebben, betekent transparant dat een taal getalwoorden heeft die kloppen met de manier waarop je de symbolen voor getallen opschrijft. In transparante talen zie je bijvoorbeeld duidelijk de plaats-waarde regel terugkomen (bv. $97 = 9 \times 7 + 7 =$ “negen-tien-zeven”).

GETALWOORD OMDRAAIING

In sommige talen (zoals Nederlands) wordt de volgorde van symbolen in getalwoorden omgedraaid. Bijvoorbeeld, in plaats van veertig-twee zeggen we voor het getal 42, zeggen we twee-en-veertig. Dit wordt ook wel getalwoord omdraaiing of inversie genoemd.

In Tabel 1 zie je de woorden voor sommige meercijferige getallen in verschillende talen. Alle blauwe woorden zijn op een bepaalde manier uniek. Vooral de getallen tussen 10-20 zijn vaak moeilijk te leren in verschillende talen. Zou het niet duidelijker zijn om gewoon “één-tien-twee” te zeggen in plaats van “twaalf” voor 12? Twaalf is weer een compleet nieuw woord om te leren, terwijl je voor “een-tien-twee” maar één regel hoeft te leren die je steeds opnieuw kunt gebruiken. “Veertien” zeggen in plaats van “tienvier” (of zelfs “één-tien-vier zoals in het Mandarijn) is ook een beetje onhandig. Waarom draaien we soms de volgorde om, en noemen we het kleinste getal eerst? Dat omdraaien wordt ook wel “**getalwoord omdraaiing**” genoemd. In het Engels worden maar een paar woorden tussen 10-20 omgedraaid, namelijk “thirteen” (13) tot en met “nineteen” (19). In andere talen, zoals Duits, Nederlands, Arabisch en Maltees, worden alle getallen met twee cijfers (10-99) omgedraaid (97 is “zeven-en-negentig”). Voor grotere getallen wordt het nog ingewikkelder. 234 is “twee-honderd-vier-en-dertig”. Dan wordt het meest linker cijfer (2) als eerste genoemd, dan het meest rechter (4), en dan pas het middelste. Eigenlijk heel onlogisch!

Het is dan ook niet verassend dat kinderen in talen met zulke omgedraaide getalwoorden meer moeite hebben met grote getallen. Duitse kinderen bijvoorbeeld maken meer dan vijf keer zoveel fouten als ze getallen moeten opschrijven dan Japanse kinderen, die getallen niet hoeven om te draaien [1]. Ongeveer de helft van de fouten die Duitse kinderen maakten bestond uit dit soort omdraai-fouten [2]. Als ze “vijf-en-veertig” horen schrijven ze bijvoorbeeld vaak 54 op in plaats van het juiste antwoord, 45. Dus, als je moeite hebt met getallen, kun je de ontransparante Nederlandse taal deels de schuld geven.

GELUKKIG LEREN DE MEESTE KINDEREN HET WEL NA GOED OEFENEN

We weten nu al dat kinderen die een taal spreken met ontransparante getalwoorden meer moeite hebben met rekenen vergeleken met kinderen die een transparante taal spreken. Als kinderen ouder worden hebben ze dit probleem meestal niet meer. Is het leren van ontransparante getalwoorden dan simpelweg een kwestie van meer tijd en meer oefenen, of is het echt een probleem? Het blijkt wel dat zelfs met veel oefenen, sommige kinderen nog steeds problemen blijven houden. Een onderzoek liet bijvoorbeeld zien dat kinderen die moeite hebben met getalwoorden als ze zeven jaar oud zijn, ook meer moeite hebben met rekenen als ze tien jaar oud zijn [3]. Dat laat zien dat we kinderen die moeite hebben met getalwoorden in de gaten moeten houden, want wat extra hulp kan later veel helpen bij het voorkomen van problemen met rekenen. Hoe eerder je begint met extra oefenen, hoe beter!

MAAR DE PROBLEMEN KUNNEN WEER OPNIEUW KOMEN ALS JE PROBEERT TE REKENEN IN EEN ANDERE TAAL

Steeds meer mensen reizen naar andere landen en sommigen gaan zelfs wonen in een land waar ze een andere taal moeten leren spreken. Soms heeft de nieuwe taal een andere manier om de getalwoorden te maken, waardoor je die nieuwe woorden uit je hoofd moet leren. Dit kan een groot probleem zijn, bijvoorbeeld, als je vanuit Polen (geen omdraaiing) naar Duitsland (wel omdraaiing) verhuist. Krzysztof, één van de schrijvers van dit artikel, is zo iemand. Elke keer dat hij boodschappen doet en probeert te betalen, raakt hij in de war. Als de kassamedewerker "Neunundzwanzig euro, bitte!" zegt ["negen-en-twintig euro, alsjeblieft"], denkt hij altijd dat het zijn boodschappen 92 euro kosten. Zijn eerste gedachte is dan altijd: "Hoe krijg ik het voor elkaar om bijna honderd euro kwijt te zijn aan eten voor maar drie dagen?". Ook al weet hij eigenlijk wel dat hij de getallen moet omdraaien, en ook al doet hij zelf onderzoek naar precies dit onderwerp, het duurt toch altijd even tot hij van de schrik bekomen is en het juiste bedrag betaalt.

Het leren van de juiste getalwoorden in een nieuwe taal is een goede start om te leren rekenen, hoewel zelfs dat dus al erg lastig kan zijn. En zelfs als je eenmaal de juiste nieuwe getalwoorden weet, betekent dat nog niet dat je ook al kunt rekenen in de nieuwe taal. Vaak rekenen mensen liever in één taal, en dat is meestal hun oude taal en niet hun nieuwe taal. Mensen kiezen waarschijnlijk meestal om de getalwoorden eerst te vertalen in hun moedertaal, en het rekenen dan in de moedertaal te doen.

CONCLUSIE

We gebruiken getallen en getalwoorden elke dag en meestal staan we daar niet zo bij stil. Het gaat bijna altijd vanzelf, nadat je als kind eerst veel hebt geoefend. Maar als je goed naar getalwoorden in verschillende talen kijkt, is het fascinerend om te zien hoeveel die verschillen, vooral bij grote getallen. Hoewel getalwoorden veel verschillen, volgen ze meestal specifieke regels over hoe ze opgebouwd zijn. Kijk nog eens naar de quiz in [Figuur 1](#). Nu je een paar van deze regels hebt gezien, kun je kijken of je sommige getallen beter kunt ontrafelen. Door onderzoek te doen naar getalwoorden kunnen we beter begrijpen waarom kinderen in sommige talen meer moeite hebben met rekenen dan in andere talen. Het helpt misschien ook om sneller te zien welke kinderen moeite hebben met rekenen, zodat we snel kunnen ingrijpen om hen te helpen. Natuurlijk zijn deze regels voor getalwoorden niet het enige wat belangrijk is voor leren rekenen, maar het is duidelijk dat het een belangrijk onderdeel is.

DANKWOORD

We willen graag Ani (11 jaar) bedanken voor haar commentaar op een eerdere versie van dit artikel. We willen iedereen bedanken die meegewerkt heeft met de vertaling van de artikelen in deze Collectie om ze toegankelijker te maken voor kinderen buiten Engelstalige landen, en voor de Jacobs Foundation voor het verstrekken van de benodigde fondsen voor het vertalen van de artikelen. We willen ook Nienke van Atteveldt en Sabine Peters bedanken voor de Nederlandse vertaling.

REFERENTIES

1. Moeller, K., Zuber, J., Olsen, N., Nuerk, H.-C., and Willmes, K. 2015. Intransparent German number words complicate transcoding—a translingual comparison with Japanese. *Front. Psychol.* 6:740. doi: 10.3389/fpsyg.2015.00740
2. Zuber, J., Pixner, S., Moeller, K., and Nuerk, H.-C. 2009. On the language-specificity of basic number processing: transcoding in a language with inversion and its relation to working memory capacity. *J. Exp. Child Psychol.* 102:60–77. doi: 10.1016/j.jecp.2008.04.003
3. Moeller, K., Pixner, S., Zuber, J., Kaufmann, L., and Nuerk, H.-C. 2011. Early place-value understanding as a precursor for later arithmetic performance—a longitudinal study on numerical development. *Res. Dev. Disabil.* 32:1837–51. doi: 10.1016/j.ridd.2011.03.012

GEREDIGEERD DOOR: [Stephan E. Vogel](#)

WETENSCHAPPELIJKE MENTORS: [Ariel Starr](#) en [Shubha Tole](#)

CITATIE: Bahnmueller J, Nuerk H-C en Cipora K (2023) Tweeënveertig of veertig-twee: Leren rekenen in verschillende talen. *Front. Young Minds*. doi: 10.3389/frym.2020.00084-nl

VERTALING EN BEWERKING VAN: Bahnmueller J, Nuerk H-C and Cipora K (2020) Forty-Two or Two-and-Forty: Learning Maths in Different Languages. *Front. Young Minds* 8:84. doi: 10.3389/frym.2020.00084

BELANGENVERSTRENGELING: De auteurs verklaren dat het onderzoek is uitgevoerd zonder enige commerciële of financiële relaties die zouden kunnen worden opgevat als potentiële belangenverstrengeling.

AUTEURSRECHTEN © 2020 © 2023 Bahnmueller, Nuerk en Cipora. Dit is een open-access artikel verspreid onder de voorwaarden van de [Creative Commons Attribution \(CC BY\)](#). Gebruik, verspreiding of reproductie in andere fora is toegestaan, mits de oorspronkelijke auteur(s) en de auteursrechthebbende(n) worden gecrediteerd en de oorspronkelijke publicatie in dit wetenschappelijk tijdschrift wordt geciteerd, in overeenstemming met de gangbare wetenschappelijke beoefening. Geen enkel gebruik, distributie of reproductie is toegestaan dat niet voldoet aan deze voorwaarden.

JONGE REVIEWERS

THE BOMBAY INTERNATIONAL SCHOOL, LEEFTIJD: 13–14

Wij zitten in "grade 8" van de Bombay Internationale School (2 groepen van 20 studenten). Wij vonden het heel interessant om deze artikelen van *Frontiers for Young Minds* te beoordelen. We vinden het leuk om onze schrijf-skills te oefenen door zelf feedback te geven op een ander artikel. Wij houden van leren, ontdekken en steeds onze grenzen verder te verleggen. En we denken dat er zoveel te leren valt bij *Frontiers for Young Minds*!

BRIDGET, LEEFTIJD: 11

Hoi, ik ben Bridget, ik houd van precies dezelfde dingen als Siena – leren is leuk!

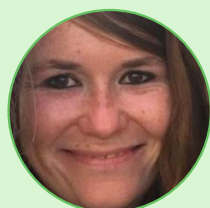
SIENA, LEEFTIJD: 10

Hoi, mijn naam is Siena, ik houd van lezen, schrijven en katten, en ik zit in "grade 5".

AUTEURS

JULIA BAHNMUELLER

In mijn onderzoek kijk ik naar hoe kinderen leren rekenen, en ook hoe volwassenen met cijfers en getallen omgaan. Ik vind het vooral interessant hoe het soms helpt en soms niet om in een andere taal te leren rekenen. Ik vind het ook heel belangrijk om te zorgen dat de dingen die wij uit ons onderzoek leren, worden gebruikt om kinderen te helpen die moeite hebben met rekenen, lezen of schrijven. Mijn eigen



moedertaal is Duits, maar ik spreek ook Engels en Frans, en ik ben bezig met Spaans leren. *j.bahnmuller@lboro.ac.uk



HANS-CHRISTOPH NUERK

Als kind was ik zelf best laat met het leren van taal. Ik begon pas te praten toen ik ongeveer 2 jaar oud was. Ik weet nog dat ik op vakantie een klein meisje tegen kwam van mijn leeftijd die al wel kon praten. Wel was ik best vroeg met het leren van getallen en rekenen. Misschien dat ik daardoor geïnteresseerd ben geraakt in hoe taal het leren rekenen beïnvloedt. Is rekenen makkelijker in sommige talen? Heb je überhaupt taal nodig om getallen te leren? Heb je taal vooral nodig bij moeilijke rekenproblemen? Dat zijn vragen waar ik me mee bezig houd.

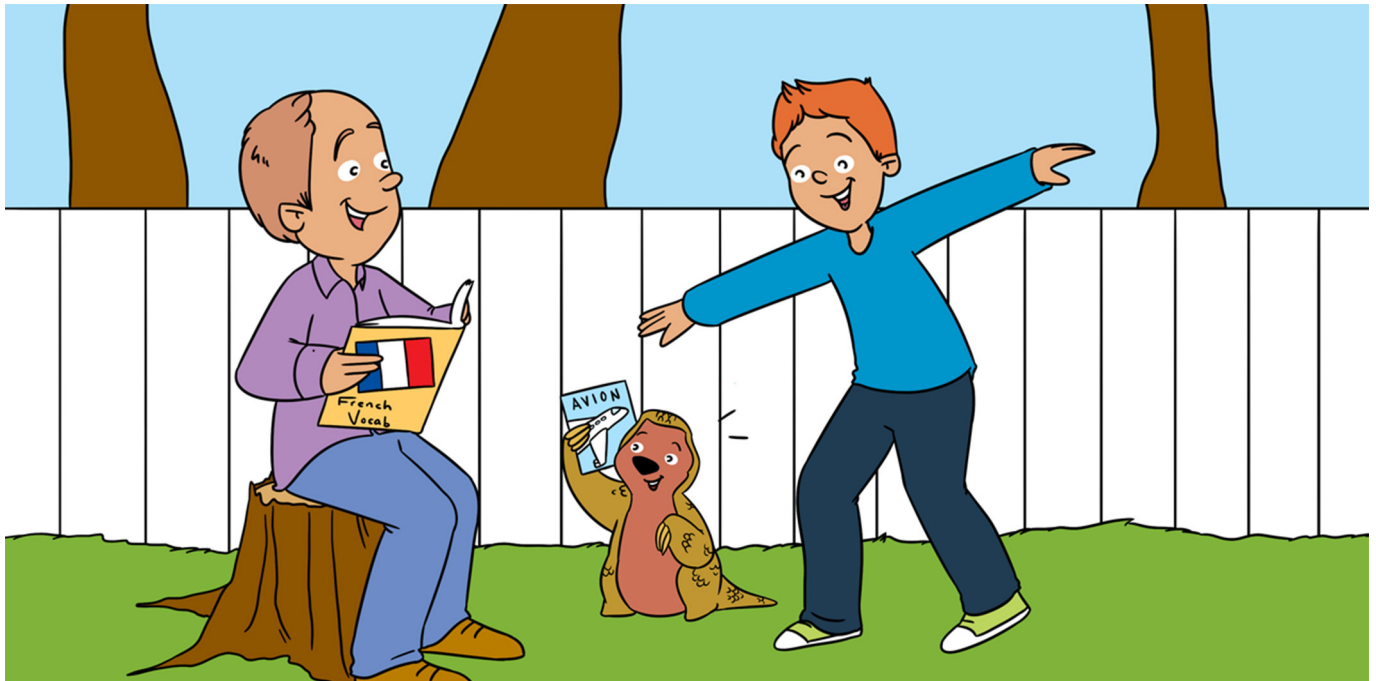


KRZYSZTOF CIPORA

Ik werk als onderzoeker in Loughborough in het Verenigd Koninkrijk. Oorspronkelijk kom ik uit Polen. Ik heb ook een paar jaar in Duitsland gewoond. Pools is mijn moedertaal en daardoor heb ik waarschijnlijk zo'n moeite met Duitse getallen! In mijn werk onderzoek ik hoe mensen nadenken over getallen, en wat voor soort andere informatie mensen gebruiken om getallen te begrijpen (zoals taal). Daarnaast ben ik geïnteresseerd in nog veel meer andere onderwerpen binnen de wetenschap. In mijn vrije tijd houd ik van fietsen en wandelen. Mijn lievelingsdieren zijn pinguïns, panda's, alpaca's en koala's.

Dutch version provided by
Nederlandse versie verzorgd door

 **JACOBS
FOUNDATION**
Our Promise to Youth



HOE KUNNEN WE WOORDEN IN EEN VREEMDE TAAL GEMAKKELIJKER LEREN?

Brian Mathias^{1,2*}, Christian Andrä^{3,4}, Katja M. Mayer⁵, Leona Sureth², Andrea Klingebiel², Gesa Hartwigsen⁶, Manuela Macedonia^{2,7} en Katharina von Kriegstein^{1,2}

¹Faculty of Psychology, Technische Universiteit Dresden, Dresden, Duitsland

²Onderzoeksgroep Neural Mechanisms of Human Communication, Max Planck Institute for Human Cognitive and Brain Sciences, Leipzig, Duitsland

³Department of Teacher Education and School Research, Universiteit van Leipzig, Leipzig, Duitsland

⁴Department of School Sport, Faculty of Sports Science, Institute of Sports Psychology and Physical Education, Universiteit van Leipzig, Leipzig, Duitsland

⁵Institute of Psychology, Universiteit van Münster, Münster, Duitsland

⁶Lise Meitner Research Group Cognition and Plasticity, Max Planck Institute for Human Cognitive and Brain Sciences, Leipzig, Duitsland

⁷Institute for Information Engineering, Johannes Kepler Universiteit, Linz, Oostenrijk

JONGE REVIEWERS:



ETHAN

LEEFTIJD: 10



JAIDEN

LEEFTIJD: 13

Heb je ooit geprobeerd een woord in een vreemde taal te onthouden? Hoe heb je dat gedaan? In verschillende onderzoeken hebben we de gunstige effecten van het bekijken van plaatjes en het maken van gebaren tijdens het leren van woorden in een vreemde taal onderzocht. Basisschoolleerlingen en volwassenen konden door afbeeldingen en gebaren de betekenis van woorden in een vreemde taal beter onthouden dan wanneer ze de betekenissen leerden door alleen maar te luisteren. Voor kinderen hielpen plaatjes en gebaren evenveel. Voor volwassenen waren gebaren nuttiger dan

afbeeldingen. Zowel visuele als motorische hersengebieden hielpen bij het leren van de woorden in de vreemde taal. Onze onderzoeken laten zien dat het leren van woorden met plaatjes en gebaren nuttig is voor mensen die een vreemde taal leren omdat plaatjes en gebaren zowel kinderen als volwassenen de mogelijkheid geven de betekenis van woorden via meerdere zintuigen te ervaren.

HOE LEREN WE WOORDEN IN EEN VREEMDE TAAL?

Talen zijn belangrijk omdat we daarmee met elkaar communiceren. Alle mensen die nu op aarde leven, spreken samen meer dan 6000 verschillende talen [1]. Elk van die talen heeft tienduizenden woorden die verwijzen naar objecten in de omgeving, mensen, plaatsen, gevoelens en gedachten. Aangezien jij dit artikel leest, dat in de Nederlandse taal is geschreven, is Nederlands mogelijk je **moedertaal** (je eerste taal: T1) - de taal die je al vanaf je geboorte hebt geleerd. Je hebt misschien ook Nederlands op school geleerd, van leerkrachten of uit boeken, of door Nederlandse woorden buiten school te horen. Als dit het geval is, dan heb je waarschijnlijk Nederlands als **tweede taal** geleerd (T2). Eén van de belangrijkste stappen voor het leren van een nieuwe taal is het leren van de **woordenschat** van die taal. Dit kost veel tijd en oefening.

Om een T2-woord te leren, moeten we horen hoe het woord wordt uitgesproken of zien hoe het wordt geschreven en de betekenis van dat woord leren. Kinderen en volwassenen gebruiken veel strategieën om T2-woorden te leren. Ze luisteren bijvoorbeeld naar geluidsopnames of stampen woordenlijsten. Recent onderzoek wijst erop dat zulke technieken minder effectief zijn dan strategieën die gebruik maken van **verrijking** [2]. Met verrijking wordt informatie bedoeld die tijdens het leren wordt getoond en waarmee we de betekenis van een woord via meerdere zintuigen kunnen ervaren [3]. In plaats van een T2-woord te leren door er alleen maar naar te luisteren, kunnen we bijvoorbeeld naar een gerelateerd plaatje kijken terwijl we naar het woord luisteren. Dit is wat er gebeurt bij het lezen van prentenboeken en bij het leren van woordenschat met behulp van prentenkaarten. Een andere verrijkingsstrategie kan zijn om gebaren te maken die de betekenis van een woord laten zien terwijl je ernaar luistert. Het woord vliegtuig kan bijvoorbeeld worden weergegeven door onze armen door de lucht te bewegen alsof het vleugels zijn.

Plaatjes bekijken tijdens het luisteren naar T2-woorden is een vorm van multisensorische verrijking. Deze techniek gebruikt namelijk informatie van meerdere zintuigen: zien en horen. Het maken van gebaren tijdens het luisteren naar T2-woorden is een vorm van sensomotorische verrijking omdat deze techniek niet alleen informatie uit de zintuigen gebruikt, maar ook lichaamsbewegingen.

MOEDERTAAL (T1)

De taal die je vanaf je geboorte hebt geleerd.

TWEDE TAAL (T2)

Alle talen die iemand spreekt en niet de moedertaal zijn.

WOORDENSCHAT

De verzameling woorden die een taal rijk is.

VERRIJKING

De aanwezigheid van extra informatie tijdens het leren wat helpt de betekenis van het nieuwe woord uit te beelden.

HYPOTHESE

Een voorlopige stelling die aangeeft wat men verwacht te vinden in het onderzoek.

Wij hebben getest welk type verrijking het meest nuttig is voor T2-leren [3, 4] en hoe de hersenen het T2-leren ondersteunen [3, 5, 6]. Volwassenen en kinderen leerden beiden T2-woorden met behulp van drie verschillende methoden: luisteren naar de woorden en ondertussen plaatjes bekijken (multisensorische verrijking), luisteren naar de woorden en ondertussen gebaren maken (sensomotorische verrijking) en alleen luisteren naar de woorden (geen verrijking). Onze **hypothese** was dat kijken naar plaatjes en gebaren maken tijdens het leren kinderen en volwassenen zou helpen beter te leren dan wanneer ze alleen zouden luisteren.

HELPEN PLAATJES EN GEBAREN VOLWASSENEN WOORDEN IN EEN VREEMDE TAAL TE LEREN?

Onze hypothese hebben we eerst getest bij jongvolwassenen [3]. Tweeëntwintig volwassenen hoorden T2-woorden en de bijbehorende T1-vertalingen gedurende een training van vijf dagen. De volwassenen leerden woorden die ze nog nooit eerder hadden gehoord, zoals *diwume* en *giketa*. Een volledige lijst van de woorden die de volwassenen moesten leren, vind je [hier](#). Sommige woorden werden gekoppeld aan plaatjes ([Figuur 1](#)). Toen de volwassenen bijvoorbeeld het vreemde woord voor *tent* hoorden, zagen ze ook een tekening van een tent. Andere woorden werden gekoppeld aan video's van een actrice die gebaren maakte. Een video van een actrice die uit een denkbeeldige fles dronk, werd bijvoorbeeld gekoppeld aan het woord dat *fles* betekende. De volwassenen maakten het gebaar tegelijkertijd met de actrice. De rest van de woorden werden geleerd door alleen te luisteren naar elk T2-woord en de bijbehorende T1-vertaling.

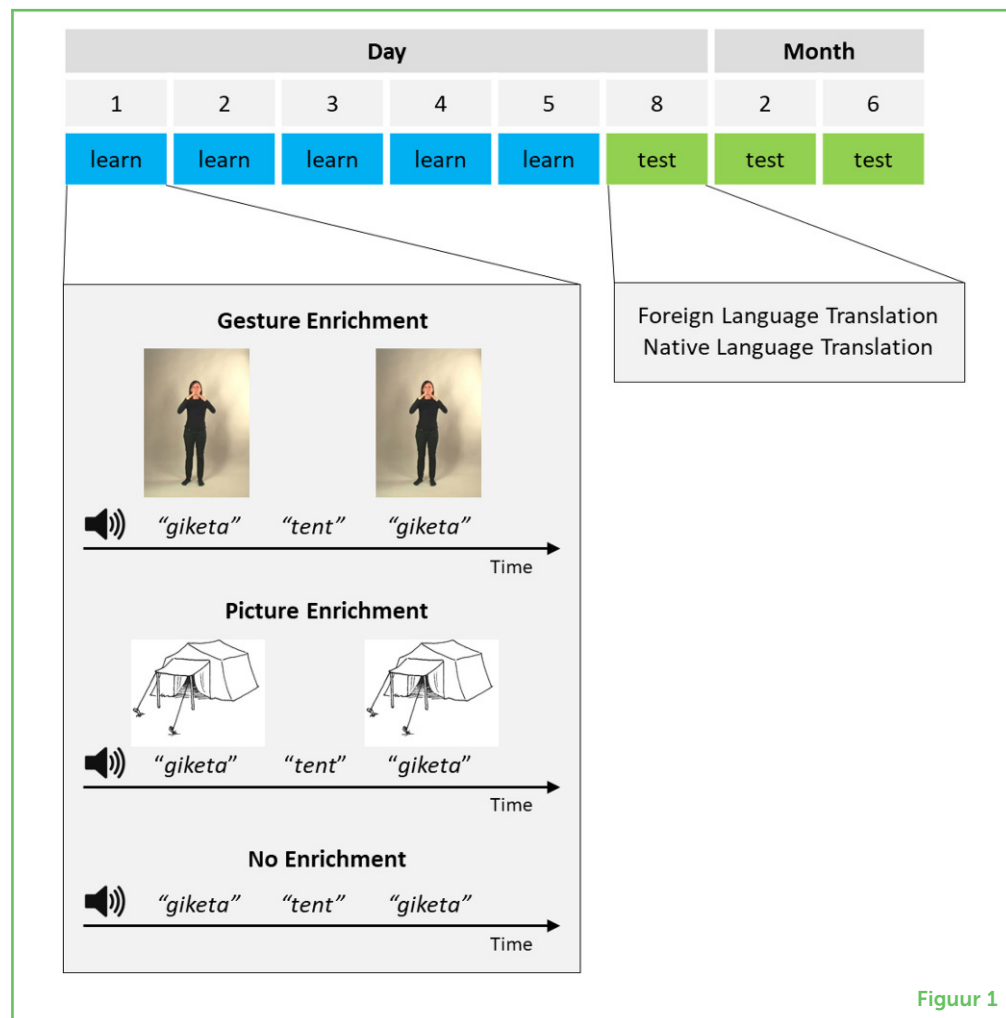
De woordenschat werd 8 dagen, 2 maanden en 6 maanden na het leren van de vreemde woorden getest. In één van de testen kregen de volwassenen een lijst van alle T1-woorden waarbij zij hun T2-vertalingen opschreven. In een andere test kregen ze een lijst met alle T2-woorden waarbij zij hun T1-vertalingen opschreven. We telden de testcores bij elkaar op. We ontdekten dat volwassenen hogere testcores hadden voor de geleerde woorden met zowel plaatjes als gebaren dan zonder verrijking, en dat deze voordelen na 6 maanden nog steeds te zien waren [3]. We vonden ook dat plaatjes en gebaren even nuttig waren op de korte termijn (8 dagen en 2 maanden na het leren), maar op de lange termijn (6 maanden na het leren) was leren met gebaren nuttiger dan leren met plaatjes ([Figuur 2](#)).

HOE ZIT HET BIJ KINDEREN?

Vervolgens hebben we getest of verrijking door middel van gebaren ook kinderen zou helpen [4]. Zevenennegentig 8-jarige Duitse schoolkinderen leerden gedurende vijf dagen Engelse T2-woorden. Ze leerden de woorden met behulp van plaatjes, met behulp van gebaren

Figuur 1

De testopzet voor het leren van een woorden in een vreemde taal. Volwassenen en kinderen leerden 5 dagen lang woorden in een vreemde taal – soms door ook naar plaatjes te kijken (multisensorische verrijking, picture enrichment), soms door gebaren te maken (sensomotorische verrijking, gesture enrichment), en soms door alleen naar het woord te luisteren (geen verrijking, no enrichment). De woordenschat van de volwassenen en kinderen werd getest 8 dagen, 2 maanden en 6 maanden na het leren. Ze moesten T1-woorden vertalen in T2 en T2-woorden vertalen in T1.



Figuur 1

of zonder verrijking (Figuur 1). De kinderen leerden Engelse woorden die ze tijdens hun lessen Engels nog nooit hadden gezien of gehoord. Ze voltooiden dezelfde woordenschattesten als volwassenen 8 dagen, 2 maanden en 6 maanden na het leren. De kinderen gaven hun antwoorden door te spreken in plaats van te schrijven.

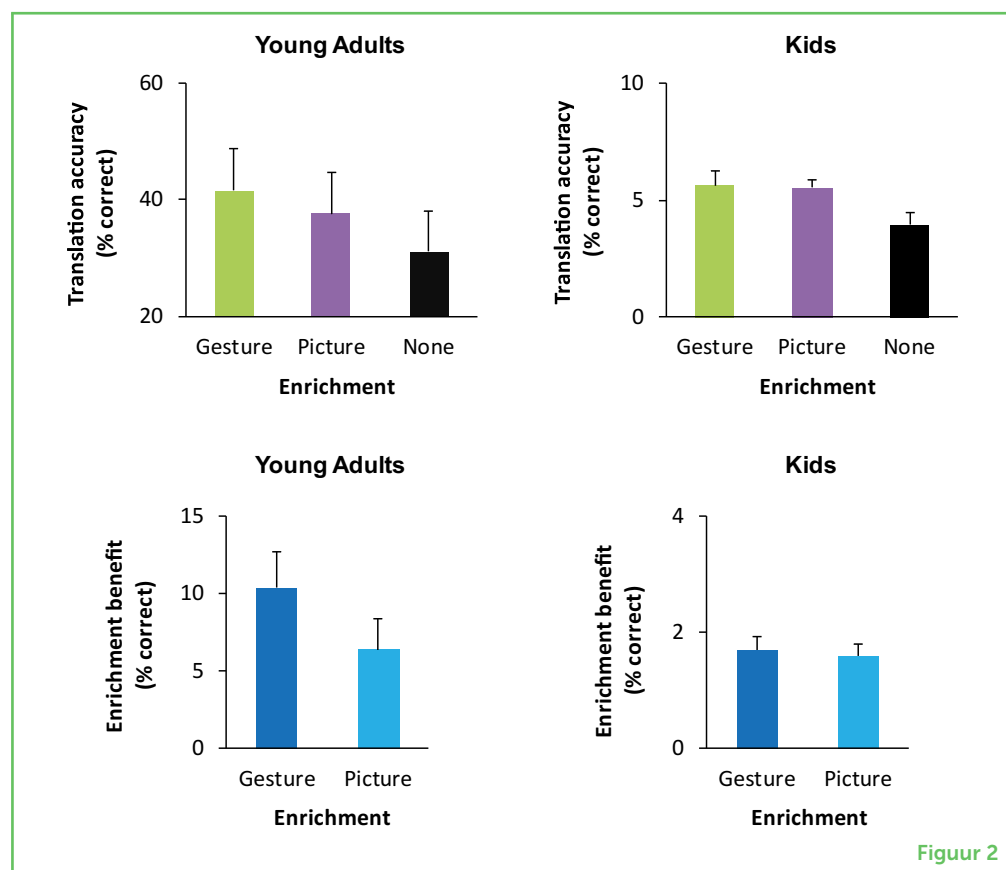
De kinderen hadden hogere testcores voor woorden die met plaatjes en gebaren waren geleerd in vergelijking met geen verrijking 8 dagen, 2 maanden en 6 maanden na het leren. Net als bij de volwassenen waren plaatjes en gebaren even nuttig op de korte termijn (8 dagen en 2 maanden na het leren). Echter, in tegenstelling tot bij de volwassenen, waren 6 maanden na het leren de testcores van de kinderen met gebarenverrijking gelijk aan de testcores van de kinderen met beeldverrijking (Figuur 2). Dit resultaat suggereert dat gebaren en plaatjes even nuttig waren voor het T2-leren van kinderen. De scores van de kinderen waren over het algemeen lager. Dit kan zijn geweest omdat de kinderen minder training kregen dan de volwassenen.

Figuur 2

Testresultaten voor vertaling. (Boven) Scores voor jongvolwassenen (links) en kinderen (rechts) op de vertaaltests die 6 maanden na het leren van een vreemde taal zijn afgenomen [3, 4]. Gebaren (groene balken) en afbeeldingen (paarse balken) hielpen zowel jongvolwassenen als kinderen om de woorden in een vreemde taal te leren. De lijnen bovenop elke balk zijn een schatting van hoeveel variatie er was in de testcores voor alle jongvolwassenen of kinderen. (Onderkant) Scores voor de niet-verrijkte woorden werden afgetrokken van scores voor de woorden die met verrijking werden geleerd, om het verrijkingsvoordeel te laten zien. Voor volwassenen was het verrijkingsvoordeel voor woorden die met gebaren werden geleerd groter dan het verrijkingsvoordeel voor woorden die met afbeeldingen werden geleerd, wat betekent dat gebaren nuttiger waren dan afbeeldingen.

BIOLOGISCHE BEWEGING (MOTION) SUPERIEURE TEMPORALE SULCUS (bmSTS)

Een deel van de hersenen dat reageert als je andere mensen ziet bewegen.



Figuur 2

WELKE HERSENGEBIEDEN ZIJN BETROKKEN BIJ HET LEREN VAN WOORDEN IN EEN VREEMDE TAAL?

Onze volgende stap was om te proberen te begrijpen op welke manier multisensorische en sensomotorische verrijking hielp bij het leren van T2-woorden. Om deze vraag te helpen beantwoorden, richtten we ons op de hersenen. We weten dat andere mensen zien bewegen reacties kan veroorzaken in een hersengebied dat de **biologische beweging (motion) superieure temporale sulcus (bmSTS)** wordt genoemd [7], en dat zelf bewegen reacties kan voortbrengen in een hersengebied dat de **motorische cortex** wordt genoemd [8]. We voorspelden dat de bmSTS en de motorische cortex meer zouden reageren wanneer kinderen en volwassenen met gebaren verrijkte T2-woorden zouden horen dan wanneer ze met plaatjes verrijkte T2-woorden zouden horen. We maakten een vergelijkbare voorspelling voor de T2-woorden die werden geleerd met behulp van plaatjes: we voorspelden dat een visueel hersengebied, dat het **laterale occipitale complex (LOC)** wordt genoemd, meer zou reageren wanneer kinderen en volwassenen met plaatjes verrijkte T2-woorden zouden horen in vergelijking met niet-verrijkte T2-woorden.

Tot nu toe hebben we deze hypothesen getest bij volwassenen [3]. Om te zien welke van hun hersengebieden actief waren, werd er bij 22 volwassenen 5 dagen na het leren van een T2-woordenschat

MOTORISCHE CORTEX

Een deel van de hersenen dat beweging bestuurt door je spieren aan te sturen.

LATERALE OCCIPITALE COMPLEX (LOC)

Een visueel hersengebied dat reageert op het zien van mensen en dingen.

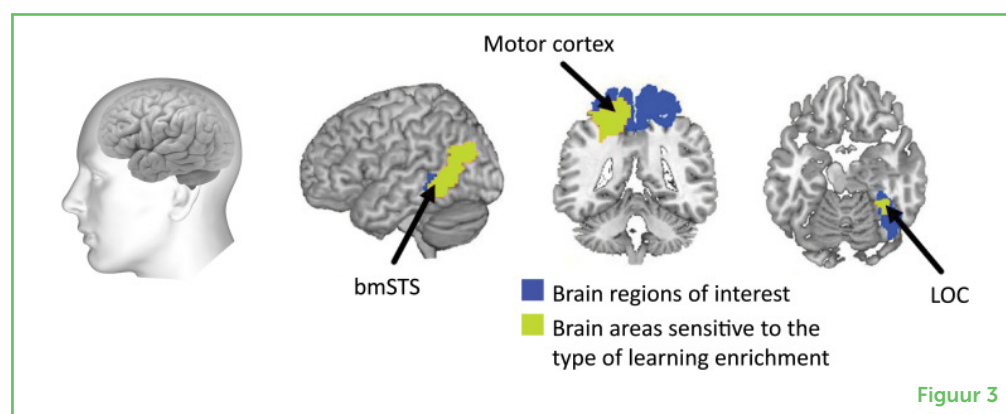
Figuur 3

Resultaten van hersenscans. De twee afbeeldingen links zijn het linkeroppervlak van de hersenen en de twee afbeeldingen rechts laten de binnenkant van de hersenen zien. Hersengebieden die visuele beweging, beweging en visuele informatie verwerken zijn blauw gekleurd. Hersengebieden die helpen bij het vertalen van woorden uit een vreemde taal na het leren met verrijking door plaatjes of gebaren zijn lichtgroen gekleurd.

TRANSCRANIËLE MAGNETISCHE STIMULATIE (TMS)

Een hersen-onderzoeksmethode op basis van kleine magnetische signalen.

een hersenscan gemaakt. Meer informatie over hoe je met een hersenscan hersenactiviteit meet, vind je in dit Young Minds-artikel [9]. We onderzochten reacties binnen de bmSTS, motorische cortex en LOC terwijl de volwassenen T2-woorden hoorden en vertaalden (Figuur 3). We ontdekten dat reacties in de LOC ons vertelden of een woord was geleerd met behulp van plaatjes, en reacties in de bmSTS en motorische cortex ons vertelden of een woord met behulp van gebaren was geleerd. Deze resultaten laten zien dat specifieke hersenreacties een verband hebben met de gunstige effecten van beeld- en gebarenverrijking.



In wetenschappelijk onderzoek is één methode meestal niet voldoende om te bewijzen dat een conclusie juist of onjuist is. De reden hiervoor is dat alle methoden specifieke sterke en zwakke kanten hebben. We hebben daarom ook met behulp van een methode die **transcraniële magnetische stimulatie (TMS)** heet onderzocht of de bmSTS en de motorische cortex de gunstige effecten van T2-verrijking veroorzaken [5, 6]. Tijdens TMS kunnen kleine magnetische signalen de hersenactiviteit beïnvloeden en veranderingen in gedrag veroorzaken. We vonden met behulp van TMS dat de bmSTS en de motorische cortex volwassenen hielpen bij het vertalen van woorden die met gebaren waren geleerd.

WAT BETEKENEN ONZE BEVINDINGEN?

Leerverrijking, met zowel plaatjes als gebaren, hielp kinderen en volwassenen om een woordenschat in een vreemde taal te leren. Volwassenen profiteerden echter het meest van gebarenverrijking, terwijl kinderen evenveel voordeel hadden van beeld- en gebarenverrijking. Dit betekent dat de soorten verrijking die voor volwassenen werken, niet per se ook voor kinderen werken. In onze onderzoeken kregen kinderen en volwassenen niet even veel training; toekomstige onderzoeken kunnen onderzoeken hoe verschillende hoeveelheden training de verrijkingseffecten kunnen verbeteren. We ontdekten ook dat de hersenen de visuele en motorische gebieden gebruiken om de vertalingen van verrijkte T2-woorden te onthouden.

Dit betekent dat verrijksleerstrategieën mogelijk werken omdat een netwerk van visuele en motorische hersengebieden bijdraagt aan betere leerresultaten. Kortom, verrijking is gunstig voor het T2-leren omdat het ons de mogelijkheid geeft de betekenissen van woorden met onze eigen zintuigen te ervaren.

AUTEURSBIJDRAGE

BM schreef een eerste versie van het manuscript. CA, KMM, LS, AK, GH, MM, en KvK hebben bijgedragen aan het schrijven van het manuscript.

DANKWOORD

We willen iedereen bedanken die meegewerkt heeft met de vertaling van de artikelen in deze Collectie om ze toegankelijker te maken voor kinderen buiten Engelstalige landen, en voor de Jacobs Foundation voor het verstrekken van de benodigde fondsen voor het vertalen van de artikelen. Voor dit artikel willen wij in het bijzonder Nienke van Atteveldt en Sabine Peters bedanken voor de Nederlandse vertaling. Dit werk werd bekostigd door een beurs van de German Research Foundation (geregistreerd als KR 3735/3-1), een Schulbezogene Forschung beurs van het Saxony Centrum voor Lerarenopleiding en Schoolonderzoek (ZSL) en een Erasmus Mundus postdoctorale beurs in Auditieve Cognitieve Neurowetenschappen. BM wordt ook ondersteund door de European Research Council Consolidator beurs SENSOCOM 647051 aan KvK.

REFERENTIES

1. Graddol, D. 2004. The future of language. *Science* 303:1329–31. doi: 10.1126/science.1096546
2. Repetto, C., Pedroli, E., and Macedonia, M. 2017. Enrichment effects of gestures and pictures on abstract words in a second language. *Front Psychol.* 8:2136. doi: 10.3389/fpsyg.2017.02136
3. Mayer, K. M., Yildiz, I. B., Macedonia, M., and von Kriegstein, K. 2015. Visual and motor cortices differentially support the translation of foreign language words. *Curr. Biol.* 25:530–5. doi: 10.1016/j.cub.2014.11.068
4. Andrä, C., Mathias, B., Schwager, A., Macedonia, M., and von Kriegstein, K. 2020. Learning foreign language vocabulary with gestures and pictures enhances vocabulary memory for several months post-learning in eight-year-old school children. *Educ. Psychol. Rev.* 1–36. doi: 10.1007/s10648-020-09527-z
5. Mathias, B., Sureth, L., Hartwigsen, G., Macedonia, M., Mayer, K. M., and von Kriegstein, K. 2019. A causal role of sensory cortices in behavioral benefits of “learning by doing”. *arXiv* 1903.04201.

6. Mathias, B., Klingebiel, A., Hartwigsen, G., Sureth, L., Macedonia, M., Mayer, K. M., et al. 2020. Motor cortex causally contributes to auditory word recognition following sensorimotor-enriched vocabulary training. *arXiv* 2005. 08956.
7. Grossman, E., Donnelly, M., Price, R., Pickens, D., Morgan, V., Neighbor, G., et al. 2000. Brain areas involved in perception of biological motion. *J. Cogn. Neurosci.* 12:711–20. doi: 10.1162/089892900562417
8. Leonardo, M., Fieldman, J., Sadato, N., Campbell, G., Ibañez, V., Cohen, L., et al. 1995. A functional magnetic resonance imaging study of cortical regions associated with motor task execution and motor ideation in humans. *Hum. Brain Mapp.* 3:83–92. doi: 10.1002/hbm.460030205
9. Hoyos, P., Kim, N., and Kastner, S., 2019. How is magnetic resonance imaging used to learn about the brain? *Front. Young Minds.* 7:86. doi: 10.3389/frym.2019.00086

GEREDIGEERD DOOR: [Stephan E. Vogel](#)

WETENSCHAPPELIJKE MENTOR: [Christine Kurlawalla-Martinez](#)

CITATIE: Mathias B, Andrä C, Mayer KM, Sureth L, Klingebiel A, Hartwigsen G, Macedonia M en von Kriegstein K (2023) Hoe kunnen we woorden in een vreemde taal gemakkelijker leren? *Front. Young Minds.* doi: 10.3389/frym.2020.00089-nl

VERTALING EN BEWERKING VAN: Mathias B, Andrä C, Mayer KM, Sureth L, Klingebiel A, Hartwigsen G, Macedonia M and von Kriegstein K (2020) How Can We Learn Foreign Language Vocabulary More Easily? *Front. Young Minds* 8:89. doi: 10.3389/frym.2020.00089

BELANGENVERSTRENGELING: De auteurs verklaren dat het onderzoek is uitgevoerd zonder enige commerciële of financiële relaties die zouden kunnen worden opgevat als potentiële belangenverstrengeling.

AUTEURSRECHTEN © 2020 © 2023 Mathias, Andrä, Mayer, Sureth, Klingebiel, Hartwigsen, Macedonia en von Kriegstein. Dit is een open-access artikel verspreid onder de voorwaarden van de [Creative Commons Attribution \(CC BY\)](#). Gebruik, verspreiding of reproductie in andere fora is toegestaan, mits de oorspronkelijke auteur(s) en de auteursrechthebbende(n) worden gecrediteerd en de oorspronkelijke publicatie in dit wetenschappelijk tijdschrift wordt geciteerd, in overeenstemming met de gangbare wetenschappelijke beoefening. Geen enkel gebruik, distributie of reproductie is toegestaan dat niet voldoet aan deze voorwaarden.

JONGE REVIEWERS

ETHAN, LEEFTIJD: 10

Ik heb een fascinatie voor alles wat met natuurkunde, technologie, bouwkunde en wiskunde te maken heeft, vooral voor 3D-printen, robotica en astronomie. Mijn hobby's zijn Lego, kaartspelletjes spelen, goocheltrucs leren en "The Office" kijken op Netflix.





JAIDEN, LEEFTIJD: 13

Ik ben al sinds mijn 7e geïnteresseerd in wetenschap. Mijn favoriete tijdschrift om te lezen is Scientific American. Mijn interesses op school zijn onder andere scheikunde, economie en ondernemerschap. Mijn hobby's zijn onder meer paardensport, bord- en kaartspellen, puzzels en raadsels.

AUTEURS



BRIAN MATHIAS

Brian is geïnteresseerd in hoe mensen complexe klanken leren en onthouden, zoals spraak en muziek. Hij onderzoekt hoe de hersenen multisensorische en sensomotorische vormen van communicatie ondersteunen. Brian is op dit moment een Research Associate aan de TU Dresden in Duitsland en studeerde psychologie en neurowetenschappen aan de McGill Universiteit in Canada. *brian.mathias@tu-dresden.de



CHRISTIAN ANDRÄ

Christian Andrä werkt aan de Universiteit van Leipzig als docent en onderzoeker in de lerarenopleiding. Zijn onderzoek richt zich op leren in beweging. In verschillende projecten ontwikkelt hij lesstof die door middel van sensomotorische verrijking onderwezen kan worden. Sinds 2008 is hij ook lid van de onderzoeksgroep "School in beweging" die als doel heeft om de tijd die leerlingen zittend doorbrengen te verminderen en om gebruik te maken van de vele voordelen van beweging tijdens het dagelijkse schoolleven.



KATJA M. MAYER

Katja M. Mayer behaalde haar diploma psychologie aan de Universiteit van Tübingen in Duitsland en schreef haar afstudeerscriptie aan het Max Planck Instituut voor Biologische Cybernetica. Daarna ging ze naar de Universiteit van Newcastle voor haar Ph.D. in neurowetenschappen. Later kreeg ze postdoc-posities aan het Max Planck Instituut voor Menselijke Cognitieve en Hersenwetenschappen en de Universiteit van Münster. Haar onderzoeksinteresses zijn multisensorische waarneming en leren. Momenteel werkt ze als psychotherapeut.



LEONA SURETH

Leona Sureth is een arts in opleiding aan de Universiteit van Leipzig in Duitsland. De mysteries van het menselijk brein fascineren haar, dus ze is geïnteresseerd in hoe de hersenen werken en hoe wetenschap kan worden gebruikt om dat te begrijpen. Naast haar interesse in geneeskunde en neurowetenschappen, speelt ze graag elke balsport die er maar bestaat en kan ze jongleren.



ANDREA KLINGEBIEL

Andrea Klingebiel is een arts in opleiding aan de Universiteit van Leipzig. Tijdens haar studie was ze geboeid door neurowetenschappen en ze wilde altijd graag ervaring opdoen met onderzoek. Ze was dus erg blij dat ze dit geweldige en boeiende project had gevonden. Ze vond het leuk om het menselijk brein te bestuderen en haar steentje bij te dragen om het beter te begrijpen.

**GESA HARTWIGSEN**

Gesa's onderzoeksgroep aan het Max Planck Instituut voor Menselijke Cognitieve en Hersenwetenschappen is geïnteresseerd in cognitie en neurale plasticiteit, vooral in het taalnetwerk. Hoe past het taalnetwerk zich aan aan neurale uitdagingen, bijvoorbeeld veroorzaakt door neurostimulatie, ruis of training? Hoe herstellen de hersenen en repareren ze een functie na letsel? Deze en andere vragen sturen ons onderzoek.

**MANUELA MACEDONIA**

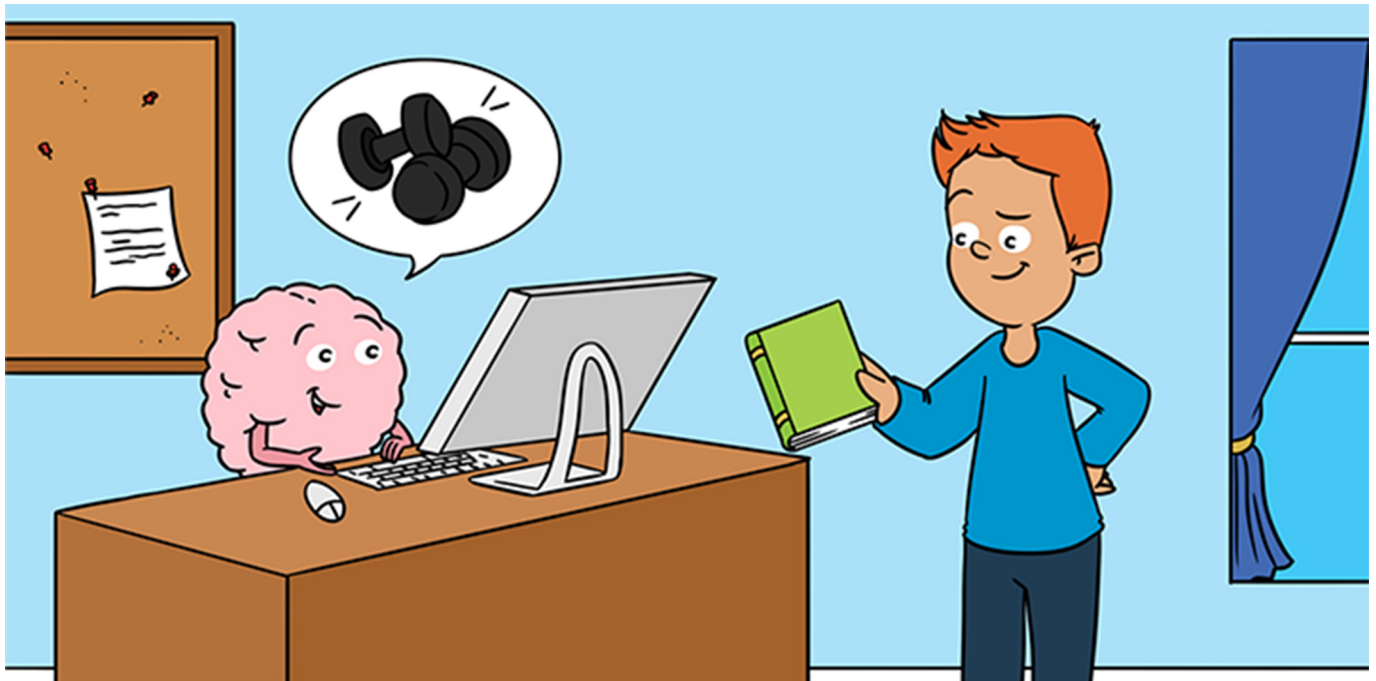
Dr. Manuela Macedonia is senior onderzoeker aan de Linz Johannes Kepler Universiteit in Oostenrijk en gastwetenschapper aan het Max Planck Instituut voor Menselijke Cognitieve en Hersenwetenschappen in Duitsland. Manuela's onderzoeksinteresses liggen in de belichaming van taal. In haar basisonderzoek onderzoekt ze de effecten van gebaren op het korte- en langetermijngeheugen van anderstalige woorden. In haar toegepaste onderzoek ontwikkelt en test ze virtuele omgevingen en virtuele docenten voor mobiele apparaten die het mogelijk maken overal een vreemde taal op belichaamde manier te leren.

**KATHARINA VON KRIEGSTEIN**

Katharina onderzoekt de hersenen van menselijke proefpersonen om beter te begrijpen hoe we met elkaar communiceren en wat er anders is in de hersenen van mensen met communicatiestoornissen. Ze studeerde geneeskunde en filosofie en is op het moment hoogleraar Cognitieve en Klinische Neurowetenschappen aan de Faculteit Psychologie van de TU Dresden in Duitsland.

Dutch version provided by
Nederlandse versie verzorgd door

 **JACOBS
FOUNDATION**
Our Promise to Youth



WIL JE JE HERSENEN TRAINEN? LEES DAN DIT ARTIKEL!

Dietsje Jolles^{1,2*} en Linda Van Leijenhorst^{1,2}

¹Instituut Pedagogische Wetenschappen, Universiteit Leiden, Leiden, Nederland

²Leiden Institute for Brain and Cognition, Universiteit Leiden, Leiden, Nederland

JONGE REVIEWER:



VELIANA

LEEFTIJD: 11

Stel je voor dat je jezelf slimmer kunt maken door gewoon een paar spelletjes te spelen op de computer. Een paar weken lang oefen je taakjes om je geheugen en je aandacht te trainen en daarna kun je je beter concentreren in de klas, sneller nieuwe informatie leren en meer onthouden. Je haalt gemakkelijk hoge cijfers, je zult zonder problemen overgaan en alles in je leven gaat de goede kant op. Zou dat niet geweldig zijn? Als je op internet zoekt, is het niet moeilijk om games en apps te vinden die claimen je brein een "boost" te geven, zodat je slimmer wordt en sneller leert denken. In dit artikel gaan we in op de wetenschap achter deze zogenaamde "braintraining games" (hersentrainingsprogramma's). We leggen uit dat het in principe mogelijk zou moeten zijn om jezelf slimmer te maken. Helaas is er niet veel overtuigend bewijs dat simpele spelletjes op de computer je daarbij kunnen helpen. Maar hoe kun je je hersenen dan het beste trainen? Zou het misschien helpen om gewoon een boek lezen?

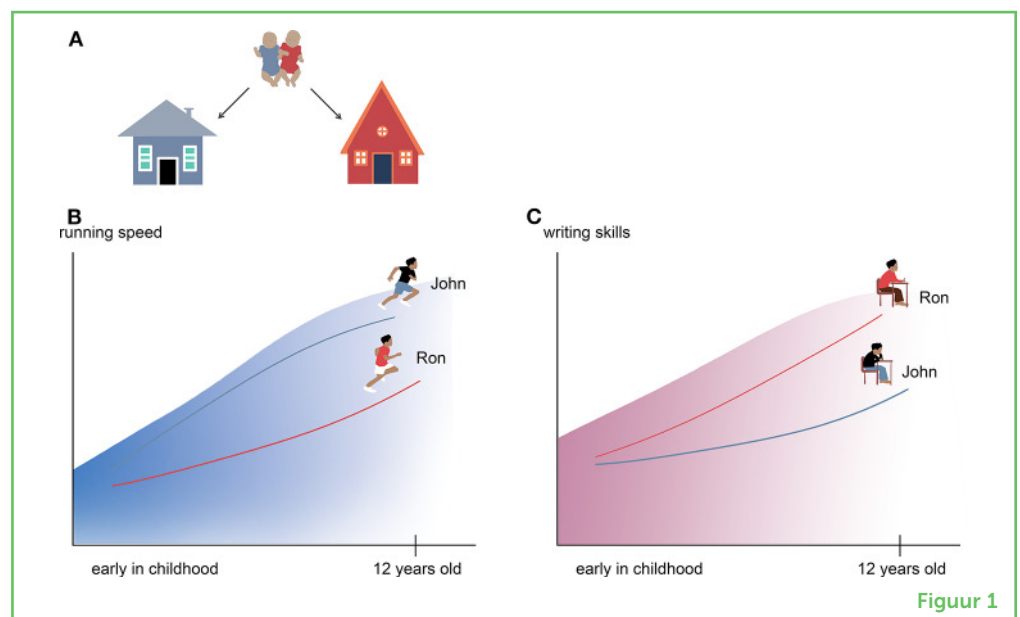
Veel kinderen dromen ervan om slimmer of creatiever te zijn. Op het internet kun je games en programma's vinden die beweren dat ze je daarbij kunnen helpen door je brein een "boost" te geven. Maar is het echt mogelijk om je hersenen te trainen? Zijn de zogenaamde "braintraining games" de moeite waard? Na het lezen van dit artikel kun je het zelf beslissen!

JE FLEXIBELE BREIN

Heb je er ooit over nagedacht waarom sommige kinderen uitblinken in sport, terwijl anderen beter gitaar spelen of rekenen? Komt het door je genen dat je je soms niet kunt concentreren, of moet je gewoon harder proberen? Wetenschappers proberen al jaren te achterhalen hoeveel van onze talenten en eigenschappen worden bepaald door onze genen en hoeveel door de omgeving. Het blijkt dat er geen gemakkelijk antwoord is op deze vraag, omdat genen en de omgeving altijd samenwerken [1]. Je genen hebben invloed op het niveau dat je kunt bereiken, maar je omgeving bepaalt voor een groot deel hoe goed dit echt lukt. De manier waarop je hersenen zich ontwikkelen heeft een ingebouwde flexibiliteit. Dat betekent dat je hersenen zich aan kunnen passen aan de omgeving waarin je opgroeit. Om dit idee uit te leggen introduceren we John en Ron (Figuur 1). John en Ron zijn een eeneiige tweeling, wat betekent dat ze 100% dezelfde genen hebben. Stel je voor dat John en Ron om de een of andere reden direct na hun geboorte gescheiden worden en in aparte gezinnen opgroeien. John groeit op in een sportief gezin, terwijl Ron opgroeit in een gezin dat dol is op lezen en schrijven. Het blijkt dat John en Ron zich verschillend ontwikkelen, ondanks dat ze exact dezelfde genen hebben. Door de invloed van het gezin waar hij opgroeit ontwikkelt John zich tot een fanatiek hardloper, terwijl Ron zich ontwikkelt tot schrijver.

Figuur 1

Ontwikkeling wordt beïnvloed door genen en de omgeving. **(A)** Stel je twee jongens voor, we noemen ze John en Ron. Ze zijn identieke tweelingen, wat betekent dat ze exact dezelfde genen hebben. Om de een of andere reden groeien John en Ron op in verschillende gezinnen. Het gezin van John bestaat uit fanatieke sporters die graag hardlopen in het weekend. Het gezin van Ron blijft graag binnen om verhalen te lezen en te schrijven. Als John en Ron twaalf zijn, ontmoeten ze elkaar. **(B, C)** Hoewel ze zich verbazen over hoeveel ze op elkaar lijken, merken ze ook dat ze op belangrijke manieren van elkaar verschillen. John is een sportliefhebber en is de beste hardloper van zijn klas. Ron houdt van lezen en schrijven en is er trots op goede cijfers te halen op school. Dus hoewel John en Ron dezelfde genen hebben, bepaalde hun omgeving in hoeverre hun talenten tot uitdrukking kwamen.



EXECUTIEVE FUNCTIES

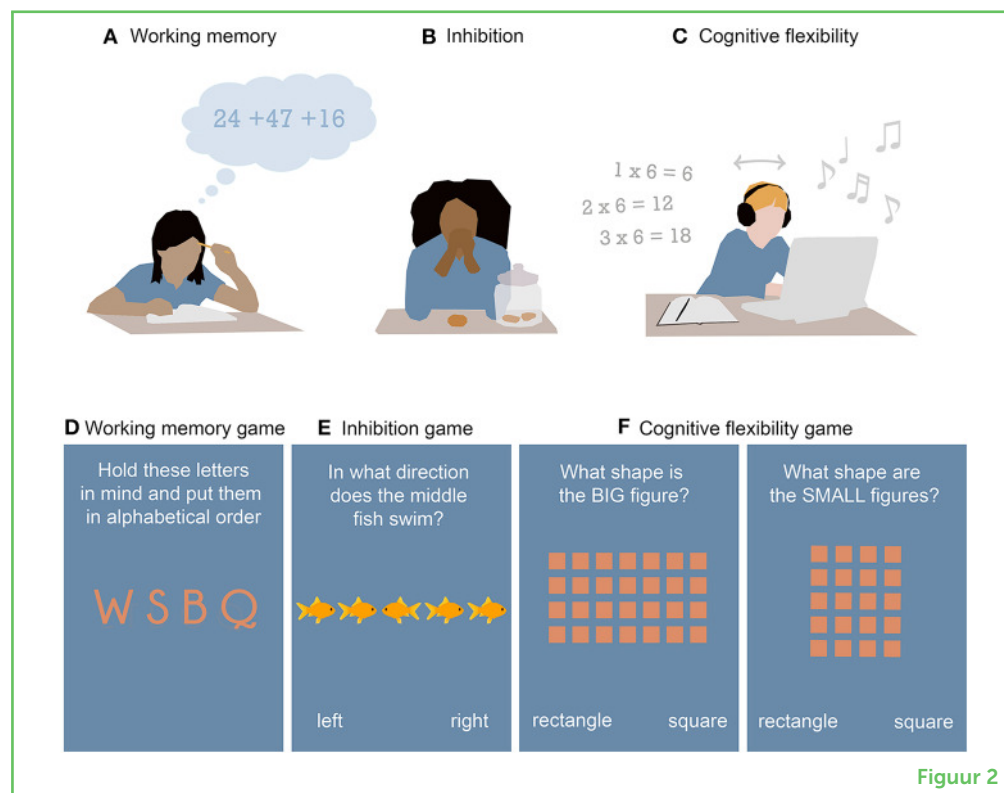
Hersenfuncties die je helpen je gedachten en gedrag te controleren. Executieve functies worden door sommige onderzoekers ook wel cognitieve controle genoemd.

Figuur 2

Executieve functies in het dagelijks leven en in braintraining games.

(A–C) Dagelijkse activiteiten die executieve functies vereisen: (A) Je gebruikt het werkgeheugen wanneer je grote getallen in je hoofd optelt; (B) Je gebruikt inhibitie wanneer je probeert niet te veel koekjes te eten; (C) Je gebruikt cognitieve flexibiliteit wanneer je je aandacht heen en weer verplaatst tussen je huiswerk en YouTube. (D–F) Om executieve functies te testen en te trainen wordt vaak gebruik gemaakt van spellen op de computer. (D) In dit werkgeheugenspel moet je verschillende letters in gedachten houden en ze in alfabetische volgorde zetten. (E) In dit inhibitiespel moet je de richting aangeven waarin de middelste vis zwemt en de vissen negeren die in de tegenovergestelde richting zwemmen. (F) In dit cognitieve flexibiliteitspel ga je heen en weer tussen een taak waarbij je de vorm van de grote figuur (rechthoek) moet aangeven, en een andere taak waarbij je de vorm van de kleine figuren moet aangeven (vierkanten).

Maar hoe zit het met slim zijn of getalenteerd zijn op school? Onderzoek heeft aangetoond dat uitblinken op school veel te maken heeft met zogenaamde **executieve functies** [2]. Executieve functies zijn vaardigheden die je helpen bij het uitvoeren van complexe taken, zoals het plannen van je huiswerk, het afmaken van opdrachten en het beheersen van emoties en frustraties. Eén van de belangrijkste executieve functies heet het **werkgeheugen**. Met het werkgeheugen kun je informatie in gedachten houden zodat je ermee kunt werken. Je gebruikt het werkgeheugen bijvoorbeeld als je grote getallen in je hoofd moet optellen (Figuur 2A). Een tweede belangrijke executieve functie is **inhibitie**. Inhibitie helpt je om afleiding en verleidingen te weerstaan. Dankzij inhibitie lukt het je om niet de hele pot koekjes in één keer leeg te eten (Figuur 2B). Een derde executieve functie is **cognitieve flexibiliteit**. Cognitieve flexibiliteit helpt je om snel je aandacht te kunnen wisselen tussen verschillende taken of ideeën. Je gebruikt cognitieve flexibiliteit bijvoorbeeld wanneer je heen en weer schakelt tussen je huiswerk en YouTube (Figuur 2C). Om executieve functies te meten, hebben onderzoekers verschillende spellen ontworpen die op de computer kunnen worden gespeeld. Voorbeelden van dit soort spellen zijn te zien in Figuren 2D–F. Het blijkt dat kinderen die beter zijn in deze spellen het vaak ook beter doen op school. Bovendien hebben ze minder vaak te maken met een bepaald soort moeilijkheden, zoals psychische problemen, sociale problemen en overgewicht [2]. Sommige mensen denken dat executieve functies bij de geboorte al vastliggen, maar dat is niet helemaal waar. Executieve functies worden net als je andere



Figuur 2

WERKGEHEUGEN

Het vermogen om informatie voor een korte tijd vast te houden, zodat je er mee kunt werken.

INHIBITIE

Het vermogen om afleiding en verleidingen te weerstaan.

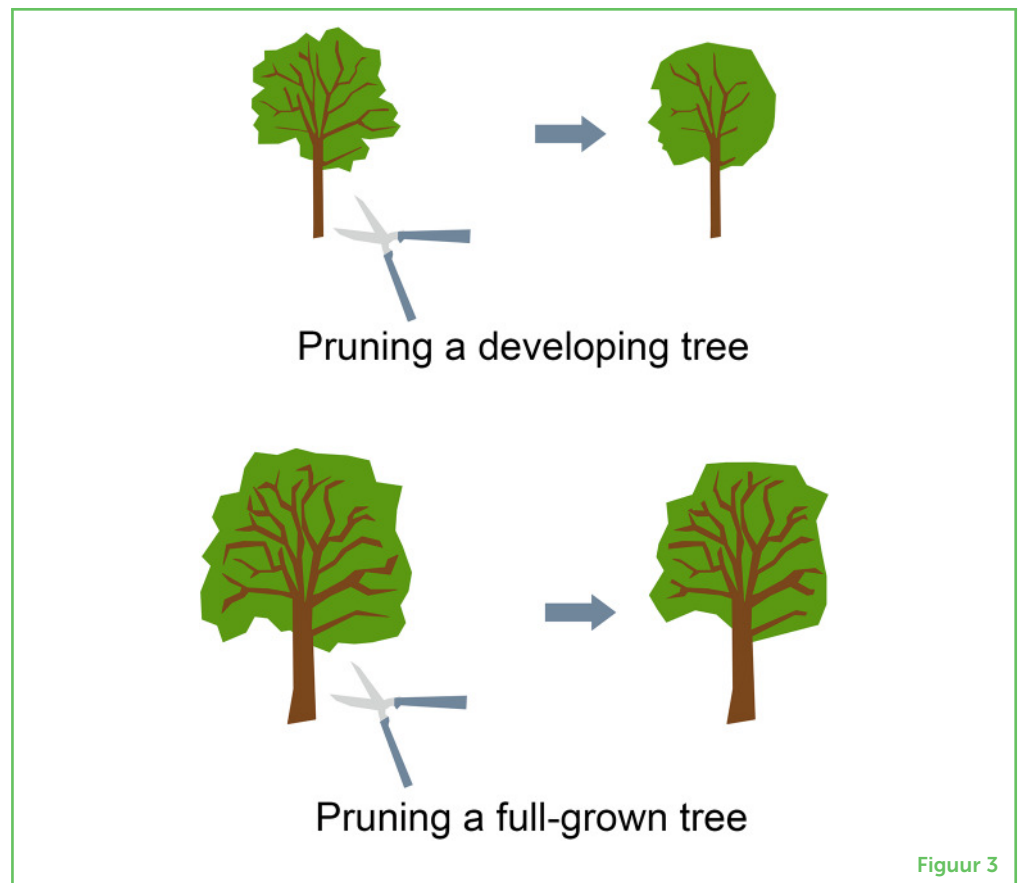
Figuur 3

Onderzoekers denken dat kinderen een groter vermogen hebben om te leren en zich aan te passen aan hun omgeving dan volwassenen. Dat komt doordat de hersenen van kinderen nog in ontwikkeling zijn. Je zou het kunnen vergelijken met het snoeien van een boom in een bepaalde vorm. Een jonge boom is makkelijker te vormen dan een volgroeide boom.

COGNITIEVE FLEXIBILITEIT

Het vermogen heen en weer te schakelen tussen verschillende taken of ideeën.

eigenschappen beïnvloed door je genen én door de omgeving. Dat is goed nieuws, want het betekent dat je zelf ook invloed kunt uitoefenen op de ontwikkeling van je executieve functies. Sterker nog: de kindertijd is misschien wel de beste tijd om de executieve functies een boost te geven. Je zou het kunnen vergelijken met het snoeien van een boom (Figuur 3). Zodra de boom is volgroeid wordt het moeilijker om hem in een bepaalde vorm te snoeien dan wanneer hij nog in ontwikkeling is. Hetzelfde geldt voor het "vormen" van een brein. In de kindertijd zijn de hersenen extra kneedbaar, juist omdat de hersenen dan nog in ontwikkeling zijn [1, 3]. Het is overigens wel belangrijk om op te merken dat er ook nadelen zijn aan een onvolgroeid brein. Zo kunnen kinderen nieuwe informatie over het algemeen niet zo efficiënt en strategisch verwerken als volwassenen. Dit zou het effect van training wat kunnen beperken.



Figuur 3

JE BREIN TRAINEN

Het internet staat vol met tips en trucs om je brein beter te laten werken en er zijn veel zelfhulpboeken over dit onderwerp geschreven. Zo kun je lezen dat het belangrijk is om voldoende te slapen, gezond te eten en voldoende te bewegen. Maar misschien heb je ook wel eens gehoord van braintraining of hersengymnastiek. Volgens de bedrijven die dit soort training aanbieden, kun je je brein "in een paar minuten per dag" trainen. Er worden indrukwekkende effecten beschreven, van

het verbeteren van je concentratie tot betere prestaties in bowlen [4]. Braintraining bestaat meestal uit het oefenen van de executieve functies. Door complexe taken uit te voeren, werken je hersenen erg hard, vandaar de naam braintraining. Onderzoek heeft aangetoond dat de hersenen veranderen door training [3]. Maar dit is minder bijzonder dan het lijkt. Eigenlijk zijn je hersenen voortdurend in verandering, bij alles wat je doet. Of het nu gaat om het uitlaten van je hond, het ontmoeten van vrienden of het lezen van dit artikel. De naam braintraining is dus een beetje misleidend. Een betere naam zou zijn “training van executieve functies”.

Maar werkt training van executieve functies echt? Zoals we eerder al hebben beschreven hangen executieve functies sterk samen met intelligentie, schoolprestaties en prestaties in allerlei situaties in je dagelijkse leven. Om deze reden hebben onderzoekers bedacht dat training van de executieve functies via spelletjes misschien wel verrijkende effecten zou kunnen hebben. Het idee is dus dat je gedrag in dagelijkse situaties zoals in [Figuur 2A–C](#) zou kunnen verbeteren door te oefenen met spellen die je ziet in [Figuur 2D–F](#). Dit is wat onderzoekers **transfer** (overdracht) noemen. In de afgelopen twintig jaar zijn er veel wetenschappelijke studies uitgevoerd om te testen of deze overdracht van vaardigheden plaatsvindt bij het trainen van de executieve functies [4]. Deze studies hebben gevonden dat de prestaties op de taken die getraind worden inderdaad vaak verbeteren. Met andere woorden, deelnemers die oefenen met het ordenen van letters in het werkgeheugen, worden beter in het ordenen van letters in het werkgeheugen. Deelnemers lijken zelfs beter te worden in vergelijkbare taken die niet getraind worden, zoals het ordenen van cijfers in het werkgeheugen. Op basis van de huidige onderzoeken kunnen we echter nog niet concluderen dat hersentraining ook de prestatie op ander soort taken verbetert, zoals reken- of leesopdrachten op school [4]. Dus, je kunt enorm veel beter worden in de spellen die je tijdens de training doet, maar dit betekent niet noodzakelijkerwijs dat je hier in je dagelijkse leven ook iets van zult merken. De vaardigheden die je hebt geleerd tijdens de training blijken vaak alleen van toepassing te zijn op de spellen van de training zelf. Het gaat dan dus helaas niet om een algemene verbetering van de executieve functies. Onderzoekers proberen nu uit te vinden hoe ze ervoor kunnen zorgen dat er meer transfer optreedt naar het dagelijks leven. Het zou bijvoorbeeld zinvol kunnen zijn om training van executieve functies meer te integreren in praktijksituaties. Zo zouden trainingsactiviteiten kunnen worden opgenomen in complexe videogames of in schoolvakken.

TRANSFER

Vaardigheden die je in de ene situatie hebt geleerd gebruiken om je prestaties in een andere situatie te verbeteren.

JE LEZENDE BREIN

We weten dat de dingen die je elke dag doet, invloed hebben op de ontwikkeling van je hersenen, en we weten ook dat het mogelijk zou *moeten* zijn om je hersenen te trainen. Maar onderzoekers

proberen nog steeds de beste manieren te vinden om dit te doen. Zou jij je kostbare tijd willen besteden aan een trainingsprogramma, waarvan het nog niet helemaal zeker is of het gaat werken? Of besteed je je tijd liever aan iets leuks, zoals sporten of boeken lezen? Uit onderzoek is gebleken dat sporten niet alleen goed is voor je lichaam, maar ook voor je geest, je hersenen dus. De effecten van regelmatige lichaamsbeweging zijn waarschijnlijk zelfs belangrijker voor schoolprestaties dan de effecten van braintraining. Ook het lezen van boeken kan goed zijn voor je brein. Onderzoek suggereert dat regelmatig lezen je slimmer maakt omdat het helpt om je woordenschat op te bouwen en je achtergrondkennis te vergroten [5]. Bij elke nieuwe herinnering die je creëert, ontstaan er nieuwe verbindingen in je brein en worden bestaande verbindingen versterkt. Hoe meer kennis je hebt, hoe gemakkelijker het wordt om nog meer te leren [5]!

Bovendien kan het lezen van boeken je denkvaardigheid trainen. Is het je ooit opgevallen hoe de rest van de wereld lijkt te verdwijnen als je opgaat in een verhaal? Dit is mogelijk omdat je hersenen heel hard aan het werk zijn. Als je een boek leest, moet je verschillende karakters, hun achtergronden, doelen en details over hun persoonlijkheden en gedrag bijhouden. Bovendien moet je vaak tussen de regels door lezen om te begrijpen waar een boek over gaat. Om deze dingen te doen, gebruik je zowel je achtergrondkennis als je executieve functies. Zonder achtergrondkennis zou je de gebruikte woorden niet begrijpen, en zonder je executieve functies zou je nooit een volledig verhaal in je hoofd kunnen creëren. Onderzoek heeft aangetoond dat kinderen beter worden in deze vaardigheden naarmate ze meer lezen. Ten slotte kan lezen ervoor zorgen dat je beter wordt in perspectief nemen, doordat je je moet inleven in verschillende personages in een boek [6]. Ook dit is een belangrijke vaardigheid in het echte leven.

CONCLUSIE

Het ontwikkelende brein is super flexibel en het zou mogelijk *moeten* zijn om jezelf slimmer te maken. Helaas is het bewijs dat braintraining je daarbij kan helpen tot nu toe niet heel overtuigend. Onderzoekers proberen nu uit te vinden hoe ze ervoor kunnen zorgen dat trainingsprogramma's grotere effecten hebben op het dagelijks leven. Maar het is niet nodig om daarop te wachten. Je kunt vandaag al iets doen om het beste uit je hersenen te halen! Dat doe je door actief te blijven, gezond te eten, voldoende te slapen en vooral veel nieuwe dingen te blijven leren. Gefeliciteerd, dat ben je nu aan het doen door dit artikel te lezen!

DANKWOORD

Dit werk werd ondersteund door de Jacobs Foundation (DJ). We willen iedereen bedanken die meegeholpen heeft met de vertaling van de artikelen in deze Collectie om ze toegankelijker te maken voor kinderen buiten Engelstalige landen, en voor de Jacobs Foundation voor het verstrekken van de benodigde fondsen voor het vertalen van de artikelen. Voor dit artikel is de vertaling naar het Nederlands verzorgd door de auteurs zelf.

REFERENTIES

1. Stiles, J. 2008. *The Fundamentals of Brain Development: Integrating Nature and Nurture*. Cambridge, MA: Harvard University Press.
2. Diamond, A. 2013. Executive functions. *Annu. Rev. Psychol.* 64:135–68. doi: 10.1146/annurev-psych-113011-143750
3. Jolles, D., and Crone, E. A. 2012. Training the developing brain: a neurocognitive perspective. *Front. Hum. Neurosci.* (2012) 6:76. doi: 10.3389/fnhum.2012.00076
4. Simons, D. J., Boot, W. R., Charness, N., Gathercole, S. E., Chabris, C. F., Hambrick, D. Z., et al. 2016. Do “brain-training” programs work? *Psychol. Sci. Public Interest* 17:103–86. doi: 10.1177/1529100616661983
5. Cain, K., and Oakhill, J. 2011. Matthew effects in young readers: reading comprehension and reading experience aid vocabulary development. *J. Learn. Disabil.* 44:431–43. doi: 10.1177/0022219411410042
6. Kidd, D. C., and Castano, E. 2013. Reading literacy fiction improves theory of mind. *Science* 342:377–80. doi: 10.1126/science.1239918

GEREDIGEERD DOOR: Jessica Massonnie

WETENSCHAPPELIJKE MENTOR: Yana Fandakova

CITATIE: Jolles D en Van Leijenhorst L (2023) Wil je je hersenen trainen? Lees dan dit artikel! *Front. Young Minds*. doi: 10.3389/frym.2020.00071-nl

VERTALING EN BEWERKING VAN: Jolles D and Van Leijenhorst L (2020) Want to Train Your Brain? Read This Article! *Front. Young Minds* 8:71. doi: 10.3389/frym.2020.00071

BELANGENVERSTRENGELING: De auteurs verklaren dat het onderzoek is uitgevoerd zonder enige commerciële of financiële relaties die zouden kunnen worden opgevat als potentiële belangenverstrengeling.

AUTEURSRECHTEN © 2020 © 2023 Jolles en Van Leijenhorst. Dit is een open-access artikel verspreid onder de voorwaarden van de [Creative Commons Attribution \(CC BY\)](https://creativecommons.org/licenses/by/4.0/). Gebruik, verspreiding of reproductie in andere fora is toegestaan, mits de oorspronkelijke auteur(s) en de auteursrechthebbende(n) worden gecrediteerd en de oorspronkelijke publicatie in dit wetenschappelijk tijdschrift wordt geciteerd, in overeenstemming met de gangbare wetenschappelijke beoefening. Geen enkel

gebruik, distributie of reproductie is toegestaan dat niet voldoet aan deze voorwaarden.

JONGE REVIEWER



VELIANA, LEEFTIJD: 11

Ik ben Veliana en ik ben 11 jaar oud. Ik ga heel graag naar school. Mijn lievelingsvakken zijn Wiskunde, Engels en Gym. In mijn vrije tijd sport ik graag en ik ben dol op schilderen en lezen.

AUTEURS



DIETSJE JOLLES

Toen ik klein was wilde ik altijd detective worden. Maar in plaats daarvan werd ik wetenschapper. Gelukkig lijkt wetenschapper zijn een beetje op detective zijn. Mijn hoofdonderwerp is: de wonderbaarlijke werking van de zich ontwikkelende hersenen. Ik ben vooral geïnteresseerd in de manier waarop kinderen, adolescenten en volwassenen leren en hoe hun leren wordt beïnvloed door hun hersenontwikkeling. Ik hoop dat mijn onderzoek zal bijdragen aan een beter begrip van de hersenen en de ontwikkeling ervan, en dat het nieuwe inzichten oplevert die kunnen helpen om het onderwijs te verbeteren. *d.d.jolles@fsw.leidenuniv.nl

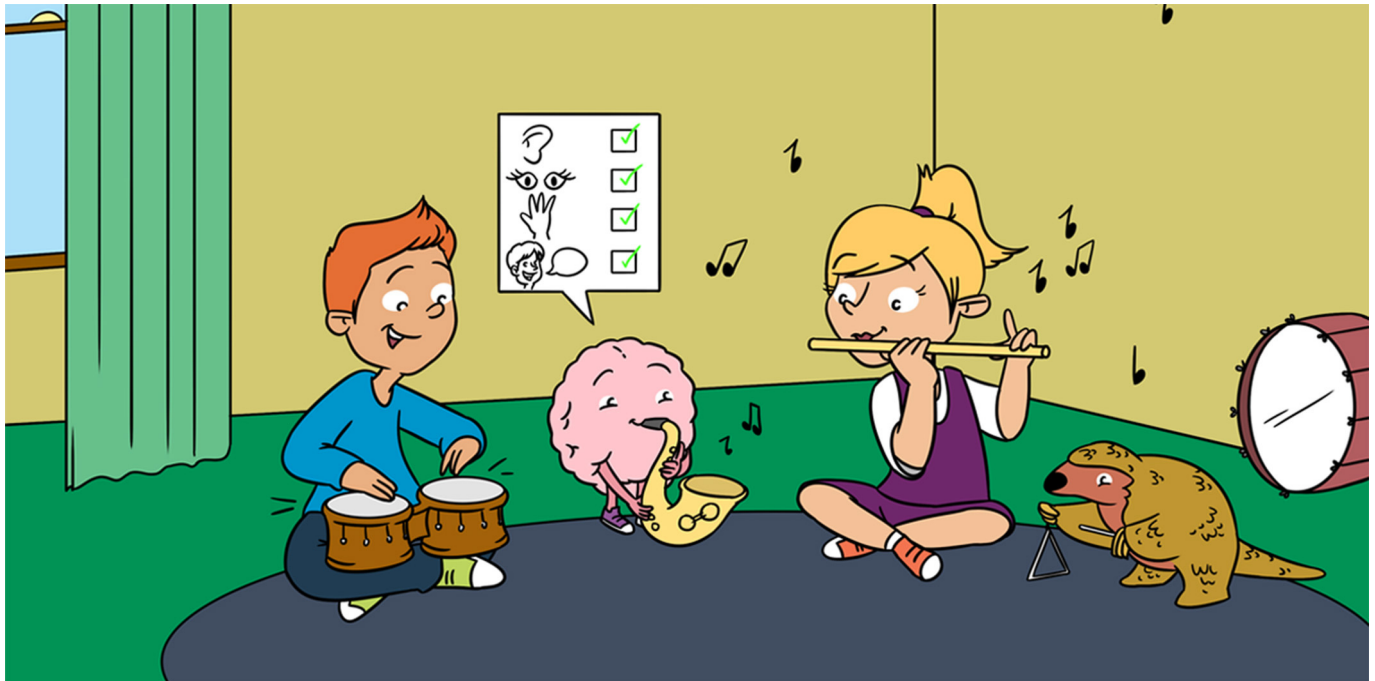


LINDA VAN LEIJENHORST

Ik werk als universitair docent aan de Universiteit Leiden in Nederland, ik doe onderzoek in het veld van de cognitieve neurowetenschappen van de ontwikkeling. Ik ben gefascineerd door de veranderingen die ons brein ondergaat wanneer we groeien van kind, naar adolescent naar volwassene. Ooit hoop ik te begrijpen hoe deze veranderingen invloed hebben op de manier waarop we de wereld om ons heen begrijpen. Is het niet super bijzonder hoe onze hersenen het mogelijk maken om de wereld te ervaren, te dromen en te fantaseren? Om hier meer over te leren bestudeer ik hoe kinderen en adolescenten keuzes maken en hoe ze verhalen die ze lezen begrijpen.

Dutch version provided by
Nederlandse versie verzorgd door

 **JACOBS
FOUNDATION**
Our Promise to Youth



MUZIEK EN LEREN: MAAKT MUZIEK JE SLIMMER?

Gabriella Musacchia^{1*} en Alexander Khalil²

¹Afdeling Audiologie, University of the Pacific, San Francisco, CA, Verenigde Staten

²School voor Film, Muziek en Theater, University College Cork, Cork, Ierland

JONGE REVIEWER:



SHIVANI

LEEFTIJD: 15

Wat is muziek en waarom denken mensen dat muziek belangrijk is voor het leerproces? Muziek speelt een belangrijke rol in ons leven: van muziek die je online met je vrienden deelt tot de liedjes die je in winkels en in restaurants hoort, we zijn bijna altijd omringd door muziek. Zelf muziek maken geeft de hersenen een multizintuigelijke "workout" die het geheugen kan verbeteren, onze concentratie aanscherpt, en misschien zelfs onze leesvaardigheid kan verbeteren. In dit artikel bespreken we hoe verschillende hersenfuncties, waaronder het gehoor, zicht, beweging en sociaal bewustzijn, worden beïnvloed door muzieklessen. Je hoeft geen Mozart te zijn om van de hersenvoordelen van het maken van muziek te profiteren, want muziek is voor iedereen. En het is meer dan alleen maar liedjes. Telkens als je communiceert zonder woorden (de manier waarop je iets zegt in plaats van wat je zegt) ben je al bezig met muzikaal gedrag. In dit artikel bekijken we verschillende onderzoeken naar leren en muziek om te achterhalen waarom muziek de ontwikkeling van de hersenen bevordert en hoe muziek

een belangrijk onderdeel van ons leven kan zijn, binnen en buiten de klas.

DENK AAN DE MELODIE

Wat is muziek en waarom denken mensen dat muziek belangrijk is voor het leerproces? In elke cultuur en over de hele wereld maken mensen iets dat muziek kan worden genoemd, maar niet veel van hen geven het een naam of zien het als iets dat los staat van andere activiteiten, zoals dansen of verhalen vertellen [1]. Daarom kunnen we muziek alleen op een algemene manier omschrijven, namelijk als een vorm van communicatie door middel van geluid. In tegenstelling tot spraak wordt muziek niet gezien als **semantisch**. Dit betekent dat muziek geen woorden gebruikt om dingen uit te leggen. Bedenk maar eens hoe moeilijk het zou zijn om met alleen maar **melodie**, en **ritmes** iets simpels zoals, "de veters van je linkerschoen zitten los," te zeggen. Toch kan muziek wel diepgaande gevoelens overbrengen die met woorden moeilijk te beschrijven zijn. Naast dat muziek een kunstvorm is, is elke vorm van communicatie deels muzikaal. Denk maar aan de verschillende manieren waarop je "huh" kan zeggen. Elk van die manieren communiceert iets anders. Dat is **muzikaliteit**. Het is dan niet zoiets als een muzikoptreden, maar het is wel een muzikaal aspect van communicatie. Hoewel niet iedereen het bespelen van de viool volledig beheerst, beheerst iedereen wel zijn eigen communicatiestijl.

In het begin dachten sommige wetenschappers dat er voordeel bij hadden door alleen maar naar muziek te luisteren. Zij lieten zien dat mensen hogere scores behaalden op **IQ Testen** wanneer zij naar klassieke muziek van Mozart luisterden [2]. Hierdoor kregen mensen het idee dat naar muziek luisteren je slimmer maakt. Dit was alleen te simpel gedacht en de onderzoeksresultaten werden overdreven. Latere onderzoeken toonden aan dat het luisteren naar muziek je niet echt slimmer maakt, maar wel vrolijker en je stressniveau verlaagt, wat soms resulteert in een betere focus en betere testcores. Dit betekent dat muziek thuis of in het klaslokaal je prestaties niet automatisch verbetert, maar wel nuttig kan zijn om je te helpen concentreren op een nieuwe taak, of van pas komt in situaties waarin verbeterde aandacht en verminderde stress nodig zijn. Enkel luisteren naar muziek zou verder een ander, of misschien een kleiner effect kunnen hebben dan wanneer je zelf muziek maakt. Net zoals dat je conditie verbetert als je zelf sport dan wanneer je alleen maar naar sport kijkt. Het vermogen van muziek om de aandacht te verbeteren zou dus versterkt kunnen worden door mee te spelen.

SEMANTISCH

Betrekking hebbend op betekenis in taal of logica.

MELODIE

Een opeenvolging van enkele noten die muzikaal bevredigend is.

RITME

Een sterk, regelmatig, herhaald patroon van beweging of geluid.

MUZIKALITEIT

Muzikaal talent of gevoeligheid.

IQ TEST

Intelligentiequotiënt, een standaardmaat voor het intelligentieniveau van een persoon, gebaseerd op psychologische tests.

NEURALE PLASTICITEIT

Het vermogen van het zenuwstelsel om zichzelf aan te passen als reactie op ervaring of ontbering.

MUZIEK VOOR HERSENKRACHT

Net zoals je spieren worden je hersenen sterker naarmate je ze meer traint. Het proces waarbij de hersenen door onze ervaringen veranderen, wordt **neurale plasticiteit** genoemd, omdat de hersenen gemakkelijk, net zoals plastic, te vormen zijn. Wetenschappers brengen de neurale plasticiteit in beeld met speciale technieken, zoals magnetische resonantie-imaging (MRI) of elektro-encefalogram (EEG), om te achterhalen hoe het zelf maken van muziek de werking van de hersenen precies verandert. Uit onderzoek met deze technieken en het bestuderen van de hersenen van mensen die zijn overleden blijkt dat de auditieve (gehoor), visuele (zicht), en motorische (beweging) hersengebieden van professionele musici gespecialiseerd zijn [3]. Elk gespecialiseerd hersengebied bij deze mensen is niet alleen groter, maar functioneert ook anders. De wetenschap vertelt ons dus dat muziek veel meer is dan alleen maar entertainment; het is een belangrijk onderdeel van het leren dat we ons hele leven lang doen. Hier zijn een paar van de belangrijke dingen die in de hersenen gebeuren wanneer we muziek spelen (voor een overzicht, zie Zatorre [4]):

Auditief: Het auditieve systeem verwerkt geluid beter na muzieklessen. Mensen kunnen kleinere verschillen in frequentie (het aantal geluidsgolven per seconde) oppikken, waardoor zowel spraak als muziek gemakkelijker te horen zijn [5].

Motorisch: Hersengebieden die spieren en lichaamsdelen aansturen voor het bespelen van instrumenten (zoals de vingers, de mond, enz.) worden groter. Er zijn in deze hersengebieden meer neuronen die zich bezig houden met het nauwkeurig afstemmen van spierbewegingen.

Lezen: Uit onderzoeken blijkt dat betere muzikale vaardigheden samenhangen met hogere leesscores. Dit wijst op een verband tussen hoe goed we spraak horen en hoe goed we spraakklanken kunnen koppelen aan letters.

Sociaal-emotioneel bewustzijn: Samen muziek maken kan het sociaal-emotioneel bewustzijn vergroten. Dat is het vermogen om emoties te herkennen, met emoties om te gaan en emoties op een gepaste manier te uiten. Een goed voorbeeld hiervan is dat hele jonge kinderen vaker positief met anderen omgaan als zij samen met hen muziek maken.

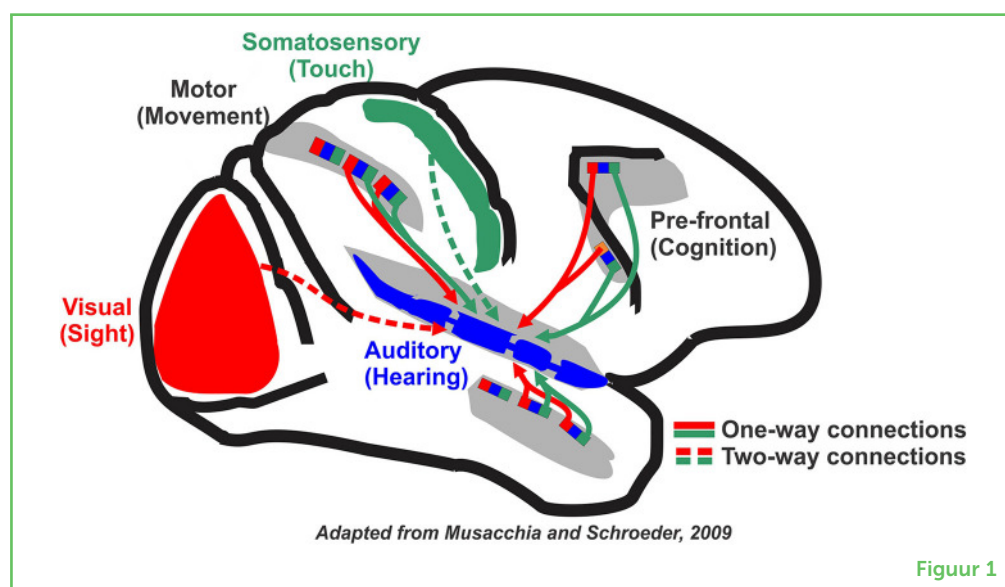
DE MUZIKALE VERBINDING MAKEN

Hoe kan muziek invloed hebben op zoveel hersenfuncties? De reden dat muziek zoveel hersengebieden kan bereiken is dat het auditieve systeem sterk verbonden is met andere zintuiglijke gebieden [6] (Figuur 1). Denk aan je vroegste schooltijd en je zult je waarschijnlijk

herinneren dat je liedjes zong. Velen van ons zingen nog steeds het alfabetlied als ze zich proberen te herinneren op welke positie een bepaalde letter staat. Geloof je ons niet? Welke letter staat er dan vier letters na de "M"? Zeg maar eerlijk: hoorde je niet het alfabetlied in je hoofd terwijl je naar het antwoord zocht? Liedjes met herhalende melodieën en ritmes helpen ons opsommingen, verhalen en zelfs processen te onthouden.

Figuur 1

Andere zintuiglijke gebieden van de hersenen leveren input aan het auditieve (gehoor, in blauw) gebied. Multisensorische gebieden, zoals de pre-frontale cortex (cognitie), motorische cortex (beweging), en complexe auditieve cortex worden getoond in grijs en bevatten kleine gekleurde vakjes om de zintuigen aan te geven waarmee zij samenwerken. Sterke verbindingen van en naar auditieve en visuele gebieden worden beschouwd als tweerichtingswegen, omdat zintuiglijke informatie wordt uitgewisseld tussen hersengebieden in beide richtingen (rode stippellijnen). Somatosensorische (tast) gebieden zijn weergegeven in groen en hebben ook twee-weg verbindingen die informatie delen. Aangepast van Musacchia en Schroeder [6].



Figuur 1

Figure 1 laat het patroon van verbindingen zien tussen het belangrijkste auditieve hersengebied en de andere zintuiglijke gebieden. Wanneer we een muziekinstrument leren te bespelen, werken onze zintuigen actief samen, waaronder zicht, tast, gehoor, evenwicht, beweging en proprioceptie (bewustzijn van de positie van het eigen lichaam). Er zijn twee dingen die muziek tamelijk uniek maken in dit proces. Het eerste is dat je al je zintuigen gebruikt als je muziek maakt. Je voelt bijvoorbeeld het instrument in je handen, hoort de klanken die je speelt en ziet de muzieknoden op het blad. Aangezien elke verschillende soort zintuiglijke informatie je hersenen op een ander moment bereikt, moeten je hersenen hun best doen om alle informatie te synchroniseren. Het tweede is dat je tijdens het maken van muziek te maken hebt met verschillende snelheden en tijdschalen en dat deze precies op elkaar moeten worden afgestemd. Een gitarist moet bijvoorbeeld weten wat hij moet doen op een beat, in een ritme, in een melodie, in een liedje, en in een concert, waarbij hij al deze dingen precies op elkaar moet afstemmen. We weten nog niet precies hoe de hersenen al deze dingen bijhouden, maar er zijn waarschijnlijk verschillende tijdmechanismen ("klokken") voor verschillende tijdschalen (snelheden). Een deel van ons onderzoek gaat uit van het idee dat synchronisatie tussen deze "klokken" in de hersenen ons mogelijk helpt bij het analyseren van andere geluidsstromen, zoals spraak.

EEN LEVEN LANG MUZIEK

Muziek is ook een manier om onze identiteit te uiten: de muziek die we maken of zelfs beluisteren, kan een manier zijn om de wereld, onze leeftijdgenoten, onze ouders en onze vrienden iets te vertellen over wie we zijn. In culturen die geen schrift gebruiken, hebben zangers vaak een belangrijke rol in de samenleving. Zij onthouden namelijk belangrijke dingen zoals geschiedenis en familiebanden. Muzikale uiting van identiteit is meestal positief, maar er zijn momenten geweest waarop een groep mensen de muziek van een andere groep bedreigend of zelfs gevaarlijk vond [7]. Zo werden eind jaren tachtig rapmuzikanten gearresteerd voor optredens die volgens de regering van de Verenigde Staten vijandig en respectloos waren.

Je ziet het zingen van een liedje of het bespelen van een instrument misschien als iets speciaals wat je alleen op bepaalde momenten doet. Toch vullen muziek en muzikale geluiden ons leven. Muziek wordt afgespeeld via luidsprekers en wordt soms live gespeeld, en we horen muziek op de meeste openbare plaatsen, in bussen, in liften en in restaurants. Veel mensen luisteren ook naar muziek via hun telefoon of in hun auto. Ons leven is werkelijk waar gevuld met muziek en daarom kan onze relatie tot muziek een groot effect hebben op een leven lang leren.

DANKWOORD

We willen iedereen bedanken die meegeholpen heeft met de vertaling van de artikelen in deze Collectie om ze toegankelijker te maken voor kinderen buiten Engelstalige landen, en voor de Jacobs Foundation voor het verstrekken van de benodigde fondsen voor het vertalen van de artikelen. Voor dit artikel willen wij in het bijzonder Nienke van Atteveldt en Sabine Peters bedanken voor de Nederlandse vertaling.

REFERENTIES

1. Merriam, A. P., and Merriam, V. 1964. *The Anthropology of Music*. Evanston, IL: Northwestern University Press.
2. Rauscher, F. H., Shaw, G. L., and Ky, K. N. 1995. Listening to Mozart enhances spatial-temporal reasoning: towards a neurophysiological basis. *Neurosci. Lett.* 185:44–7.
3. Schlaug, G. 2009. "Music, musicians, and brain plasticity," in *Oxford Handbook of Music Psychology*, eds S. Hallam, I. Cross and M. Thaut (Oxford: Oxford University Press), 197–207
4. Zatorre, R. J. 2003. Music and the brain. *Ann. N. Y. Acad. Sci.* 999:4–14. doi: 10.1196/annals.1284.001
5. Musacchia, G., Sams, M., Skoe, E., and Kraus, N. 2007. Musicians have enhanced subcortical auditory and audiovisual processing of speech and music. *Proc. Natl. Acad. Sci. U.S.A.* 104:15894–8. doi: 10.1073/pnas.0701498104

6. Musacchia, G., and Schroeder, C. E. 2009. Neuronal mechanisms, response dynamics and perceptual functions of multisensory interactions in auditory cortex. *Hear Res.* 258:72–9. doi: 10.1016/j.heares.2009.06.018
7. Binder, A. 1993. Constructing racial rhetoric: media depictions of harm in heavy metal and rap music. *Am. Sociol. Rev.* 58:753–67.

GEREDIGEERD DOOR: Jessica Massonnie

WETENSCHAPPELIJKE MENTOR: Prachi Patel

CITATIE: Musacchia G en Khalil A (2023) Muziek En Leren: Maakt Muziek Je Slimmer? *Front. Young Minds.* doi: 10.3389/frym.2020.00081-nl

VERTALING EN BEWERKING VAN: Musacchia G and Khalil A (2020) Music And Learning: Does Music Make You Smarter?. *Front. Young Minds* 8:81. doi: 10.3389/frym.2020.00081

BELANGENVERSTRENGELING: De auteurs verklaren dat het onderzoek is uitgevoerd zonder enige commerciële of financiële relaties die zouden kunnen worden opgevat als potentiële belangenverstrengeling.

AUTEURSRECHTEN © 2020 © 2023 Musacchia en Khalil. Dit is een open-access artikel verspreid onder de voorwaarden van de [Creative Commons Attribution \(CC BY\)](#). Gebruik, verspreiding of reproductie in andere fora is toegestaan, mits de oorspronkelijke auteur(s) en de auteursrechthebbende(n) worden gecrediteerd en de oorspronkelijke publicatie in dit wetenschappelijk tijdschrift wordt geciteerd, in overeenstemming met de gangbare wetenschappelijke beoefening. Geen enkel gebruik, distributie of reproductie is toegestaan dat niet voldoet aan deze voorwaarden.

JONGE REVIEWER

SHIVANI, LEEFTIJD: 15

Hallo! Mijn naam is Shivani en ik ben een middelbare scholier en atlete wonende in San Jose. Op school leer ik graag over wiskunde en natuurwetenschappen en ik hou van zwemmen, volleyballen en golfen. Als ik het niet druk heb met schoolwerk doe ik graag vrijwilligerswerk, breng ik tijd door met mijn vrienden en vind ik het leuk om nieuwe muziek te ontdekken.

AUTEURS

GABRIELLA MUSACCHIA

Gabriella Musacchia is een assistent professor bij de Audiologieafdeling van de University of the Pacific en onderzoeker aan de Universiteit in Stanford. Ze geeft les over de werking van de oren aan studenten die gehoorartsen zullen worden. In haar onderzoek gebruikt ze de techniek elektro-encefalografie (EEG) om te begrijpen hoe de hersenen spraak en muziek verwerken. *gmusacchia@pacific.edu



**ALEXANDER KHALIL**

Alexander Khalil is docent etnomusicologie aan de Universiteit van Cork in Ierland en onderzoeker aan het Instituut voor Neurale Computatie van de Universiteit van San Diego in Californië. Zijn onderzoek gaat over hoe mensen tijd ervaren en dan in het bijzonder met betrekking tot muziek en muzikaal ritme. Hij weet vooral veel over Byzantijnse gezangen, Chinese traditionele muziek en Balinese Gamelan (een traditionele muziekstijl). Hij houdt er van om ook zelf muziekoptredens te geven, zelf muziek te componeren en muziekinstrumenten te maken.

Dutch version provided by
Nederlandse versie verzorgd door





WANNEER DE KEUZE OM NIET TE LUISTEREN, JE HELPT TE HOREN EN TE LEREN

Angela M. AuBuchon^{1*} en Ryan W. McCreery²

¹Working Memory and Language Laboratory, Boys Town National Research Hospital, Omaha, NE, Verenigde Staten

²Audibility, Perception and Cognition Laboratory, Boys Town National Research Hospital, Omaha, NE, Verenigde Staten

JONGE REVIEWERS:



IAGO

LEEFTIJD: 13



ROADRUNNERS
& COBRAS

LEEFTIJD: 10–11

Luisteren naar belangrijke geluiden helpt ons bij het leren. Het kan echter moeilijk zijn om de belangrijke geluiden te scheiden van de minder belangrijke geluiden, oftewel ruis. Verschillende delen van onze hersenen worden beïnvloed door verschillende soorten lawaai, wat het moeilijk maakt om te leren. Naarmate onze hersenen groeien, worden we beter in het scheiden van de belangrijke geluiden en de ruis. Er zijn echter een paar luistertrucs die zowel kinderen als volwassenen kunnen gebruiken om te luisteren en te leren in lawaai.

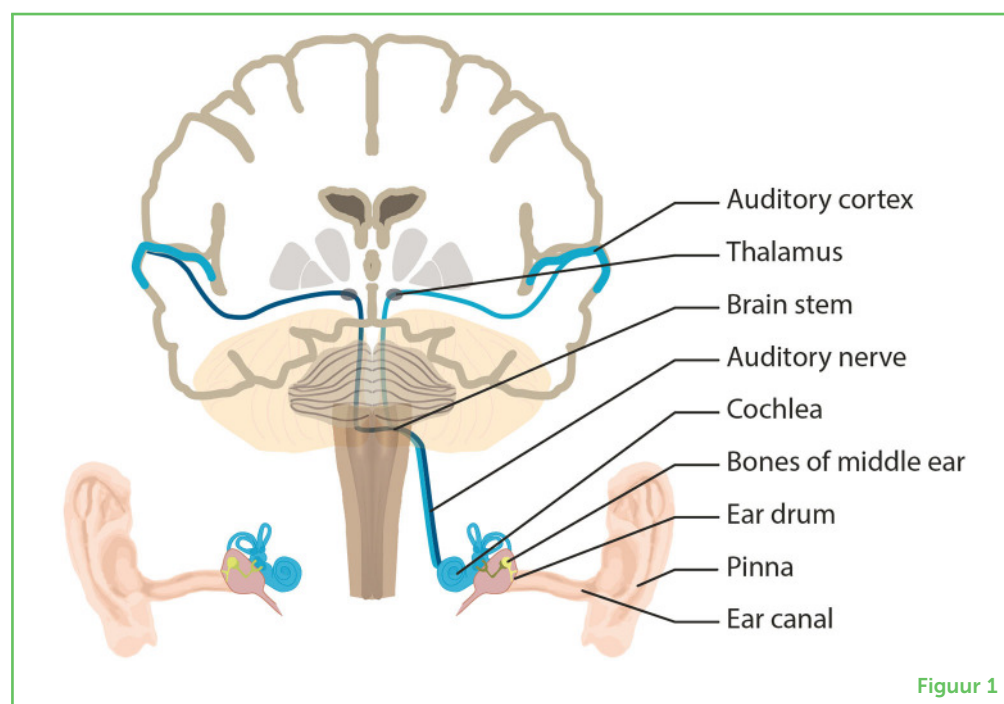
Volwassenen verwachten vaak van kinderen dat ze in lawaaierige klaslokalen kunnen leren. Stoelen die krassen over de vloer. Grasmaaiers maken herrie buiten. Studenten die achter je praten. Onlangs hebben we geluiden opgenomen in 157 klaslokalen; zelfs zonder studenten, hadden 137 klaslokalen genoeg ruis om luisteren te verstoren [1]! Het lijkt misschien een korte trip voor geluiden om van onze oren naar onze hersenen te reizen. Toch zijn er veel manieren waarop ruis het leren onderweg kan verstoren. Wat vooral frustrerend

GEHOORSYSTEEM

Het lichaamssysteem dat verantwoordelijk is voor het gehoor. Het bevat machine-achtige stukken en neuronen die informatie over geluid van het oor naar de hersenen overbrengen.

Figuur 1

Hier zien we de machine-achtige structuren en neuronen van het gehoorstelsel. De delen die het meest betrokken zijn bij het horen en negeren van geluid zijn aangeduid. De oorschelp (pinna) stuurt geluiden de gehoorgang in. We moeten naar belangrijke geluiden kijken omdat de oorschelp de geluiden het best voor ons kan verwerken. Het slakkenhuis (cochlea) zet geluiden om in elektriciteit, die via de gehoorzenuwen naar de hersenstam gaat. Vervolgens gaan de elektrische signalen door de thalamus op weg naar de auditieve cortex in de temporale kwab van de hersenen.



Figuur 1

VERSCHILLENDE SOORTEN RUIS

Verschillende soorten ruis beïnvloeden ons gehoorstelsel op verschillende manieren. We leggen eerst drie soorten ruis uit. Ten eerste is er ruis dat in de loop van de tijd verandert. Dit is bijvoorbeeld het geluid van twee van je klasgenoten die een gesprek voeren. Een ander voorbeeld is jazzmuziek op de achtergrond terwijl je studeert. Als geluid verandert, heeft het geluid soms een hoge toon, zoals een trompet; soms heeft het een lage toonhoogte, zoals een tuba. Soms is het geluid luid en soms is het zacht. We meten de luidheid van geluiden in decibel (dB). Zachte geluiden, zoals ritselende bladeren, zijn ongeveer 20 dB en harde geluiden zoals vliegtuigmotoren zijn wel meer dan 100 dB. Ten tweede bestaat er constante ruis. Dit is geluid dat van begin tot eind grotendeels hetzelfde klinkt. Dit soort ruis omvat het zoemende geluid van een computer, het gebrul van een grasmaaier en het gebabbel in de kantine als iedereen tegelijk praat. Het derde type ruis is plotseling en kort. Geluiden in deze categorie zijn vaak verrassend. Deze geluiden kunnen zo luid zijn als een dichtslaande deur, maar ze hoeven niet zo luid te zijn. Ze moeten gewoon luider

zijn dan geluiden in de buurt. Een zacht zoemende smartphone zou in deze categorie vallen als de rest van de kamer erg stil was.

SCHEIDEN VAN BELANGRIJKE GELUIDEN EN RUIS

Als er ergens veel geluiden zijn, vermengen ze met elkaar terwijl ze naar onze oren reizen. Je “oren” zijn meer dan die ronde geluidsvangers aan de zijkanten van je hoofd die de **oorschelpen (pinnae)** worden genoemd. Elk van je oren omvat ook een gehoorgang, trommelvlies, enkele kleine botjes aan de andere kant van je trommelvlies en een structuur die het slakkenhuis of **cochlea** wordt genoemd. In het slakkenhuis worden geluidsgolven omgezet in signalen die neuronen in je gehoorstelsel begrijpen. Het slakkenhuis is ook een plaats waar geluiden met elkaar vermengen. Stel je voor dat je slakkenhuis een vijver is. De geluiden die in je slakkenhuis komen, zijn als stenen die rimpelingen achterlaten als ze in een vijver worden gegooid. Als alle studenten in een kantine stenen in de vijver gooiden, zouden er overal rimpelingen zijn. Uiteindelijk zouden de rimpelingen in elkaar overlopen, en is het moeilijk om precies te bepalen welke rimpelingen van welke studenten afkomstig zijn. Dit is de eerste reden waarom het moeilijk is om te leren als er veel ruis is. Twee geluiden vermengen tot één rommelig, verwarrend geluid. Alle drie soorten ruis mengen met belangrijke geluiden, maar continue ruis mengt het meest met andere geluiden. In tegenstelling tot plotselinge ruis, duurt een constante ruis lang. In tegenstelling tot veranderende ruis, wordt constante ruis nooit stiller. Wanneer veranderde ruis stil wordt, al is het maar voor even, heeft het belangrijke geluid het slakkenhuis helemaal voor zichzelf. Een truc is om die momenten van stilte te gebruiken om een glimp op te vangen van het belangrijke geluid. Onze slakkenhuizen zijn volledig ontwikkeld voordat we worden geboren, dus geluiden mengen zich in het slakkenhuis hetzelfde voor volwassenen en kinderen. Volwassenen zijn echter beter in staat om zulke trucjes te gebruiken om belangrijke geluiden te horen, omdat de hersenen verder ontwikkeld zijn in het verwerken van geluid.

Om te begrijpen wat er om ons heen gebeurt, moeten we de gemengde geluiden weer in afzonderlijke stukjes verdelen. Een truc om ons te helpen geluiden te scheiden, is door het belangrijke geluid luider te maken. Stel je weer die vijver voor. Stel je nu voor dat je leraar een enorm rotsblok erin gooit. De rimpelingen van de rots kunnen zich nog steeds vermengen met die van de stenen van de leerlingen. De rimpelingen van de rots zijn echter zo groot dat ze gemakkelijk te scheiden zijn. Voor ons onderzoek nodigden we kinderen uit met een normaal gehoor en kinderen met gehoorverlies, terwijl ze met achtergrondruis naar belangrijke zinnen luisterden. In beide groepen konden maar weinig kinderen de zinnen verstaan als de zinnen zachter waren dan de ruis of als de zinnen en de ruis even luid waren. Zodra de zinnen zelfs maar een paar decibels luider werden dan de ruis, waren de meeste kinderen met een normaal gehoor in staat om geluiden

OORSCHHELP (PINNA, MEERVOUD: PINNAE)

Het deel van het gehoorstelsel dat aan de buitenkant van het hoofd vastzit, en wat men gewoonlijk het “oor” noemt. Wetenschappers noemen meestal alles van de oorschelp tot het slakkenhuis het “oor”.

SLAKKENHUIS (COCHLEA, MEERVOUD: COCHLEAE)

Een spiraalvormige structuur die geluidsgolven omzet in zenuwsignalen die het slakkenhuis verlaten via de gehoorzenuw—een van de 12 speciale “hersen-zenuwen” die het ruggenmerg omzeilen.

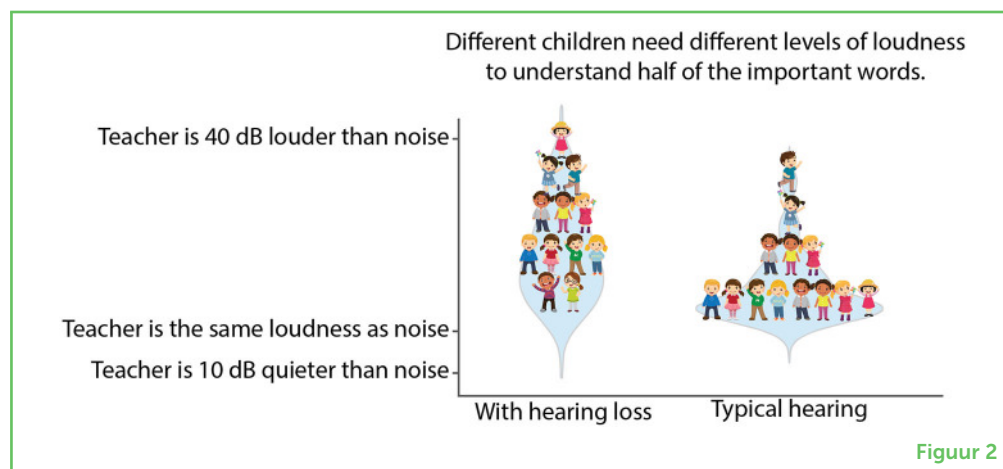
van ruis te onderscheiden en de zinnen te begrijpen. Voor sommige kinderen moesten de zinnen echter veel luider worden gemaakt dan de ruis om ze van elkaar te kunnen scheiden (Figuur 2).

Figuur 2

Weinig kinderen begrijpen de helft van wat ze horen wanneer de prater stiller is dan het lawaai. De onderkant van de grafiek zou bijvoorbeeld zijn dat de leraar praat (de meeste mensen praten op ongeveer 60 dB) naast een grasmaaier (70 dB). Een lawaaiig klaslokaal is ongeveer 90 dB! Voor de meeste kinderen met een typisch gehoor moet de spreker minstens even luid zijn als het lawaai (rechterkant). Kinderen aan de bovenkant van de grafiek hebben de spreker harder nodig dan het lawaai. Merk op dat bijna alle kinderen met gehoorverlies bovenaan de grafiek staan (links). Dit illustreert hoe veel moeilijker luisteren in lawaai is voor kinderen met gehoorverlies—zelfs als ze gehoorapparaten gebruiken [6].

GEWENNING

Een afname van de respons wanneer hetzelfde geluid, zicht, geur of aanraking gedurende lange tijd wordt gepresenteerd.



Het luider maken van belangrijke geluiden is een handig trucje, omdat er veel manieren zijn om je leraar luider te maken. Je zou je leraar kunnen vragen om zijn stem te verheffen, of je kan dichterbij je leraar gaan zitten.

Je kunt ook proberen de ruis zachter te maken. Als de ruis buiten is, vraag dan om het raam te sluiten. Onze hersenen hebben ook een handig trucje om de niet zo belangrijke geluiden stiller te laten lijken. Deze truc wordt habituatie of **gewenning** genoemd. Gewenning gebeurt wanneer hetzelfde ding keer op keer wordt gepresenteerd en we er niet meer op reageren, en we er dus aan wennen. Gewenning treedt op voor geluiden, dingen die je ziet, geuren en aanrakingen. Heb je ooit popcorn gemaakt die echt lekker rook? Na een tijdje merk je de geur niet meer op. Als je dan even naar de badkamer gaat, en weer terugkomt, ruik je de popcorn weer. Dit is een voorbeeld van gewenning aan een geur. De geur van popcorn is er nog steeds, maar je hersenen merken het niet meer op. Hetzelfde kan gebeuren met geluiden—vooral met constante ruis. Hoewel constante ruis eigenlijk niet zachter wordt, produceert het na verloop van tijd een kleinere hersenrespons, waardoor het belangrijke geluid in vergelijking luider lijkt. Helaas doen zelfs kinderen tussen de 9 en 11 jaar er langer over dan volwassenen om aan geluiden te wennen [2]. Het vermogen van volwassenen om aan continue geluiden te wennen, kan een van de redenen zijn waarom ze beter zijn dan kinderen in het begrijpen van belangrijke woorden, zelfs als er ruis is [3].

We scheiden ook geluiden door uit te zoeken waar elk geluid vandaan komt. Dit is mogelijk omdat we twee oren hebben. Een geluid aan je rechterkant zal een klein beetje luider zijn voor je rechteroor dan je linkeroor (geluidsdemo). Een geluid aan je rechterkant zal ook net iets sneller naar je rechteroor gaan dan naar je linkeroor. Het verschil

is zo klein (een halve milliseconde) dat je het nooit zou opmerken. Maar je gehoorsysteem merkt het wel op! Nadat geluidsinformatie elk slakkenhuis heeft verlaten, gaat het langs een speciale zenuw, de gehoorzenuw genaamd, rechtstreeks naar de hersenstam. De hersenstam ontvangt zenuwsignalen van beide slakkenhuizen en kan zien welk slakkenhuis het eerst en luider hoorde. Tegen de tijd dat we volwassen zijn, hebben onze hersenstammen precies uitgezocht hoeveel meer tijd het kost (en hoeveel de luidheid verandert) als geluid rondom ons hoofd gaat. Onze hoofden groeien nog steeds erg snel tot we 6 jaar oud zijn, wat het vinden van geluiden moeilijker maakt voor hele jonge kinderen. Weten waar elk geluid vandaan komt, helpt ons gehoorsysteem geluiden te *ontmengen*.

We kunnen ook gemengde geluiden scheiden door op het ene geluid te letten en de andere geluiden te negeren. We begrijpen niet helemaal hoe onze hersenen dit voor elkaar krijgen. Soms lijken we te kunnen beslissen waar we op letten, maar soms lijkt het alsof onze hersenen voor ons beslissen. Als je klas aan het werk is als er plotseling een deur dichtslaat, kijken de meeste studenten naar de deur. Je gehoorsysteem hoorde het geluid, ontdekte waar het vandaan kwam en besloot dat het misschien belangrijk genoeg was om er aandacht aan te schenken. Een idee is dat de **thalamus**, een structuur diep in de hersenen, helpt bij het prioriteren van informatie [4]. De thalamus krijgt informatie over geluiden, dingen die je ziet, smaken en aanraking. De thalamus kan onze omgeving in de gaten houden en opsporen wanneer een geluid, zicht of aanraking verandert. Het is waarschijnlijker dat geluiden onze aandacht trekken als ze onverwachts klinken of veranderen. Dit betekent dat veranderende geluiden onze aandacht kunnen trekken, zelfs als we dat niet willen.

THALAMUS

Een structuur diep in de hersenen die informatie over geluid, zicht, smaak en tastzin naar de rest van de hersenen stuurt. Het kan onze hersenen waarschuwen voor veranderingen in onze omgeving.

RUIS MAAKT HET MOEILIK OM TE LEREN WAT WE ZIEN

Ruis maakt het niet alleen moeilijk om aandacht te schenken aan belangrijke geluiden, maar ruis maakt het ook moeilijk om aandacht te schenken aan belangrijke informatie die we zien. Tot kinderen ongeveer 9 jaar oud zijn, kan zelfs constante ruis, zoals airconditioners, hun geheugen verminderen [5]. Constante ruis lijkt volwassenen niet erg te storen, waarschijnlijk omdat ze eraan gewend zijn. Zowel kinderen als volwassenen hebben echter moeite om woorden te onthouden wanneer veranderende ruis op de achtergrond speelt, vooral als de veranderende ruis ook woorden bevat. Dit betekent dat je minder snel herinnert wat je hebt gelezen als de tv aanstaat. Zelfs kinderen van 12 jaar kunnen zich moeilijk herinneren wanneer de veranderende ruis geen woorden bevatten, zoals jazzmuziek. Met andere woorden, alle ruis verstoort het geheugen als we jong zijn, maar verschillende soorten ruis worden gemakkelijker te negeren naarmate we ouder worden. Dit suggereert dat naarmate we ouder worden, onze hersenen beter kunnen bepalen welke geluiden onze

aandacht trekken. Als we eenmaal bepalen waar onze hersenen op letten, zijn we beter in luisteren en leren ondanks de ruis.

GEbruik JE OGEN OM JE TE HELPEN HOREN

Een heel belangrijke luistertruc is om naar belangrijke geluiden te kijken. Door ergens naar te kijken, kunnen we er aandacht aan besteden. Dit zal ons helpen het belangrijke geluid van de ruis te onderscheiden. We kunnen ook de vorm van iemands lippen gebruiken als aanwijzing voor het geluid dat ze maken. Vraag je vriend om de woorden "kat" en "mat" te zeggen zonder geluid te maken. Merk op hoe de lippen samenkomen om het "m" geluid te maken? Mensen die goed zijn in liplezen, zijn ook beter in het verstaan van spraak wanneer er ruis is.

CONCLUSIE

Ruis maakt het moeilijk om te luisteren en te leren. Kinderen vinden het vooral moeilijk om te luisteren en te leren als er ruis is, omdat hun gehoorsysteem nog in ontwikkeling is. Wetenschappers hebben echter enkele trucs ontdekt die ons helpen om beter te horen: (1) belangrijke geluiden harder en ruis zachter maken, (2) ontdekken waar de belangrijke geluiden vandaan komen en (3) kijken naar de belangrijke geluiden.

GELUIDSDEMO

Luister naar deze geluidsdemo zonder koptelefoon. Kun je vertellen welk verhaal de leraar voorleest? Zet nu een koptelefoon op. Merk je hoe de leraar door de klas beweegt, maar de ruis op een plek blijft? Door de leraar te volgen, kunnen we zijn stem herkennen en de zin van "Jack and the Beanstalk" begrijpen.



DANKWOORD

Dit werk werd ondersteund door subsidies van NIH/NIDCD R01 DC013591 en NIH/NIGMS P20 GM109023. De auteurs willen Dr. Hans Packer bedanken voor zijn hulp bij de ontwikkeling van de figuren. Ze willen ook Dr. G. Chris Stecker bedanken voor het maken van de geluidsdemo van geluidsopnamen van Calandruccio et al. [7]. We willen iedereen bedanken die meegewerkt heeft met de vertaling van de artikelen in deze Collectie om ze toegankelijker te maken voor kinderen buiten Engelstalige landen, en voor de Jacobs Foundation voor het verstrekken van de benodigde fondsen voor het vertalen van

de artikelen. Voor dit artikel willen we in het bijzonder Tieme Janssen bedanken voor de Nederlandse vertaling.

REFERENTIES

1. Spratford, M., Walker, E. A., and McCreery, R. W. 2019. Use of an application to verify classroom acoustic recommendations for children who are hard of hearing in a general education setting. *Am. J. Audiol.* 28:927-34. doi: 10.1044/2019_AJA-19-0041
2. Muenssinger, J., Stingl, K. T., Matuz, T., Binder, G., Eehalt, S., and Preissl, H. 2013. Auditory habituation to simple tones: reduced evidence for habituation in children compared to adults. *Front. Hum. Neurosci.* 7:377. doi: 10.3389/fnhum.2013.00377
3. Hall, J. W. III, Grose, J. H., Buss, E., and Dev, M. B. 2002. Spondee recognition in a two-talking masker and a speech-shaped noise masker in adults and children. *Ear Hear.* 23:159-65. doi: 10.1097/00003446-200204000-00008
4. Nakajima, M., and Halassa, M. M. 2017. Thalamic control of functional cortical connectivity. *Curr. Opin. Neurobiol.* 44:127-31. doi: 10.1016/j.conb.2017.04.001
5. AuBuchon, A. M., McGill, C. I., and Elliott, E. M. 2019. Auditory distraction does more than disrupt rehearsal processes in children's serial recall. *Mem. Cogn.* 47:738-48. doi: 10.3758/s13421-018-0879-4
6. McCreery, R. W., Walker, E., Spratford, M., Lewis, D., and Brennan, M. 2019. Auditory, cognitive, and linguistic factors predict speech recognition in adverse listening conditions for children with hearing loss. *Front. Neurosci.* 13:1093. doi: 10.3389/fnins.2019.01093
7. Calandruccio, L., Leibold, L. J., and Buss, E. 2016. Linguistic masking release in school-age children and adults. *Am. J. Audiol.* 25:34-40. doi: 10.1044/2015_AJA-15-0053

GEREDIGEERD DOOR: [Jessica Massonnie](#)

WETENSCHAPPELIJKE MENTORS: [Susana Martinez-Conde](#) en [Tobias Overath](#)

CITATIE: AuBuchon AM en McCreery RW (2023) Wanneer De Keuze Om Niet Te Luisteren, Je Helpt Te Horen En Te Leren. *Front. Young Minds.* doi: 10.3389/frym.2020.00104-nl

VERTALING EN BEWERKING VAN: AuBuchon AM and McCreery RW (2020) When Choosing NOT to Listen Helps You Hear and Learn. *Front. Young Minds* 8:104. doi: 10.3389/frym.2020.00104

BELANGENVERSTRENGELING: De auteurs verklaren dat het onderzoek is uitgevoerd zonder enige commerciële of financiële relaties die zouden kunnen worden opgevat als potentiële belangenverstrengeling.

AUTEURSRECHTEN © 2020 © 2023 AuBuchon en McCreery. Dit is een open-access artikel verspreid onder de voorwaarden van de [Creative Commons Attribution \(CC BY\)](#). Gebruik, verspreiding of reproductie in andere fora is toegestaan, mits de oorspronkelijke auteur(s) en de auteursrechthebbende(n) worden gecrediteerd en

de oorspronkelijke publicatie in dit wetenschappelijk tijdschrift wordt geciteerd, in overeenstemming met de gangbare wetenschappelijke beoefening. Geen enkel gebruik, distributie of reproductie is toegestaan dat niet voldoet aan deze voorwaarden.

JONGE REVIEWERS



IAGO, LEEFTIJD: 13

Mijn naam is Iago en ik zit in de brugklas. Mijn favoriete vakken zijn schrijven, wiskunde, maatschappijleer en wetenschap. Mijn hobby's zijn acteren, D&D en nepzwaardvechten. Ik denk dat het belangrijk is dat wetenschappers voor kinderen schrijven, zodat kinderen kritisch kunnen leren denken en vragen kunnen stellen over hoe de wereld werkt. Mijn vader en moeder zijn "gekke" wetenschappers omdat ze een speelkaart in een brein hebben gestoken voor een goocheltruc—maar goed dat het brein van pudding was gemaakt!



ROADRUNNERS & COBRAS, LEEFTIJD: 10–11

We zijn een creatieve groep 7 op de basisschool die graag meer over de wereld willen leren. We hebben met veel plezier creatief over dit artikel nagedacht en meer geleerd over iets dat we elke dag tegenkomen: ruis. We hebben een leuke ervaring gehad om deel uit te maken van Frontiers for Young Minds!

AUTEURS



ANGELA M. AUBUCHON

Het onderzoeksdoel van Angela AuBuchon is om te begrijpen hoe mensen belangrijke informatie onthouden (en minder belangrijke informatie negeren) om een probleem op te lossen. Volg haar lab @BoysTownWMLL op Facebook voor meer informatie over het onderzoek van Angela. Als Angela geen onderzoek doet, bezoekt ze lokale scholen om studenten neurowetenschappen te leren. Haar favoriete les is om studenten te helpen bij het ontleden van schapenhersenen. Ze is ook de cheerleading-coach op de Platteview High School in Springfield, Nebraska. Go Trojans! *angela.aubuchon@boystown.org

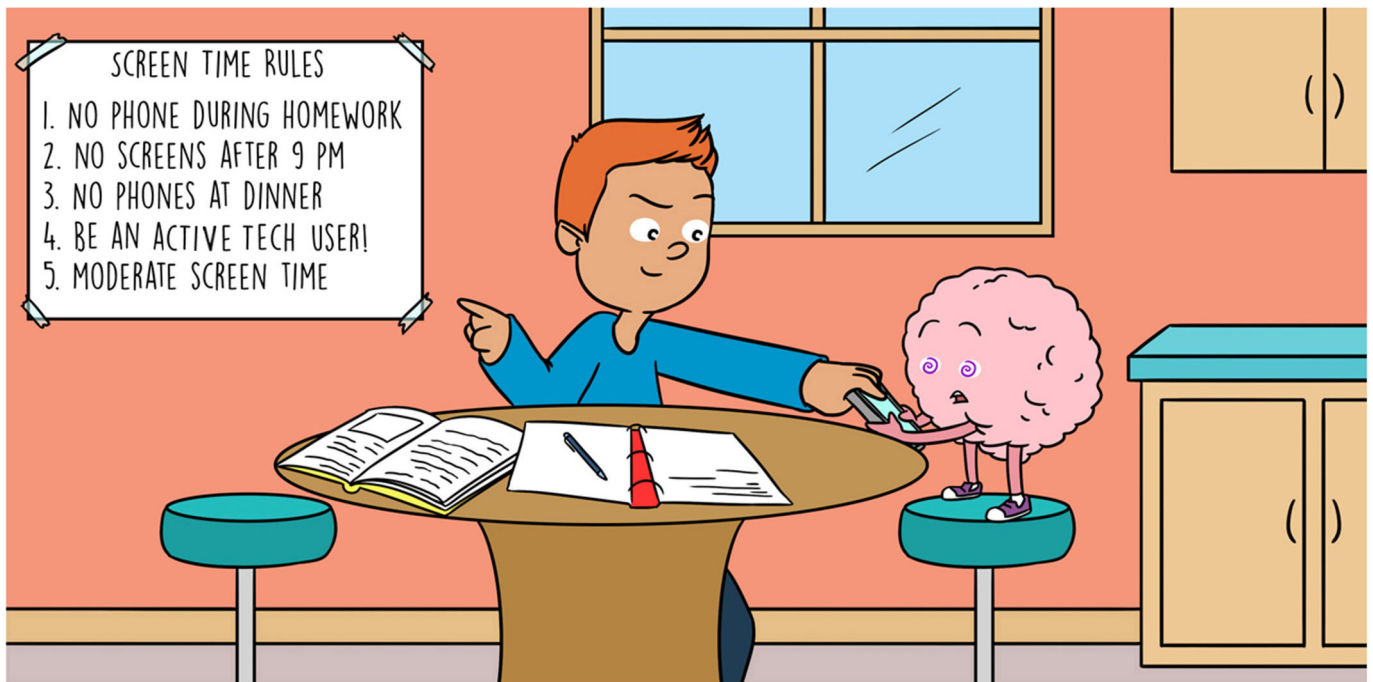


RYAN W. MCCREERY

Ryan McCreery is een wetenschapper die kinderen met gehoorverlies helpt te luisteren en te leren. Lees meer over het onderzoek van Ryan @APCLaboratory op Facebook. Ryan is de onderzoeksdirecteur van het Boys Town National Research Hospital en de trotse vader van drie geweldige kinderen, Liam, Anna en Charlotte, en twee honden, Lola en JoJo.

Dutch version provided by

Nederlandse versie verzorgd door



MIND GAMES: TECHNOLOGIE EN HET PUBERBREIN

Lucía Magis-Weinberg* en Estelle L. Berger

Adolescent Research Collaborative, Institute of Human Development, University of California, Berkeley, Berkeley, CA, Verenigde Staten

JONGE REVIEWER:



SCOTTY

LEEFTIJD: 10

De hersenen bevatten bepaalde gebieden die reageren op dingen die spannend of belonend zijn, en gebieden die je helpen om je gedrag te plannen en controleren. Beide systemen werken samen om te zorgen dat je goed kunt leren. Naarmate kinderen en jongeren ouder worden, zie je dat de balans tussen het beloningssysteem en het controlesysteem systeem verandert. Daardoor zijn jongeren meer geneigd om nieuwe dingen te proberen, durven ze meer risico's te nemen en kunnen ze leren van vrienden. Maar deze veranderingen in het brein maken het ook lastiger voor jongeren om hun eigen gedrag te controleren, zeker in leuke, spannende situaties of wanneer er vrienden bij zijn. Technologie (zoals je smartphone en sociale media) speelt in op deze twee hersensystemen en kan leren verbeteren door de juiste balans tussen beloning en controle op te zoeken. Maar, sommige trucjes van tech bedrijven kunnen het ook heel moeilijk maken om je online impulsen in bedwang te houden. In dit artikel vertellen we eerst hoe de controle- en beloningssystemen in je hersenen helpen bij leren. Daarna bespreken we hoe het begrijpen van je hersenen kan helpen bij het leren én kan helpen om betere beslissingen te maken over hoe je je tijd online besteedt.

JONGEREN GROEIEN ZOWEL OFFLINE ALS ONLINE OP

Kinderen en tieners zijn echte experts op het gebied van technologie. 95% van de tieners tussen 13 en 17 jaar in de Verenigde Staten hebben een smartphone, en 94% geeft aan het internet minstens één keer per dag te gebruiken [1]. Naarmate kinderen ouder worden en tieners worden, krijgen ze meer onafhankelijkheid en mogen ze vaker zelf bepalen hoe ze hun smartphone of andere apparaten gebruiken, zeker wanneer ze naar de middelbare school gaan [2]. Technologie biedt veel mogelijkheden voor verbinding, leren en plezier, zowel binnen als buiten het klaslokaal. Maar er zitten ook risico's aan technologie, zoals afleiding van andere activiteiten en relaties, teveel schermtijd of dingen online posten zonder nadenken. Deze positieve en negatieve aspecten van technologie kunnen versterkt worden door bepaalde eigenschappen van het ontwikkelende puberbrein.

DE IMPACT VAN TECHNOLOGIE HANGT AF VAN DE KWALITEIT VAN ONLINE ACTIVITEITEN

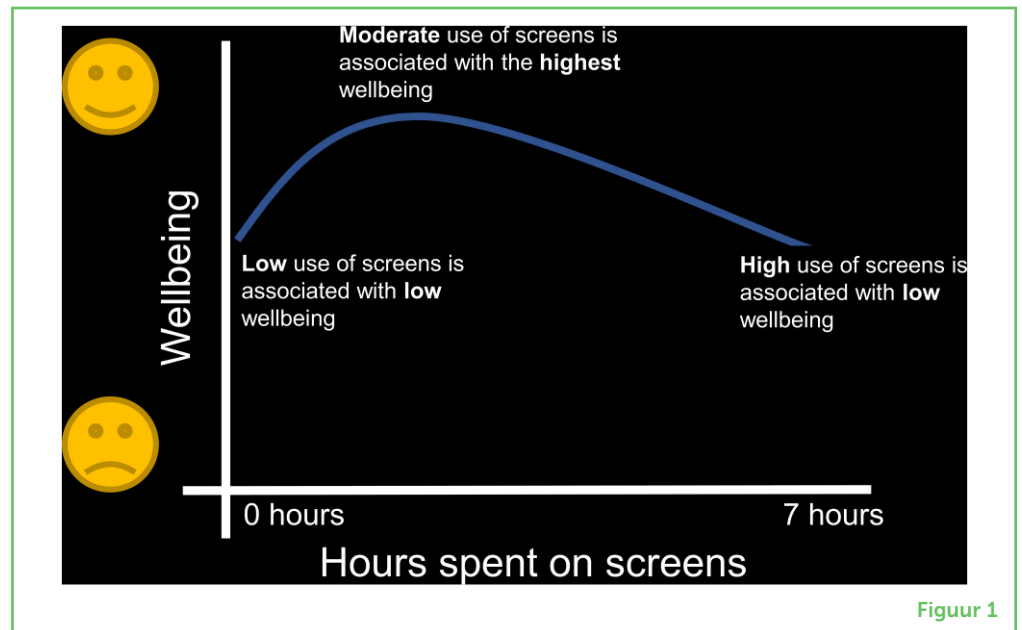
Onderzoek doen naar technologiegebruik is behoorlijk moeilijk. Dat komt door deze redenen: (1) Het is lastig voor mensen om zelf in te schatten hoeveel tijd ze online doorbrengen; (2) Het is moeilijk om te ontrafelen of kinderen zich slecht voelen en slechte cijfers halen *doordat* ze teveel technologie gebruiken, of dat kinderen die zich al slecht voelen, meer geneigd zijn om veel technologie te gebruiken; en (3) we moeten wachten totdat gebruikers ouder zijn om erachter te komen wat de langetermijneffecten zijn. Ondanks deze moeilijkheden, is dit onderzoek wel erg belangrijk. In dit artikel delen we met jullie wat er tot nu toe bekend is over de relatie tussen de tijd die je online doorbrengt en hoe je je voelt.

Onderzoekers komen er steeds meer achter dat *gematigdheid* (niet te veel, niet te weinig) belangrijk is bij technologiegebruik (Figuur 1). Mensen die óf heel veel, óf heel weinig tijd op hun digitale apparaten doorbrengen, ervaren de meeste problemen [3]. Als je een gemiddelde tijd doorbrengt op je apparaten kan dat juist positief uitpakken, zoals je blij voelen en je verbonden voelen met vrienden. De kwaliteit van de activiteiten is ook belangrijk. Hoge-kwaliteit activiteiten zijn die waarin je actief bezig bent, zoals chatten met vrienden of familie, werken aan projecten, zelf content creëren of dingen leren van video's. Lage-kwaliteit activiteiten zijn juist geassocieerd met gevoelens als depressie, jaloezie en eenzaamheid. Lage-kwaliteit activiteiten zijn bijvoorbeeld passief scrollen, jezelf met anderen vergelijken op sociale media, je smartphone tot 's avonds laat in bed gebruiken of gebruiken terwijl je eigenlijk andere dingen moet doen. Het is ook belangrijk om technologie met een doel te gebruiken en multitasken en afleiding te voorkomen. Als je bijvoorbeeld huiswerk maakt terwijl je met vrienden aan het appen bent, is de kwaliteit van beide activiteiten slechter. We willen natuurlijk ook weten wat voor effect technologie heeft op

volwassenen, maar omdat kinderen en tieners nog in ontwikkeling zijn is het extra belangrijk om bij die groepen te kijken of er mogelijk negatieve effecten zijn (zie [Box 1](#)).

Figuur 1

Een gemiddelde hoeveelheid schermgebruik (computers, tablets, videogames en smartphones) is geassocieerd met hoger welzijn. Beide extremen, erg weinig en erg veel schermgebruik, hangen samen met lager welzijn (figuur geadapteerd van Przybylski en Weinstein [3]).



SOCIAAL-EMOTIONELE ONTWIKKELING

Gevoelens en emoties kunnen begrijpen, uitdrukken en controleren, om relaties met anderen te kunnen opbouwen en in stand te houden.

COGNITIEVE CONTROLE

Mentale processen zoals aandacht, geheugen en beslissingen maken, die gedachten en gedrag zo sturen dat we onze doelen kunnen bereiken.

Box 1 | Technologie tips voor tieners

1. Let vooral op de kwaliteit en inhoud van de dingen die je online doet, in plaats van totale schermtijd.
2. Gebruik technologie actief (video's maken, updates of verhalen schrijven, chatten met vrienden en familie, video's gebruiken om nieuwe dingen te leren) in plaats van passief (zoals scrollen door de account van een celebrity).
3. Probeer niet te multitasken: leg je telefoon weg terwijl je huiswerk maakt.
4. Let erop dat je technologiegebruik geen tijd wegneemt van dingen als sporten, genoeg slapen, huiswerk maken en omgaan met vrienden en familie.
5. Leg je telefoon buiten je kamer als je gaat slapen: gebruik in plaats daarvan een alarmklok.
6. Verander de standaardinstellingen in apps die het moeilijk maken om te stoppen, zoals notificaties en autoplay bij video's.
7. Neem verantwoordelijkheid voor hoe jij met digitale media omgaat. Maak bijvoorbeeld een contract of afspraken die werken voor jou en jouw familie.

SOCIALE MEDIA EN HET SOCIALE BREIN

De tienerjaren zijn een periode waarin kinderen een hoop leren (binnen en buiten de klas), hun eigen interesses ontwikkelen, ontdekken wie zij zelf zijn en hoe zij zich voelen over wie zij zijn [4]. Tussen de leeftijd van 10 en 24 jaar zijn er grote veranderingen in je lichaam en in je hersenen. Jongeren worden dan extra gevoelig voor wat er gebeurt in hun omgeving. Dat komt doordat de hersennetwerken voor **sociaal-emotionele ontwikkeling** (Figuur 2, in blauw en groen), sneller ontwikkelen dan de hersennetwerken voor **"cognitieve controle"** (Figuur 2, in rood). Het cognitieve

controle-netwerk zorgt voor dingen als aandacht, geheugen, leren en beslissingen maken, zodat je je doelen bereikt. Maar ons cognitieve controle-netwerk wordt ook beïnvloed door het sociaal-emotionele systeem: Hoe wij leren en beslissingen nemen hangt ook af van hoe leuk, spannend of sociaal de situatie is [2, 5].

Figuur 2

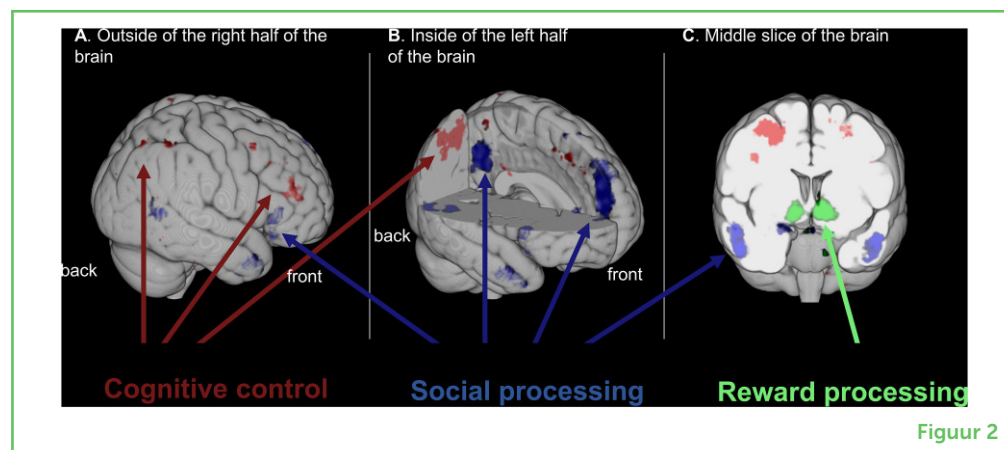
Hersengebieden die belangrijk zijn voor cognitieve controle, verwerken van sociale prikkels en beloningen, vanuit verschillende hoeken bekeken. (A) Oppervlakte van de rechterkant van de hersenen, met de gebieden die belangrijk zijn voor cognitieve controle en sociale prikkelverwerking. (B) Binnenkant van de hersenen aan de linkerkant (de rechterkant is verwijderd), met belangrijke gebieden van het sociale brein-netwerk. (C) Binnenkant van de hersenen (alsof de persoon naar jou kijkt en er is een plakje uitgehaald), met de gebieden die belangrijk zijn voor beloningen.

ONTWIKKELINGS-DOELEN

Een aantal vaardigheden die mensen worden geacht te kunnen na een bepaalde levensperiode (zoals leren lopen voor kleine kinderen, of meer onafhankelijk worden van de ouders voor adolescenten).

EXTRINSIEKE BELONINGEN

Iets doen vanuit externe motivatie, zoals goede cijfers, likes, geld of goedkeuring van anderen.



Tieners hebben hele belangrijke sociaal-emotionele **ontwikkelingsdoelen** – zoals ontdekken wie ze zijn en relaties ontwikkelen met anderen – die kunnen beïnvloed worden door sociale media. Tieners zijn geneigd om veel aandacht te besteden aan hoeveel likes of followers ze krijgen op sociale media, omdat het juist in deze levensfase extra belangrijk voelt dat leeftijdsgenoten je leuk vinden, dat je populair bent of bewonderd wordt [4, 5]. Deze behoefte aan **“extrinsieke beloningen”**, zoals positieve feedback van leeftijdsgenoten, is waarschijnlijk een belangrijke reden waarom veel adolescenten continu sociale media gebruiken [6]. Sociale media kunnen een geweldige manier zijn om meer verbinding met vrienden te krijgen, zolang het op een positieve manier wordt gebruikt (zoals meer leren over wat je vrienden leuk vinden, of hun online aanmoedigen). Nog een positieve kant van sociale media is dat het je de mogelijkheid geeft om veel verschillende versies van jezelf (identiteiten) uit te proberen: Wie je bent als leerling, vriend, broertje of zusje, of fan van je favoriete band [2]. Deze ontdekkingstocht helpt je te begrijpen wie jij bent, en wat en wie je leuk vindt.

Aan de andere kant kan de wens om populair te zijn of aandacht te krijgen er ook voor zorgen dat je risicovolle dingen post, gemene comments plaatst, of te veel van jezelf online blootgeeft. Digitaal drama, online pesten of blootgesteld worden aan ongepaste dingen kan er ook voor zorgen dat jongeren gestresst raken of hun reputatie geschaad wordt. Juist als de emoties hoog oplopen is het voor jongeren extra lastig om goede beslissingen te maken, omdat de cognitieve controle-vaardigheden nog niet helemaal uitontwikkeld zijn (Figuur 2) [4, 5]. Als je dus bijvoorbeeld driftig een reactie aan het typen bent naar iemand die je heeft gekwetst of nadenkt over welke foto je gaat posten, neem dan even de tijd om na te denken over of

jouw “toekomstige ik” er later spijt van zal hebben of juist blij zal zijn met deze (meestal permanent terug te vinden) post. Drama kan je flink afleiden van focussen op school en op je welzijn, dus denk goed na over hoe je sociale media wilt inzetten in jouw leven.

Sommige eigenschappen van sociale media, zoals het feit dat je iets kunt liken, sharen en openlijk commentaar kunt geven, zorgen ervoor dat mensen dingen gaan doen om extra aandacht te krijgen, indruk te maken op anderen en zichzelf gaan vergelijken met anderen. In ons onderzoek hebben we ontdekt dat tieners die sociale media vooral gebruikten om zichzelf te vergelijken met anderen en online feedback te zoeken, vaker depressieve of angstige gevoelens hadden. Veel scrollen door andermans feeds kan ook samenhangen met een lager zelfvertrouwen. Maar een belangrijke vraag voor onderzoekers is of sociale media daadwerkelijk problemen kunnen veroorzaken, of dat mensen die al problemen hadden vaker sociale media gaan gebruiken op een manier die schadelijk kan zijn. In elk geval is er dus wel een relatie tussen technologiegebruik en mentale of sociale problemen. Hoe kun je dan zorgen dat je technologie op een goede manier gebruikt, zodat het je vriendschappen sterker maakt en je de mogelijke valkuilen en nadelen vermijdt?

VERSLAAFD RAKEN AAN JE SMARTPHONE

Als je veel leuke dingen online doet, is het extra moeilijk om op te letten of je niet te lang op je telefoon of computer zit. Het kan soms voelen alsof je “verslaafd” bent – je brengt meer tijd online door dan goed voor je is. Het kan zelfs voelen alsof je niet zelf in de hand hebt hoeveel tijd je online wilt besteden. Naarmate je ouder wordt kan je cognitieve controle-netwerk ([Figuur 2](#), in het rood) je steeds beter helpen om aandacht vast te houden en afleidingen te negeren, maar zolang je jong bent is dat nog extra moeilijk. Zeker op momenten dat er veel leuke, spannende of emotionele dingen online gebeuren. Dat komt door die hersengebieden die we eerder hebben gezien ([Figuur 2](#), in het groen), die extra veel activiteit vertonen in de **adolescentie** als je een beloning krijgt. Een beloning kan ook een sociale beloning zijn, zoals een like. Sommige belonende activiteiten zijn goed voor je, zoals vrienden maken of goede cijfers halen. Maar belonende activiteiten kunnen ook slecht voor je zijn, zoals het eten van suiker, de hele nacht gamen, of gevaarlijke dingen doen. De extra gevoeligheid voor beloningen die jongeren hebben, zorgt ervoor dat ze meer nieuwe dingen uitproberen, meer durven en meer dingen doen die je onmiddellijk goed laten voelen (maar op de lange termijn niet altijd slim zijn) [4]. Ook als je online bent, kan het dat de neiging om voor snelle beloningen te gaan voorrang krijgt boven het nadenken over de langetermijengevolgen. Gamen, chatten of streamen tot laat in de avond zorgt er misschien voor dat je je op dat moment goed voelt, maar de volgende dag niet, als je moe en chagrijnig op school zit (zie [Box 1](#)).

ADOLESCENTIE

Periode in de ontwikkeling tussen de kindertijd en volwassenheid (ongeveer tussen 10 en 24 jaar oud).

EFFECT VAN TECHNOLOGIE OP SLAAP

Wat is het laatste dat je gisteren deed voor je ging slapen? De kans is groot dat je nog even een laatste berichtje stuurde of dat je in slaap viel terwijl je een tv-show aan het streamen was. We weten dat technologie invloed heeft op slaap, en slaap heeft weer effect op je hersenen, lichaam en gezondheid. Slecht slapen heeft negatieve gevolgen voor aandacht, leren en geheugen. Door te weinig slaap kun je ook angstig of depressief worden. Je smartphone of andere apparaten 's avonds in bed gebruiken zorgt ervoor dat het moeilijker is in slaap te vallen en zorgt er waarschijnlijk ook voor dat je later gaat slapen dan je eigenlijk zou moeten. Notificaties kunnen je ook nog eens midden in de nacht wakker maken. Het is heel belangrijk dat je technologiegebruik niet in de weg staat van een goede nachtrust, zeker terwijl je hersenen en lichaam nog in ontwikkeling zijn. Het is dus een goed idee om je apparaten buiten je kamer te houden wanneer je gaat slapen (zie [Box 1](#)).

NEEM DE CONTROLE TERUG!

Gelukkig zijn er ook een aantal dingen die je kunt doen om ook eens niet bezig te zijn met sociale media, games en video, en zo weer grip te krijgen op je kostbare tijd. Als je graag filmpjes kijkt, zet dan de functie "auto-play" uit, wat vaak de standaardinstelling is op de meeste platformen. Zonder auto-play is het makkelijker om te kiezen wanneer je stopt met kijken. Voordat je een nieuw account ergens opent, zorg dan dat je profiel goed beschermd is en zet push notificaties uit. De standaardinstellingen zijn vaak zo gemaakt door tech bedrijven dat je "verslaafd" raakt, omdat de bedrijven allemaal concurreren om jouw tijd en aandacht om advertenties te kunnen verkopen. Neem de controle terug door instellingen te kiezen die voor jou goed voelen. Je kunt ook kiezen om de WiFi helemaal uit te zetten terwijl je je huiswerk maakt, om niet aan de verleiding toe te geven. Je kunt zelfs reminders zetten op je telefoon om jezelf eraan te herinneren pauzes te nemen en ook andere dingen te doen, zoals sporten of tijd doorbrengen met vrienden en familie (zie [Box 1](#)).

Nu heb je een goede indruk gekregen van hoe je brein reageert op sociale media, computer games, online video's en andere vormen van digitale media. Maak anders eens een schema van alles wat je in een middag na school en in het weekend zou willen doen, zodat je wat meer grip krijgt op je tijdsbesteding. Je weet al welke dagen je bepaalde sporten of clubjes doet en hoeveel uur je ongeveer bezig bent met je huiswerk. Je weet ook dat het belangrijk voelt om verbonden te blijven met je vrienden via sociale media, om te posten op je channel, en je favoriete online games te spelen. Je kunt voor jezelf richtlijnen opstellen voor je technologiegebruik, en die aan je ouders of leraren laten zien, en zien hoe je eigen richtlijnen

INTRINSIEKE BELONING

Iets doen vanuit interne motivatie, zoals trots zijn op wat je hebt bereikt.

je het gevoel van controle teruggeven. Je kunt dan een gevoel van **"intrinsieke beloning"** krijgen. Simpel gezegd is intrinsieke beloning een gevoel van trots of voldoening dat iets is gelukt wat voor jou belangrijk is. Richtlijnen die je zelf hebt bedacht, in overleg met volwassenen die voor jou belangrijk zijn, zullen waarschijnlijk beter werken dan regels die jou worden opgelegd. Misschien kun je zelfs met je familie een contract maken over technologiegebruik. Ouders hebben vaak ook moeite om hun technologiegebruik onder controle houden, dus misschien kunnen jullie ideeën uitwisselen over hoe je een goede balans kunt vinden.

HAAL HET BESTE UIT TECHNOLOGIE

De adolescentie is een spannende tijd waarin je ontdekt wie je bent, wat en wie je leuk vindt, en de mogelijkheden ontwikkelt om je eigen interesses te volgen en zelf keuzes te maken. Technologie kan hierbij helpen als je het doelgericht en bewust gebruikt. Er kunnen zelfs voordelen zijn voor je mentale gezondheid in de vorm van bijvoorbeeld chatten met vrienden, het posten van creatieve dingen die je hebt gemaakt of bedacht, of verbinding zoeken met een groep die dezelfde interesses heeft. Let vooral op de kwaliteit en inhoud van de dingen die je online doet, in plaats van alleen de hoeveelheid tijd. Let er ook op dat technologiegebruik geen tijd wegneemt van sporten, genoeg slapen, huiswerk maken of echt contact hebben met vrienden en familie. Onderzoekers zijn nog bezig met het ontdekken van de positieve of negatieve effecten van technologiegebruik op het ontwikkelende brein. In de tussentijd is het heel belangrijk dat je zelf de controle neemt over hoe je met digitale media omgaat. Wees zelf de baas over je smartphone, in plaats van dat je smartphone jou de baas is.

DANKWOORD

We willen iedereen bedanken die meegewerkt heeft met de vertaling van de artikelen in deze Collectie om ze toegankelijker te maken voor kinderen buiten Engelstalige landen, en voor de Jacobs Foundation voor het verstrekken van de benodigde fondsen voor het vertalen van de artikelen. Voor dit artikel willen we in het bijzonder Nienke van Atteveldt en Sabine Peters bedanken voor de Nederlandse vertaling.

REFERENTIES

1. Pew Research Center. 2018. *Teens, Social Media & Technology 2018*. Available online at: <https://www.pewinternet.org/2018/05/31/teens-social-media-technology-2018/>

2. Moreno, M. A., and Uhls, Y. T. 2019. Applying an affordances approach and a developmental lens to approach adolescent social media use. *Digit. Health.* 5:2055207619826678. doi: 10.1177/2055207619826678
3. Przybylski, A., and Weinstein, N. 2017. A large-scale test of the Goldilocks hypothesis: quantifying the relations between digital-screen use and the mental well-being of adolescents. *Psychol. Sci.* 28:204–15. doi: 10.1177/0956797616678438
4. Dahl, R. E., Allen, N. B., Wilbrecht, L., and Suleiman, A. B. 2018. Importance of investing in adolescence from a developmental science perspective. *Nature.* 554:441–50. doi: 10.1038/nature25770
5. Mills, K. L., Goddings, A. L., and Blakemore, S. J. 2014. Drama in the teenage brain. *Front. Young Minds* 2:16. doi: 10.3389/frym.2014.00016
6. Rideout, V., and Robb, M. B. 2018. *Social Media, Social Life: Teens Reveal Their Experiences*. San Francisco, CA: Common Sense Media.

GEREDIGEERD DOOR: Sabine Peters

WETENSCHAPPELIJKE MENTOR: Hector Arciniega

CITATIE: Magis-Weinberg L en Berger EL (2023) Mind games: Technologie en het puberbrein. *Front. Young Minds*. doi: 10.3389/frym.2020.00076-nl

VERTALING EN BEWERKING VAN: Magis-Weinberg L and Berger EL (2020) Mind Games: Technology And The Developing Teenage Brain. *Front. Young Minds* 8:76. doi: 10.3389/frym.2020.00076

BELANGENVERSTRENGELING: De auteurs verklaren dat het onderzoek is uitgevoerd zonder enige commerciële of financiële relaties die zouden kunnen worden opgevat als potentiële belangenverstrengeling.

AUTEURSRECHTEN © 2020 © 2023 Magis-Weinberg en Berger. Dit is een open-access artikel verspreid onder de voorwaarden van de [Creative Commons Attribution \(CC BY\)](#). Gebruik, verspreiding of reproductie in andere fora is toegestaan, mits de oorspronkelijke auteur(s) en de auteursrechthebbende(n) worden gecrediteerd en de oorspronkelijke publicatie in dit wetenschappelijk tijdschrift wordt geciteerd, in overeenstemming met de gangbare wetenschappelijke beoefening. Geen enkel gebruik, distributie of reproductie is toegestaan dat niet voldoet aan deze voorwaarden.

JONGE REVIEWER

SCOTTY, LEEFTIJD:10

Mijn lievelingskleur is rood. Mijn lievelingsfilms zijn Space Jam en the Goonies. In mijn vrije tijd doe ik het liefst aan sport of speel ik videogames. Mijn favoriete sporten zijn basketbal en voetbal.



AUTEURS



LUCÍA MAGIS-WEINBERG

Ik ben een doctor en wetenschapper en ik doe onderzoek naar het effect van technologie op kinderen, adolescenten en hun hersenen, vooral in landen in Latijns-Amerika. Zelf gebruik ik continu technologie: om mijn werk te doen, om projecten in andere landen te kunnen doen, om contact te houden met familie en vrienden die ver weg wonen – dus ik weet zelf heel goed hoe belangrijk online interacties kunnen zijn. Met mijn onderzoek wil ik adolescenten helpen zich te ontwikkelen in deze wereld van snelle technologische veranderingen. *l.magisweinberg@berkeley.edu

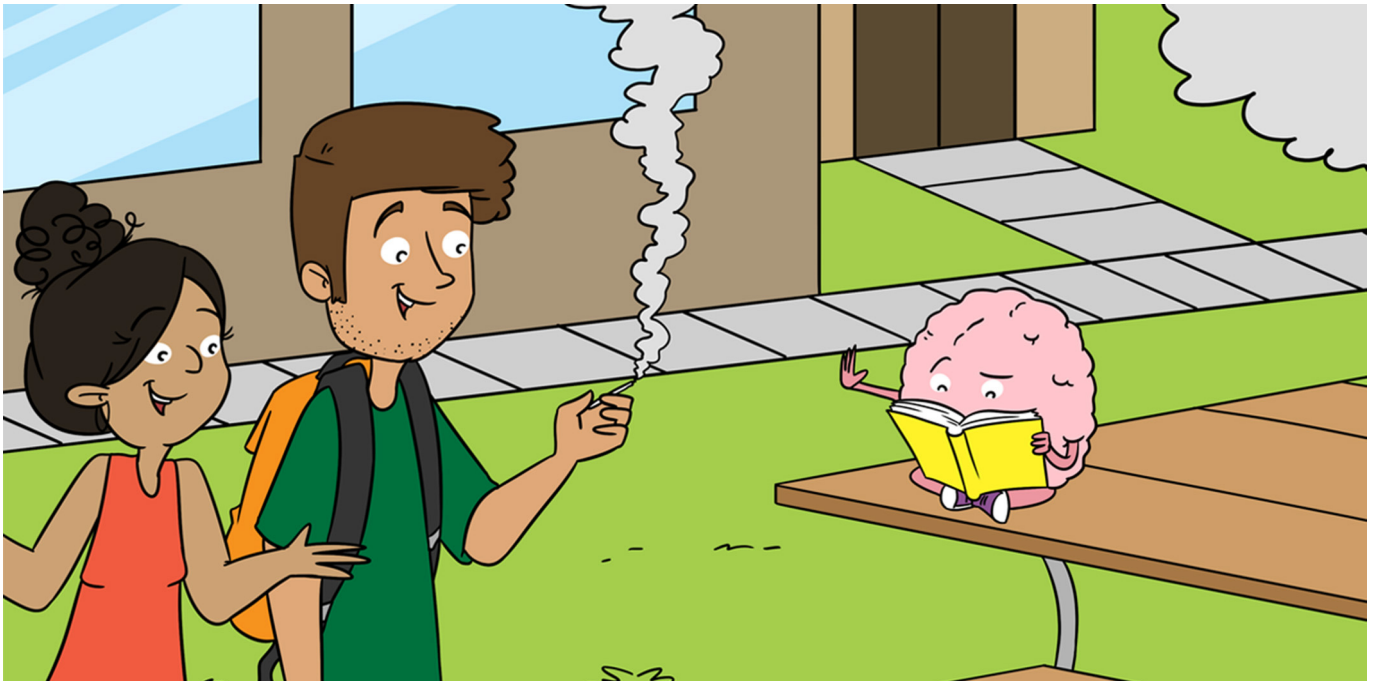


ESTELLE L. BERGER

Ik ben een post-baccalaureate psychologie student, en ik doe onderzoek naar de ontwikkeling van jongeren, sociale context en technologiegebruik. In mijn onderzoek raak ik steeds weer geïnspireerd door de kracht van jonge mensen om de wereld te verbeteren. Buiten het lab ben ik graag aan het wandelen, probeer ik de Sunday Times kruiswoordpuzzel te maken, of ben ik bezig mijn plantjes te verzorgen.

Dutch version provided by
Nederlandse versie verzorgd door

 **JACOBS
FOUNDATION**
Our Promise to Youth



CANNABIS EN HET LERENDE BREIN

Lana Vedelago^{1,2*}, Jillian Halladay^{1,3}, Catharine Munn^{1,4}, Katholiki Georgiades^{5,6} en Michael Amlung^{1,6}

¹Department of Psychiatry and Behavioural Neurosciences, Peter Boris Centre for Addictions Research, McMaster University and St. Joseph's Healthcare Hamilton, Hamilton, ON, Canada

²Neuroscience Graduate Program, McMaster University, Hamilton, ON, Canada

³Department of Health Research Methods, Evidence, and Impact, McMaster University, Hamilton, ON, Canada

⁴Michael G. DeGroote Centre for Medicinal Cannabis Research, McMaster University, Hamilton, ON, Canada

⁵Offord Centre for Child Studies, McMaster University, Hamilton, ON, Canada

⁶Department of Psychiatry and Behavioural Neurosciences, McMaster University, Hamilton, ON, Canada

JONGE REVIEWER:



GREESHMA

LEEFTIJD: 13

Wat zijn de effecten van cannabis (marihuana, wiet, hasj) op je hersenen en op je schoolprestaties? Uit onderzoek weten we dat je hersenen nog tot ongeveer je 23^{ste} in ontwikkeling zijn. In die periode zijn je hersenen extra gevoelig voor de effecten van drugs zoals cannabis. Dit artikel geeft een overzicht van het onderzoek naar de effecten van cannabis. We kijken vooral naar de effecten op je geheugen en je leer- en schoolprestaties. Ook gaan we het hebben over hersenonderzoek. Daarmee kunnen wetenschappers zien wat er gebeurt in de hersenen van jongeren die cannabis gebruiken. Na dit artikel heb je dus hopelijk meer antwoorden dan vragen over cannabis. Maar we eindigen met een overzicht van de belangrijkste vragen die er nog zijn over de effecten van cannabis. Ook dat hoort namelijk bij wetenschap!

INTRODUCTIE

Als jongere moet je de hele dag door keuzes maken, vaak ook nog met druk van buitenaf. Bijvoorbeeld de keuze om wel of niet cannabis of andere drugs te proberen. Je hoort allerlei verschillende verhalen over de mogelijke risico's of voordelen van cannabis. De laatste jaren is de algemene opvatting over cannabis veranderd, bijvoorbeeld door veranderingen in de wet en door het gebruik van cannabis als medicijn voor bepaalde ziektes. Daardoor denken sommige mensen dat cannabis 100% veilig is en geen risico's heeft voor je gezondheid of je leerprestaties. Dit artikel is niet bedoeld om je precies te vertellen wat je wel en niet moet doen, maar wel om je een eerlijk, up-to-date overzicht te geven van het onderzoek naar cannabis. We gaan het ook hebben over een aantal mythes over cannabis: dingen die iedereen gelooft, maar die niet helemaal blijken te kloppen.

Cannabis is na tabak en alcohol de meest gebruikte drug ter wereld. Meestal wordt het gebruikt door te roken, te vaperen, of in eetbare vorm zoals in spacecake of een snoepje. In Nederland is cannabis al een hele tijd legaal vanaf 18 jaar, maar ook in Noord-Amerika is dat nu zo. In Canada ligt de grens op 18 of 19 jaar en in de meeste Amerikaanse staten mag je vanaf 21 jaar legaal cannabis gebruiken.

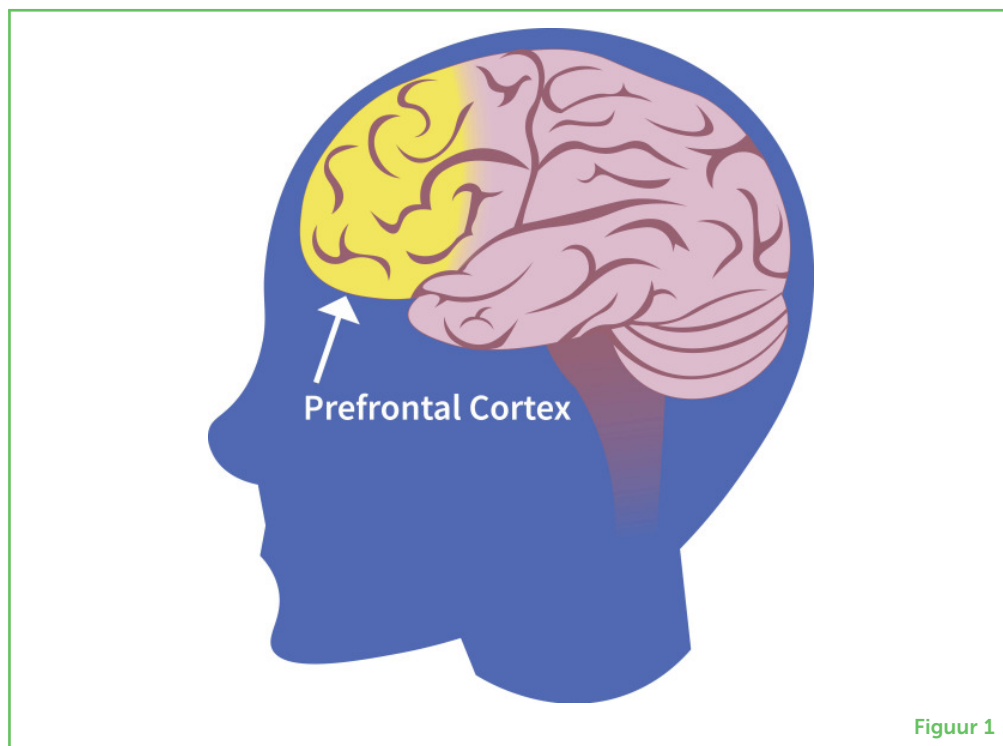
Cannabis is een stof die "psychoactieve" effecten heeft. Dat betekent dat het processen in je hersenen kan beïnvloeden, wat weer effecten heeft op je gevoel, je gedachten en je gedrag. Mensen gebruiken cannabis om verschillende redenen: om "high" te worden, om te experimenteren of om minder zenuwachtig te zijn in sociale situaties. Op het eerste gezicht lijkt het inderdaad misschien alsof cannabis helpt – bijvoorbeeld doordat het je stemming verbetert of doordat het sociaal contact makkelijker maakt. Maar vaak zie je dat als je cannabis langer gebruikt, problemen juist erger worden. Cannabis kan op de lange termijn negatieve gevolgen hebben voor je lichamelijke en geestelijke gezondheid. Die negatieve gevolgen zie je vaker als je cannabis heel vaak gebruikt, of in hele grote hoeveelheden, én je ziet vaker negatieve gevolgen bij tieners en jongvolwassenen. Daarbij kan cannabis er ook voor zorgen dat je domme beslissingen neemt, zoals autorijden terwijl je high bent, doordat je de risico's minder goed kan inschatten [1].

We weten nu meer over de effecten van cannabis dan vroeger doordat we nu ook met nieuwe technieken kunnen kijken naar de hersenen. Door dit soort technieken, zoals MRI, hebben we ontdekt dat je hersenen nog veel langer doorontwikkelen dan we vroeger dachten. Een aantal belangrijke veranderingen in de hersenen zie je in twee belangrijke systemen. Het eerste deel, het endocannabinoïde-systeem, helpt bij het maken en verbeteren van verbindingen tussen hersengebieden [2]. Zoals je misschien al aan de naam kunt zien, wordt dit systeem beïnvloed door

cannabis. Het tweede deel van de hersenen dat veel verandert in de adolescentie, de prefrontale cortex, is het commandocentrum of “de baas” van de hersenen. De prefrontale cortex speelt een belangrijke rol bij het nemen van beslissingen, het oplossen van problemen en het beheersen van je eigen gedrag (Figuur 1) [2]. We weten door hersenonderzoek dat het endocannabinoïde-systeem en de prefrontale cortex nog in ontwikkeling zijn tot ongeveer je 23^{ste}. Tot die leeftijd zijn deze hersengebieden nog extra gevoelig voor de effecten van alcohol, cannabis en andere drugs [2].

Figuur 1

De prefrontale cortex. Het geel gekleurde deel in het plaatje is de prefrontale cortex. Het is het “commandocentrum” van de hersenen, dat zorgt voor dingen als beslissingen nemen, problemen oplossen en je eigen gedrag beheersen (geïllustreerd door Madelyn Vedelago).



Figuur 1

VRAAG 1: WAT ZIJN DE KORTETERMIJNEFFECTEN VAN CANNABIS OP HET BREIN EN OP LEREN? HOE WETEN WE DAT?

Er zijn een paar kortetermijneffecten van cannabis op de hersenen die een negatieve invloed kunnen hebben op je leerprestaties en je cijfers op school (Figuur 2). Onderzoekers hebben ontdekt dat jongeren die cannabis gebruiken minder goed presteren op taken die aandacht, leren, geheugen en reactietijd vereisen [3]. Dit was zelfs zo als de cannabisgebruikers 1 maand voor het experiment geen drugs meer hadden gebruikt. Tieners die op jongere leeftijd (onder de 15) met cannabis begonnen, presteerden nog slechter op deze taken dan degenen die op oudere leeftijd begonnen met cannabis [2]. Dit kan komen door de cannabis, maar ook doordat jongeren die op jonge leeftijd cannabis gaan gebruiken, al minder goed konden leren dan leeftijdsgenoten vóórdat ze begonnen met cannabis. Wat gebeurt er in de hersenen wat deze verminderde prestatie kan verklaren?

Figuur 2

De negatieve effecten van cannabisgebruik in de adolescentie. Omdat het brein nog in ontwikkeling is, kun je problemen ervaren met sommige vaardigheden die je op school nodig hebt. Denk bijvoorbeeld aan geheugen, nadenken, leren en aandacht (geïllustreerd door Madelyn Vedelago).



Figuur 2

Zoals al eerder genoemd, ontwikkelt het endocannabinoïde-systeem in de hersenen zich tijdens de adolescentie nog steeds. Ondanks dat we de rol van het endocannabinoïde-systeem niet helemaal begrijpen, weten we dat deze belangrijke verbindingen versterkt en onbelangrijke verbindingen verzwakt in hersengebieden die belangrijk zijn voor leren en geheugen [2]. Zo worden de verbindingen in je hersenen steeds sneller en efficiënter. Het gebruik van cannabis terwijl dit systeem nog niet helemaal af is, kan mogelijk de problemen met nadenken, aandacht en leren verklaren bij jonge cannabisgebruikers [2].

Met MRI-scanners is ook ontdekt dat een deel van de prefrontale cortex gemiddeld kleiner is bij jongeren die veel cannabis gebruiken, vergeleken met jongeren die geen cannabis gebruiken [4]. De cannabisgebruikers waren ook vaak impulsiever: Ze deden vaker dingen zonder eerst na te denken [4]. Ook hadden ze minder activiteit in de prefrontale cortex vergeleken met niet-gebruikers [3]. Cannabisgebruik hangt dus samen met een kleinere en minder actieve prefrontale cortex, een gebied dat erg belangrijk is als je iets leert.

VRAAG 2: WAT ZIJN DE LANGETERMIJNEFFECTEN VAN CANNABISGEBRUIK OP SCHOOLPRESTATIES?

Uit onderzoek weten we dat mensen die als tiener veel cannabis gebruikten, het minder ver schoppen op school. Ze behalen dus een minder hoog opleidingsniveau. Dit bleek ook uit een ander onderzoek waarin mensen werden gevolgd vanaf hun tienerjaren totdat ze volwassen werden. Mensen die als tiener al cannabis gebruikten en dat daarna bleven doen, hadden vaak een lagere

opleiding dan mensen die als tiener geen cannabis hadden gebruikt [5]. Waarom zou dat zo zijn? Er is meer onderzoek nodig om er zeker van te zijn hoe cannabisgebruik schoolsucces beïnvloedt. Maar het zou kunnen komen door de hersenveranderingen in het endocannabinoïde-systeem en in de prefrontale cortex als gevolg van cannabisgebruik in de tienerjaren. Het zou ook kunnen komen door de kortetermijneffecten van cannabis op geheugen, aandacht en motivatie. Daardoor lukt het minder goed om je te concentreren op school, wat weer tot lagere cijfers kan leiden en dus lagere kansen om naar de universiteit of hogeschool te gaan.

VRAAG 3: KUNNEN DE NEGATIEVE GEVOLGEN VAN CANNABIS NOG HERSTELLEN?

Er is ook goed nieuws. Aan de ene kant zijn de hersenen van jongeren kwetsbaarder omdat ze nog niet helemaal af zijn, en dus minder "stevig" zijn. Aan de andere kant lijkt het dat jongeren juist door die snelle ontwikkelingen in hun brein ook sneller kunnen herstellen van de schadelijke effecten van stoffen zoals alcohol, cannabis en andere drugs. Zo bleek uit een onderzoek dat als cannabisgebruikers drie maanden lang stoppen met cannabis, hun problemen met geheugen, leren en aandacht weer grotendeels verdwijnen [3].

CONCLUSIE

Over het algemeen blijkt dus uit onderzoek dat cannabis negatieve effecten kan hebben op je hersenen en hoe goed je kan leren, vooral wanneer je begint met cannabis gebruiken als tiener. De onderzoeksresultaten zijn soms nog onduidelijk en er is ook nog veel onbekend. Het belangrijkste probleem in dit soort onderzoek is dat je eigenlijk wilt kijken of er al verschillen tussen mensen zijn vóórdat sommigen cannabis gaan gebruiken. Daardoor weten we nu nog niet zeker of de verschillen in leerprestaties en in de hersenen echt door cannabisgebruik komen, of daarvoor al bestonden. Maar, hoewel we nog veel te leren hebben over de effecten van cannabisgebruik, raden de meeste artsen, onderzoekers en regeringen aan om tijdens de adolescentie geen cannabis te gebruiken.

Als je zelf misschien cannabis wil proberen, kun je vast nadenken over deze vragen:

- Waarom wil ik precies cannabis gebruiken? Probeer ik misschien ergens aan te ontsnappen of is er een probleem wat ik probeer te vermijden?
- Hoe kan ik zorgen dat ik het op tijd in de gaten krijg als cannabis mijn schoolprestaties beïnvloedt? Hoe kan ik ervoor zorgen dat ik het op tijd door heb als cannabisgebruik een probleem voor mij wordt?

- Met wie zou ik kunnen praten of waar kan ik hulp vinden als ik of een van mijn vrienden problemen met cannabisgebruik krijgt?

AUTEURSBIJDRAGE

LV, JH, CM, KG, en MA hebben meegewerkt aan de opzet van het artikel. LV heeft de eerste versie geschreven. Alle auteurs hebben meegewerkt door commentaar te geven op verschillende versies en hebben de laatste versie goedgekeurd.

DANKWOORD

De schrijvers willen graag Madelyn Vedelago bedanken voor de illustraties, en Jane Jomy voor haar hulp bij het literatuuronderzoek. De schrijvers erkennen dat het land waar dit onderzoek is uitgevoerd vroeger het traditionele grondgebied was van de Mississauga en Haudenosaunee naties, en binnen de gebieden valt die worden beschermd onder de "Dish With One Spoon" wampum agreement. De schrijvers willen iedereen bedanken die meegeholpen heeft met de vertaling van de artikelen in deze Collectie om ze toegankelijker te maken voor kinderen buiten Engelstalige landen, en voor de Jacobs Foundation voor het verstrekken van de benodigde fondsen voor het vertalen van de artikelen. Voor dit artikel willen ze in het bijzonder Nienke van Atteveldt en Sabine Peters bedanken voor de Nederlandse vertaling.

REFERENTIES

1. Carliner, H., Brown, Q. L., Sarvet, A. L., and Hasin, D. S. 2017. Cannabis use, attitudes, and legal status in the U.S.: a review. *Prev. Med.* 104:13–23. doi: 10.1016/j.ypmed.2017.07.008
2. Fontes, M. A., Bolla, K. I., Cunha, P. J., Almeida, P. P., Jungerman, F., Laranjeira, R. R., et al. 2011. Cannabis use before age 15 and subsequent executive functioning. *Br. J. Psychiatry* 198:442–7. doi: 10.1192/bjp.bp.110.077479
3. Jacobus, J., Bava, S., Cohen-Zion, M., Mahmood, O., and Tapert, S. F. 2009. Functional consequences of marijuana use in adolescents. *Pharmacol. Biochem. Behav.* 92:559–65. doi: 10.1016/j.pbb.2009.04.001
4. Churchwell, J. C., Lopez-Larson, M., and Yurgelun-Todd, D. A. 2010. Altered frontal cortical volume and decision making in adolescent cannabis users. *Front. Psychol.* 1:225. doi: 10.3389/fpsyg.2010.00225
5. Ryan, A. K. 2010. The lasting effects of marijuana use on education attainment in midlife. *Subst. Use Misuse* 45:554–97. doi: 10.3109/10826080802490238

GEREDIGEERD DOOR: Sabine Peters

WETENSCHAPPELIJKE MENTOR: Juan Castillo

CITATIE: Vedelago L, Halladay J, Munn C, Georgiades K en Amlung M (2023) Cannabis en het lerende brein. *Front. Young Minds*. doi: 10.3389/frym.2020.00052-nl

VERTALING EN BEWERKING VAN: Vedelago L, Halladay J, Munn C, Georgiades K and Amlung M (2020) Cannabis and the Learning Brain. *Front. Young Minds* 8:52. doi: 10.3389/frym.2020.00052

BELANGENVERSTRENGELING: De auteurs verklaren dat het onderzoek is uitgevoerd zonder enige commerciële of financiële relaties die zouden kunnen worden opgevat als potentiële belangenverstrengeling.

AUTEURSRECHTEN © 2020 © 2023 Vedelago, Halladay, Munn, Georgiades en Amlung. Dit is een open-access artikel verspreid onder de voorwaarden van de [Creative Commons Attribution \(CC BY\)](#). Gebruik, verspreiding of reproductie in andere fora is toegestaan, mits de oorspronkelijke auteur(s) en de auteursrechthebbende(n) worden gecrediteerd en de oorspronkelijke publicatie in dit wetenschappelijk tijdschrift wordt geciteerd, in overeenstemming met de gangbare wetenschappelijke beoefening. Geen enkel gebruik, distributie of reproductie is toegestaan dat niet voldoet aan deze voorwaarden.

JONGE REVIEWER

GREESHMA, LEEFTIJD: 13

Mijn naam is Greeshma en ik ben 13 jaar. Allebei mijn ouders zijn software engineers en mijn lievelingsvakken op school zijn wiskunde en wetenschap. Na school speel ik graag volleybal en zit ik in verschillende wetenschapsclubs.



AUTEURS

LANA VEDELAGO

Ik ben een PhD-student en ik doe onderzoek naar verslavingen en gerelateerde problemen met de geestelijke gezondheid. Ik wil graag mensen helpen die last hebben van dit soort problemen. Naast mijn werk in het lab werk ik als vrijwilliger in het dierenasiel. Ook houd ik van dansen en cross-fit. *vedelagl@mcmaster.ca



JILLIAN HALLADAY

Ik ben een onderzoeker en verpleegkundige gespecialiseerd in geestelijke gezondheid. Ik wil graag ontdekken hoe jongeren gelukkig en succesvol kunnen opgroeien. Veel van mijn onderzoek gaat over hoe en óf drugsgebruik (vooral cannabis en alcohol) samenhangt met mentale gezondheid. In mijn vrije tijd doe ik aan gewichtheffen, bordspellen spelen en wandelen in de natuur.



**CATHARINE MUNN**

Ik ben een dokter (psychiater), onderwijzer en onderzoeker op het gebied van geestelijke gezondheid en drugsgebruik onder studenten. Daarnaast houd ik van lezen, sporten, buiten zijn en samen zijn met vrienden en familie.

**KATHOLIKI GEORGIADES**

Ik ben universitair hoofddocent bij de afdeling Psychiatrie van McMaster University in Canada. Mijn onderzoek gaat over sociaal-economische verschillen in de geestelijke gezondheid van kinderen, en de ondersteuning en hulp die kinderen kunnen ontvangen. In mijn vrije tijd breng ik graag tijd door met familie en vrienden en reis ik vaak terug naar Griekenland en Cyprus.

**MICHAEL AMLUNG**

Ik ben universitair docent Psychiatrie aan de McMaster University in Canada. Ik wil graag begrijpen wat er gebeurt in je hersenen als je alcohol of drugs gebruikt, en hoe dit samenhangt met geestelijke gezondheid. We hopen dat ons onderzoek de behandeling voor mensen met een verslaving kan verbeteren. Ik werk graag samen met mijn studenten en collega's op veel verschillende onderzoeken, met hersenscans of andere technieken. In mijn vrije tijd houd ik van koken, reizen en tijd doorbrengen met mijn familie.

Dutch version provided by
Nederlandse versie verzorgd door

JACOBS
FOUNDATION
Our Promise to Youth



EEN GOEDE NACHTRUST: ESSENTIEEL VOOR JONGE GEESTEN

M. Elisabeth Koopman-Verhoeff^{1,2,3} en Jared M. Saletin^{1,2*}

¹EP Bradley Hospital Sleep Research Laboratory, Alpert Medical School of Brown University, Providence, RI, Verenigde Staten

²Department of Psychiatry and Human Behavior, Alpert Medical School of Brown University, Providence, RI, Verenigde Staten

³The Generation R Study Group, Erasmus Medical Center, Rotterdam, Nederland

JONGE REVIEWERS:



JACOB

LEEFTIJD: 12



**ST. BERNARD
REGIONAL
CATHOLIC
SCHOOL**

LEEFTIJD: 11–14

Tijdens je leven slaap je bijna 250.000 uur. Waarom hebben we zoveel slaap nodig? Slaap is niet alleen een onderbreking van de dag, maar ook noodzakelijk voor je lichaam en hersenen om gezond te blijven, vooral tijdens het opgroeien. Een goede nachtrust helpt je bijvoorbeeld om de volgende dag alert te zijn en te leren. Wanneer en hoe lang je slaapt zal naarmate je ouder wordt veranderen. Hoe weet je hoe veel slaap je nodig hebt of hoe laat je 's avonds naar bed zou moeten gaan? In dit artikel delen we de antwoorden op deze vragen en meer. We hebben de werking van slaap onderzocht en begrijpen nu iets meer over wat je hersenen de hele nacht doen: je gezond en alert houden zodat je voorbereid bent voor een nieuwe schooldag vol plezier. Als je dit leest vlak voordat je naar bed gaat, weet je zeker dat je vanavond goed zal slapen.

Van al de dingen die je doet, wat doe je het meest? Dat is niet eten of drinken, maar slapen! We brengen ongeveer een derde van ons

leven slapend door. Wetenschappers hebben tientallen jaren gewerkt om te begrijpen waarom we slapen. Terwijl je lichaam rustig in bed ligt, verwerken je hersenen de informatie van de dag om je voor te bereiden op morgen. Hier zullen we ingaan op het wat, wanneer, waarom en hoe van slapen en leggen we de veranderingen naarmate je ouder wordt uit.

WANNEER SLAAP JE?

Als we zouden vragen: "Wanneer slaap je?", zou je misschien zeggen: "'s Nachts!", of "Als ik moe ben!". Het blijkt dat beide antwoorden kloppen. Mensen slapen het liefst 's nachts, waardoor we dagdieren zijn en geen nachtdieren, die juist overdag slapen. Deze voorkeur zit in onze genen. Diep in je hersenen zit de suprachiasmatische kern (In het Engels de **suprachiasmatic nucleus, of SCN**). De SCN is je biologische klok. Het is de klok voor elk onderdeel van je lichaam. We noemen dit het **circadiane ritme** (circadiaan is Grieks voor 'ongeveer een dag'), omdat het ritme van slapen en waken zich elke 24 uur herhaalt. Zoals andere klokken, kan de SCN gereset worden op basis van wanneer we zonlicht zien. Wanneer we reizen, past ons lichaam zich aan aan het nieuwe patroon van licht en duisternis. Dit is de reden waarom mensen die van Noord-Amerika naar Australië reizen binnen een paar dagen een nieuw slaapritme ontwikkelen.

Zeggen: "Ik slaap als ik moe ben", is ook waar. Heb je wel eens midden op de dag een dutje gedaan? Een ander systeem in de hersenen houdt bij hoelang je al wakker bent en hoeveel je de nacht ervoor hebt geslapen. Dit noemen we de **slaaphomeostaat**. Homeostaat klinkt als een ander woord: "thermostaat", wat een goede manier is om hier naar te kijken. Net zoals een thermostaat de airconditioning aanzet als het te warm is en uitschakelt als het te koud is, kijkt de slaaphomeostaat naar hoe lang je al wakker bent. Je behoefte aan slaap wordt gedurende de dag groter en je valt in slaap wanneer die slaapbehoefte een bepaald punt bereikt heeft. Als je eenmaal uitgerust bent, gaat de slaaphomeostaat uit zodat je wakker kan worden. Dit proces herhaalt zich elke dag. De slaaphomeostaat weet echter niet of het buiten dag of nacht is, maar weet alleen of je wakker bent geweest of hebt geslapen. Als je jezelf dwingt om de hele nacht wakker te blijven, neemt de slaapbehoefte de hele nacht toe totdat je uiteindelijk in slaap valt. Als je een nacht slaap overslaat, zal je waarschijnlijk erg moe zijn en zal het langer duren om aan die slaapbehoefte te kunnen voldoen (net zoals het langer zou duren voordat de airconditioning een hele hete kamer afkoelt). Het circadiane ritme en de slaaphomeostaat werken uiteindelijk samen waardoor je je midden op de dag alert kunt voelen, zelfs als je de nacht ervoor niet veel hebt geslapen, of waardoor je je 's nachts plotseling moe voelt, zelfs als je die dag pas laat bent opgestaan.

SUPRACHIASMATIC NUCLEUS (SCN)

Een klein gebied diep in de hersenen dat de "biologische klok" vormt en de circadiane ritmes genereert.

CIRCADIANE RITMES

Een van de twee manieren waarop we weten wanneer we moeten slapen. Het natuurlijk patroon van slapen en ontwaken dat zich elke 24 uur herhaalt in reactie op licht.

SLEEP HOMEOSTAT

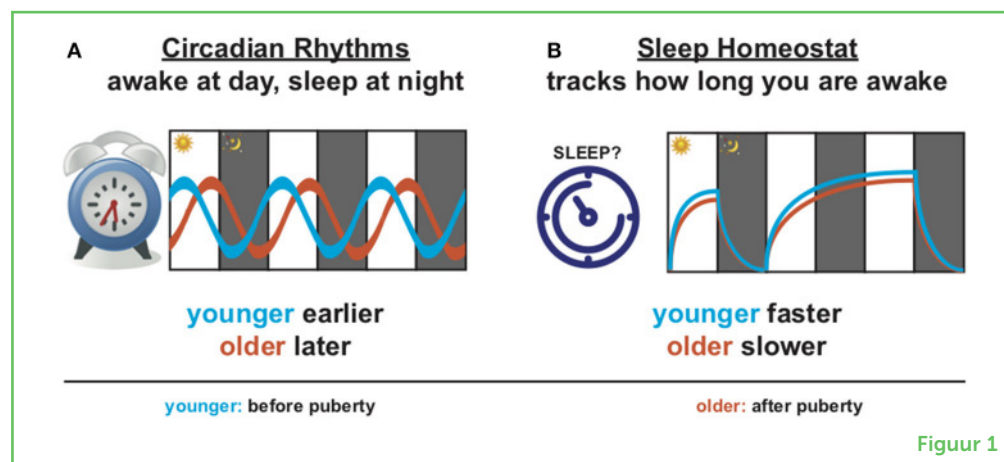
Een van de twee manieren waarop we weten wanneer we moeten slapen. De slaapbehoefte neemt toe als we wakker blijven en neemt af als we slapen.

HOE VERANDERT JE SLAAP ALS JE OUDER WORDT?

Denk aan je eigen slaap. Waarschijnlijk slaap je nu anders dan toen je een baby of een jong kind was. De SCN en de slaaphomeostaat veranderen naarmate we ouder worden (Figuur 1). Wanneer je in de puberteit komt, doet je SCN net alsof hij van tijdzone is veranderd. Je lichaam wil later opstaan en later naar bed gaan. uiteindelijk, ergens in de twintig, begint de SCN dit weer terug te draaien (Figuur 1A).

Figuur 1

Waarom slaap je wanneer je slaapt? In elke grafiek is de slaap van jongere kinderen (6-13 jaar) uitgezet in blauw en die van oudere kinderen (14-17 jaar) in oranje. Donkere balken geven de nacht aan; lichte balken de dag. (A) Circadiane ritmen: de biologische klok, georganiseerd door het SCN, houdt ons overdag wakker en 's nachts in slaap. Het wordt beïnvloed door licht, cycli om de 24 uur, en verschuift tijdens de adolescentie. (B) Slaap Homeostaat: de thermostaat voor slaap en wakker zijn. Hij houdt bij hoe lang we wakker zijn. De behoefte aan slaap neemt toe gedurende de dag als we wakker blijven en neemt af gedurende de nacht als we slapen. Als we de slaap overslaan, houdt de homeostaat bij dat we wakker zijn, totdat we weer kunnen slapen. Naarmate we ouder worden, verloopt dit proces trager, waardoor we langer kunnen opblijven voordat we moeten slapen.



Wat betreft de slaaphomeostaat bouwt je slaapbehoefte tijdens de puberteit iets langzamer op dan toen je jonger was. Met andere woorden je hebt, als we ons het voorbeeld van de thermostaat herinneren, de snelheid van de kamerverwarming vertraagd, zodat de airconditioning langer wacht voordat deze aangaat (Figuur 1B). Omdat zowel de SCN als de homeostaat tijdens de puberteit veranderen, wordt het gemakkelijker om laat op te blijven.

HOEVEEL SLAAP HEB JE NODIG?

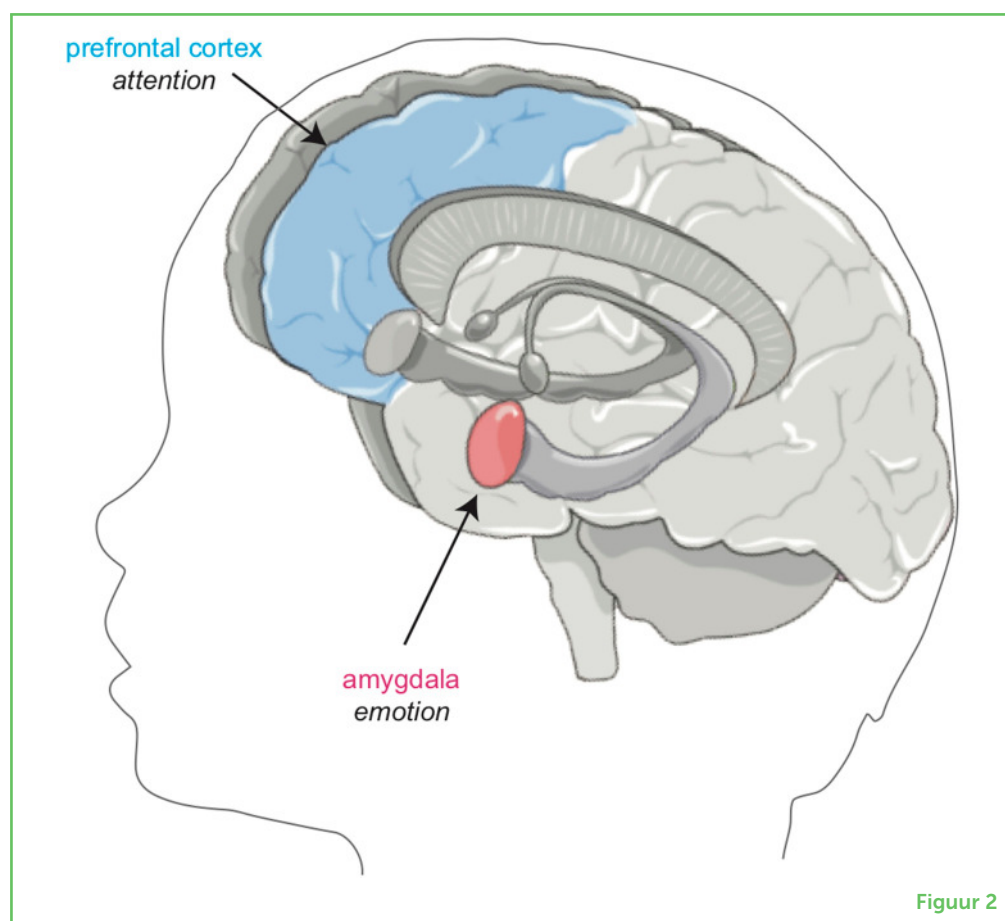
De National Sleep Foundation raadt aan dat schoolgaande kinderen (6-13 jaar) tussen de 9 en 11 uur per nacht slapen. Tieners wordt aangeraden om 8-10 uur slaap per nacht te krijgen en volwassenen ongeveer 7-9 uur [1]. Als je student bent, vooral in de Verenigde Staten, kan het moeilijk zijn om zoveel slaap te krijgen op schoolnachten. Als je door de puberteit gaat, wil je lichaam later naar bed en later slapen. Maar school (vooral in de VS) begint vaak te vroeg! Dit maakt het voor tieners moeilijk om voldoende te slapen op schoolnachten [2]. In het weekend heb je dan waarschijnlijk zoveel slaap gemist dat je je bijzonder slaperig voelt, en kun je je dramatisch verslapen omdat je slaaphomeostaat hard werkt om de slaap die je nodig hebt te herstellen. Als je je echter het hele weekend verslaapt, kan dit het wakker worden op maandagochtend een ellendige ervaring maken.

WAAROM MOET JE SLAPEN?

Slaap is essentieel voor zowel je lichaam als je geest. In je lichaam hebben je metabolisme (hoe je voedsel verteert en gebruikt), je immuunsysteem (hoe snel je geneest als je ziek bent) en je lichamelijke conditie (hoe beweging je lichaam beïnvloedt) allemaal baat bij een goede nachtrust. We richten onze aandacht op één orgaan in je lichaam: je hersenen. Alle functies van je geest zijn afhankelijk van de verschillende gebieden in je hersenen. Je hersenen hebben bijvoorbeeld de controle over je vermogen om op te letten (zoals in de klas je aandacht er bij houden), om te leren en te onthouden (bijvoorbeeld tijdens het maken van een toets) en om emoties te verwerken (zoals niet te chagrijnig worden als dingen niet gaan zoals je wilt). We zullen ons richten op aandacht en emotie, en hoe deze gebaat zijn bij slaap (Figuur 2).

Figuur 2

Regio's in de hersenen beïnvloed door de slaap. Een zijaanzicht van de hersenen, alsof je vanaf het oor naar binnen kijkt. Twee regio's worden beïnvloed door een goede nachtrust en ondersteunen de gezondheid van de hersenen: De prefrontale cortex (blauw) is cruciaal voor het opletten op school; en de amygdala (roze) is een belangrijk centrum voor het reguleren van emotie en humeur.



Figuur 2

PREFRONTAL CORTEX

Het voorste deel van de hersenen, cruciaal voor aandacht en planning.

Aandacht

Heb je wel eens geprobeerd in de klas op te letten nadat je een slechte nachtrust hebt gehad? Dat is moeilijk. Het laatste deel van de hersenen dat zich volledig ontwikkelt, de **prefrontale cortex** (PFC), zit helemaal vooraan in de hersenen. Dit speciale gebied is van cruciaal belang voor aandacht, plannen en wisselen tussen taken. Als je 's nachts niet of maar een klein beetje hebt geslapen, kan de PFC de volgende dag

AMYGDALA

Een klein gebied diep in het midden van de hersenen dat verantwoordelijk is voor het verwerken van emoties.

niet efficiënt functioneren [3], waardoor het extra moeilijk is om je te concentreren zonder afgeleid te raken. Als je niet genoeg slaap hebt gekregen, is 's avonds nog leren ook moeilijk. Leerlingen vragen vaak of het beter is om naar bed te gaan of om laat op te blijven om te leren. We hopen dat je tegen deze tijd het juiste antwoord kunt geven. Uit onderzoeksgegevens blijkt dat slaap belangrijk is voor cijfers! Een extra uur slaap ging samen met een scoreverbetering van 3-5 punten op gestandaardiseerde testen [4].

Emotie

We voelen ons vaak meer prikkelbaar na een nacht waarin we niet goed geslapen hebben. Slaap is nodig om je gelukkig te voelen en je emoties onder controle te houden.

Slaap heractiveert direct de emotionele centra van onze hersenen, zoals de **amygdala** [3]. Dit betekent niet alleen dat je humeur stabiel is na een goede nachtrust, maar je ook beter in staat bent om te reageren op emotionele dingen in je leven. Wanneer je naar de gezichten van je vrienden kijkt, kun je zien of ze boos, verdrietig of blij zijn. Maar door slaapgebrek, verliezen we het vermogen om de verschillen tussen deze emoties te zien. Een goede nachtrust helpt ons om deze complexe signalen te verwerken zodat we emoties beter kunnen opmerken en verwerken en er beter op kunnen reageren.

SLAAP EN MENTALE GEZONDHEID BIJ KINDEREN

We hebben allemaal wel nachten waarin we slecht slapen en die ons de volgende dag nog beïnvloeden. Het goede nieuws is dat het opnieuw invoeren van gezonde slaapgewoonten deze problemen vaak meteen verhelpt. Sommige kinderen hebben echter last van langdurige slaapproblemen die op de lange termijn ook van invloed kunnen zijn op hun mentale gezondheid. Vanwege alle manieren waarop slaap de hersenen beïnvloedt, gaan slaapproblemen en psychische problemen [zoals ADHD, autisme, angst of depressie] vaak hand in hand. Kinderen en adolescenten met psychische problemen kunnen ook moeite hebben met inslapen en/of doorslapen, of moeite hebben met wakker worden. We werken er nog steeds aan om het verband tussen slapen en mentale gezondheid te begrijpen om zo te achterhalen of hulp om beter te slapen kinderen met psychische problemen kan helpen [5].

HOE KUN JE GEZOND SLAPEN?

We hopen dat je ervan overtuigd bent dat slapen belangrijk is. Maar wat kun je doen om beter te slapen?

Goed slapen begint met goede slaapgewoonten (**Figuur 3**). Ga allereerst elke avond rond dezelfde tijd naar bed, zodat de SCN

en slaaphomeostaat goed blijven werken. Creëer ten tweede een bedtijdrutueel om het naar bed gaan gemakkelijker te maken, zoals het lezen van een boek of het dimmen van de lichten. Probeer ten derde de digitale schermtijd vlak voor het slapengaan te beperken. Dit heeft twee redenen: (1) het licht van je apparaten kan ervoor zorgen dat je SCN denkt dat het nog steeds dag is, en (2) de opwindende games, tv-programma's en internet kan ervoor zorgen dat je niet in slaap valt. Houd ten vierde je slaapkamer eenvoudig, koel, donker en zonder afleiders zoals tv's en apparaten (probeer je telefoon niet mee naar bed te nemen). Probeer ten vijfde, indien mogelijk, je huiswerk niet in bed te maken; houd je bed om te slapen. Probeer tot slot cafeïne (frisdrank, energiedrankjes, koffie/thee) gedurende de dag te beperken en zulke dranken na 16.00 uur helemaal niet meer te drinken. Cafeïne houdt in feite je slaaphomeostaat voor de gek, waardoor je je minder slaperig voelt, maar je slaapbehoefte niet kleiner wordt, wat niet erg handig is als school de volgende dag op het gebruikelijke tijdstip begint.

Figuur 3

Tips voor goede slaapgewoonten. Goed slapen begint met goede slaapgewoonten. Door aan elk van deze tips te werken, kun je elke nacht zo goed mogelijk slapen en je de volgende dag uitgerust en klaar voor school voelen.



Over school gesproken: het is belangrijk dat leraren en school-directeuren begrijpen dat slaap noodzakelijk is voor leren en gezondheid.

Wetenschappers werken samen met scholen en overheden om te zorgen dat school voor tieners later begint. Als je vindt dat jouw school te vroeg begint om een goede nachtrust te krijgen, laat dat dan weten aan je leraren of schrijf een brief aan je burgemeester of aan een tweede kamerlid. Vertel ze waarom het belangrijk is dat scholen de slaapgezondheid van iedereen helpen te beschermen.

SLAAP: WAAR DOEN WE HET ALLEMAAL VOOR?

Slaap is een van de sterkste voorspellers van gezondheid, maar waarom we precies slapen is een raadsel voor ons. We hopen dat we dit raadsel deels hebben ontrafeld en dat jij, je leraren en je ouders de kracht van slaap beter zullen begrijpen en toepassen om leersucces, emotionele gezondheid en hersengezondheid te ondersteunen. We hopen dat je vannacht goed slaapt.

DANKWOORD

De auteurs danken Dr. Mary Carskadon en Chloë Bergmark voor hun nuttige begeleiding. De dank van de auteurs gaat daarnaast ook uit naar iedereen die meegewerkt heeft met de vertaling van de artikelen in deze Collectie om ze toegankelijker te maken voor kinderen buiten Engelstalige landen, en voor de Jacobs Foundation voor het verstrekken van de benodigde fondsen voor het vertalen van de artikelen. Voor dit artikel willen ze in het bijzonder Nikki Lee bedanken voor de Nederlandse vertaling. MK-V werd ondersteund door de Koninklijke Nederlandse Akademie van Wetenschappen (KNAW Ter Meulen Grant) en een Fulbright Award. JS werd ondersteund door NIMH (K01MH109854), de Rhode Island Foundation en de Jacobs Foundation.

REFERENTIES

1. Hirshkowitz, M., Whiton, K., Albert, S. M., Alessi, C., Bruni, O., DonCarlos, L., et al. 2015. National Sleep Foundation's sleep time duration recommendations: methodology and results summary. *Sleep Health* 1:40–3. doi: 10.1016/j.sleh.2014.12.010
2. Crowley, S. J., Wolfson, A. R., Tarokh, L., and Carskadon, M. A. 2018. An update on adolescent sleep: new evidence informing the perfect storm model. *J. Adolesc.* 67:55–65. doi: 10.1016/j.adolescence.2018.06.001
3. Krause, A. J., Simon, E. B., Mander, B. A., Greer, S. M., Saletin, J. M., Goldstein-Piekarski, A. N., et al. 2017. The sleep-deprived human brain. *Nat. Rev. Neurosci.* 18:404–18. doi: 10.1038/nrn.2017.55
4. Dewald, J. F., Meijer, A. M., Oort, F. J., Kerkhof, G. A., and Bogels, S. M. 2010. The influence of sleep quality, sleep duration and sleepiness on school performance in children and adolescents: a meta-analytic review. *Sleep Med. Rev.* 14:179–89. doi: 10.1016/j.smrv.2009.10.004
5. Gregory, A. M., and Sadeh, A. 2016. Annual research review: sleep problems in childhood psychiatric disorders—a review of the latest science. *J. Child Psychol. Psychiatry* 57:296–317. doi: 10.1111/jcpp.12469

GEREDIGEERD DOOR: Nienke Van Atteveldt

WETENSCHAPPELIJKE MENTORS: Elizabeth Johnson en Paul Nealen

CITATIE: Koopman-Verhoeff ME en Saletin JM (2023) Een Goede Nachtrust: Essentieel Voor Jonge Geesten. *Front. Young Minds*. doi: 10.3389/frym.2020.00077-nl

VERTALING EN BEWERKING VAN: Koopman-Verhoeff ME and Saletin JM (2020) A Good Night's Sleep: Necessary for Young Minds.. *Front. Young Minds* 8:77. doi: 10.3389/frym.2020.00077

BELANGENVERSTRENGELING: De auteurs verklaren dat het onderzoek is uitgevoerd zonder enige commerciële of financiële relaties die zouden kunnen worden opgevat als potentiële belangenverstrengeling.

AUTEURSRECHTEN © 2020 © 2023 Koopman-Verhoeff en Saletin. Dit is een open-access artikel verspreid onder de voorwaarden van de [Creative Commons Attribution \(CC BY\)](#). Gebruik, verspreiding of reproductie in andere fora is toegestaan, mits de oorspronkelijke auteur(s) en de auteursrechthebbende(n) worden gecrediteerd en de oorspronkelijke publicatie in dit wetenschappelijk tijdschrift wordt geciteerd, in overeenstemming met de gangbare wetenschappelijke beoefening. Geen enkel gebruik, distributie of reproductie is toegestaan dat niet voldoet aan deze voorwaarden.

JONGE REVIEWERS

JACOB, LEEFTIJD: 12

Hallo, ik ben 12. Slaap is de basis van het leven, dus let goed op iedereen. Ik ben een sportieve jongen. Ik doe aan sport zoals honkbal, basketbal en Amerikaans football. Ik hou erg van lezen. Ik hou net zoals de andere 7,8 miljard mensen op de wereld ook van eten. Ik vind vooral Aziatisch en Amerikaans eten lekker. Ik heb twee broers en zussen, twee ouders en hopelijk ben ik grappig... Jij ook, dus blijf het proberen.

ST. BERNARD REGIONALE KATHOLIEKE SCHOOL, LEEFTIJD: 11–14

Een eclectische groep middelbare scholieren en toekomstige werkbouwkundigen, leraren, politici, dansers, muzikanten, artsen en militairen. We stellen graag vragen en onderzoeken de wereld. Velen van ons kijken uit naar opdrachten en toekomstige banen waarbij creativiteit en het oplossen van problemen nodig is. Tot die tijd hebben we veel lol met onze overdreven gekke leraar die vol cafeïne zit en onderbreken we onze lessen met gevatte opmerkingen en dierengeluiden. Een perfecte balans tussen leren en plezier!

AUTEURS

M. ELISABETH KOOPMAN-VERHOEFF

Elize is een psychologe en onderzoekster op de afdeling Kinder- en Jeugdpsychiatrie/ Psychologie van het Erasmus Medisch Centrum in Rotterdam, Nederland. Ze onderzoekt slaap en mentale gezondheid in de Generation R Study, een onderzoek naar de ontwikkeling van zo'n 7.000 Rotterdamse kinderen. In haar vrije tijd wandelt Elize graag, leest ze veel boeken en kookt ze met veel plezier voor haar vrienden en





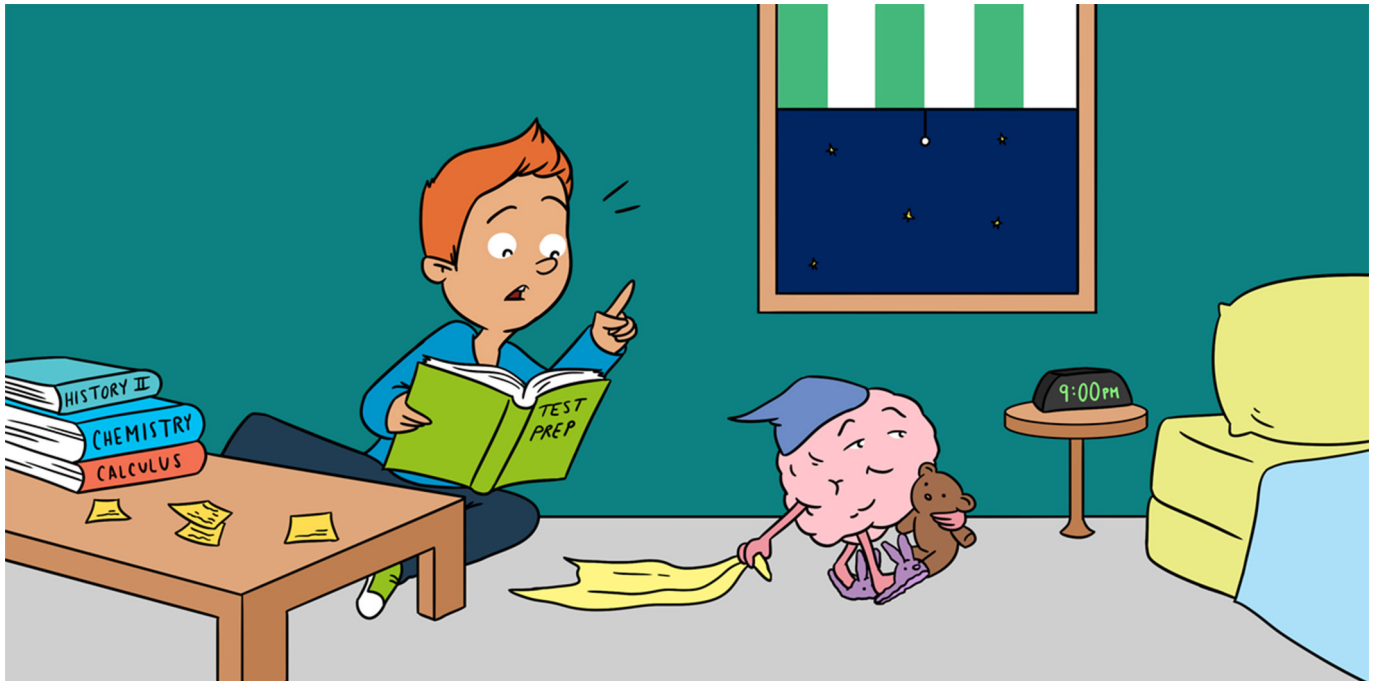
familie. Leuk weetje: ze vindt het heerlijk om vroeg naar bed te gaan en voor 7 uur 's ochtends (ook in het weekend) uit bed te komen.

JARED M. SALETIN

Jared is slaaponderzoeker en universitair docent Psychiatrie en Menselijk Gedrag aan de Brown Universiteit in Providence, RI, in de Verenigde Staten. Hij onderzoekt hoe slaap kinderen en adolescenten, en hun hersenen, helpt om te leren en op te letten. Hij hoopt dat zijn onderzoek jonge mensen helpt om na een goede nachtrust goed te presteren op school. In zijn vrije tijd brengt hij tijd door met vrienden en familie (en zijn kat) en houdt hij van koken, reizen, bordspellen spelen en brood proberen te bakken. *jared_saletin@brown.edu

Dutch version provided by
Nederlandse versie verzorgd door





VAN ZZZ'S TOT AAA'S: WAAROM SLAAP EEN BELANGRIJK ONDERDEEL VAN JE LEERPLANNING IS

Emma James^{1*}, Ann-Kathrin Joechner^{2*} en Beate E. Muehlroth^{2*}

¹Department of Psychology, University of York, York, Verenigd Koninkrijk

²Center for Lifespan Psychology, Max Planck Institute for Human Development, Berlijn, Duitsland

JONGE REVIEWERS:



HATHAWAY
BROWN
SCHOOL

LEEFTIJD: 14–15

THE
SCHOOL
FOR



SCIENCE
AND MATH
AT
VANDERBILT

LEEFTIJD: 14–15

Iedereen slaapt. Volwassenen brengen ongeveer een derde van hun tijd slapend door, maar hoe jonger je bent hoe meer je slaapt. Dit betekent niet dat kinderen en tieners lui zijn door te lang in bed te liggen. Het is juist zo dat te weinig slaap er vaak voor zorgt dat mensen zich moe voelen, minder effectief functioneren en zich niet kunnen concentreren. Niet alleen moet je de gevolgen van slecht slapen vermijden, je zou een goede nachtrust moeten vooropstellen. Goed slapen herstelt je lichaam en hersenen, en geeft je hersenen de mogelijkheid om zichzelf, na een drukke dag, opnieuw te reorganiseren. In dit artikel bekijken we waarom slaap een belangrijke ondersteuning van het geheugen is. Het vermogen om te leren, dingen te onthouden en je hersenen te verfijnen is buitengewoon tijdens de kindertijd en adolescentie, dus slaap is vooral in deze levensfasen belangrijk. We leggen uit wat het verband is tussen de veranderingen in de hersenen en slaap als je ouder wordt en waarom slaap een belangrijk onderdeel van je leerplanning zou moeten zijn.

NEURONEN

Kleine zenuwcellen in de hersenen die signalen en informatie opslaan en doorgeven.

RAPID EYE MOVEMENT (REMSLAAP)

Slaapfase waarin de ogen snel bewegen en de spieren extreem ontspannen zijn, vaak geassocieerd met levendige dromen.

SLAAPSPOELEN

Korte periodes van verhoogde activiteit in de hersenen die volgens ons helpen bij efficiënte communicatie tussen verschillende delen van de hersenen.

TRAGEGOLFSLAAP

De diepste fase van de non-remslaap, waarin de neuronen in de hersenen een langzame ritmische activiteit vertonen (trage golven), waarvan gedacht wordt dat het belangrijk is voor de opslag van blijvende herinneringen.

Naarmate een toets op school dichterbij komt, voelt het meer en meer alsof er nog zoveel te leren valt in zo weinig tijd. Dus waarom zou je tijd verspillen in bed als je die tijd ook kan gebruiken om te leren? Laat opblijven om nog extra te leren lijkt misschien een goed idee, maar slaap is van essentieel belang voor je lichaam en hersenen. Het houdt je gezond en geeft je nieuwe energie, zodat je de volgende dag alert en actief voelt. Slaap geeft de hersenen ook de tijd om hun structuur en functie te vernieuwen, op basis van jouw individuele behoeften en ervaring. Het slapende brein is niet alleen belangrijk voor de algemene hersenontwikkeling, maar doet – gelukkig – ook belangrijk werk voor je herinneringen. Wetenschappers hebben aangetoond dat bepaalde hersenactiviteit tijdens het slapen helpt om nieuwe kennis in het geheugen op te slaan en om zich voor te bereiden op een nieuwe dag om te leren. Dit betekent dat slapen beter is dan proberen een hele nacht te studeren voor een examen. Hoewel dit tijdens je hele leven belangrijk is, is het vermogen om je hersenen te reorganiseren en te leren buitengewoon goed tijdens de kindertijd en de adolescentie, en dat geldt ook voor je slaap gedurende deze periode.

HET SLAPENDE BREIN

Het slapende brein doet niet altijd hetzelfde. Een goede nachtrust doorloopt verschillende slaapfasen, die te herkennen zijn aan spieren en oogbewegingen en aan de activiteit van kleine zenuwcellen in de hersenen (**neuronen** genaamd). Wetenschappers kunnen deze activiteit meten door kleine sensoren naast de ogen, op de kin en op het hoofd een slapend persoon te plaatsen (zie **Figuur 1**). Soms werken de neuronen heel snel en chaotisch, net zoals wanneer de hersenen wakker en druk bezig zijn. Dit is het geval tijdens de remslaap (In het Engels **rapid eye movement sleep, of REM**), een slaapfase waarin de ogen heel snel bewegen, de spieren extreem ontspannen zijn en de hersenen zeer levendige dromen beleven. De overige slaapfasen worden samen aangeduid als non-remslaap. Tijdens lichte non-remslaap zien we korte vlagen van hersenactiviteit die **slaapspoelen** worden genoemd (zie **Figuur 1**).

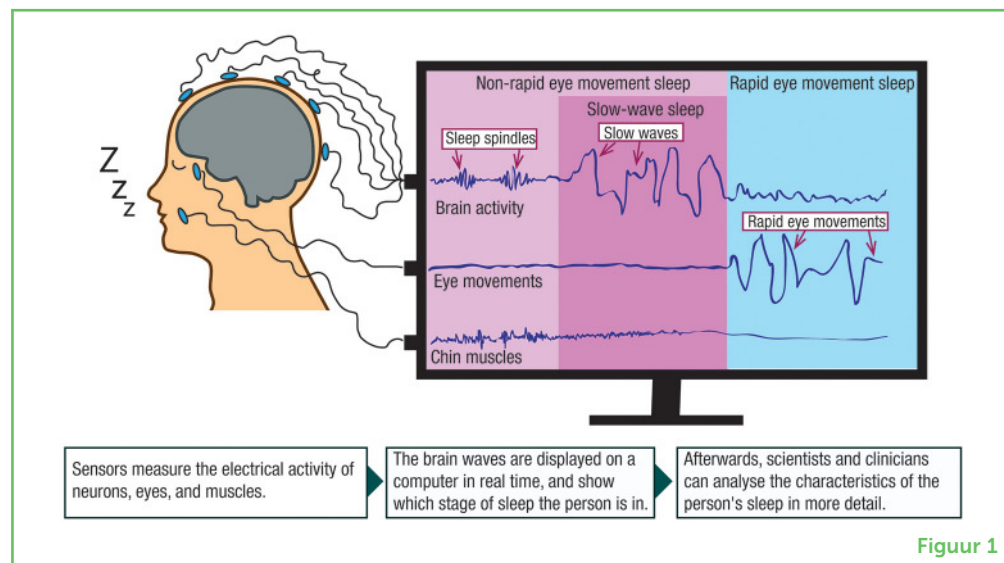
In diepe non-remslaap vertonen neuronen in de hersenen een langzame ritmische activiteit, vergelijkbaar met gigantische golven in de oceaan (**Figuur 1**), die trage golven worden genoemd. Daarom wordt diepe non-remslaap vaak **tragegolfslaap** genoemd. De diepste fase van de non-remslaap, waarin de neuronen in de hersenen langzame ritmische activiteit vertonen, is belangrijk voor het opslaan van blijvende herinneringen. Zowel slaapspoelen als trage golven zijn specialisten in het reorganiseren van de hersenen, wat betekent dat hoe meer er zijn, hoe meer de hersenen worden gevormd.

Figuur 1

Hoe we slaap meten. (Links) We meten de activiteit van neuronen, ogen en spieren met kleine sensoren. (Rechts) De activiteit wordt op een computerscherm weergegeven als kronkelende lijnen. Tijdens de lichte non-remslaap (roze gebied) detecteren we slaapspoeltjes in de hersenactiviteit. Tijdens de diepere non-remslaap - ook bekend als de trage-golfslaap - ontspannen de kinspieren (de lijn wordt vlakker) en worden de curven die de hersenactiviteit weergeven heel traag en groot (trage golven). Tijdens de remslaap (blauwe gebied) is de spieractiviteit het laagst, wordt de hersenactiviteit sneller, en beginnen de ogen snelle zigzagbewegingen te maken.

Figuur 2

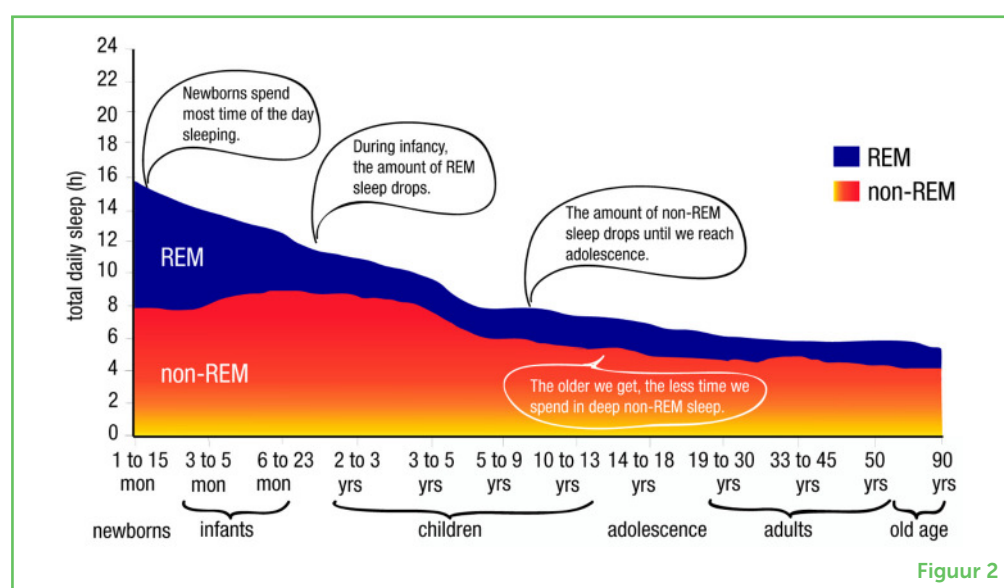
Hoe slap verandert tijdens het leven. Hoe ouder mensen worden, hoe minder tijd ze aan slaap besteden. Bovendien verandert de balans tussen REM en non-REM slaap tijdens de kindertijd, en naarmate kinderen ouder worden, wordt minder tijd besteed aan diepe non-REM slaap, de zogenaamde tragegolfslaap (Aangepast van Roffwarg et al. [1]. Overgenomen met toestemming van AAAS).



Figuur 1

RECONSTRUCTIE VAN DE HERSENEN

Als pasgeboren baby sliep je meer dan dat je wakker was. Maar hoe ouder je wordt, hoe minder je slaapt. Het is niet alleen de hoeveelheid slaap die verandert tijdens de ontwikkeling, belangrijker is dat de balans tussen de verschillende slaapfasen ook verandert. Over het algemeen krijg je naarmate je ouder wordt steeds minder tragegolfslaap, terwijl het aandeel lichte non-remslaap toeneemt (Figuur 2). Wetenschappers geloven dat deze veranderingen in de slaap ons iets vertellen over het potentieel van de hersenen om zichzelf opnieuw vorm te geven.



Figuur 2

Van de kindertijd tot in de adolescentie worden je hersenen groots gereorganiseerd en geoptimaliseerd om in je dagelijkse behoeften te voorzien en om met je ervaringen om te gaan. Nieuwe verbindingen

NEOCORTEX

De buitenste lagen van de hersenen, waarvan gedacht wordt dat ze kennis voor de langere termijn opslaan.

tussen hersencellen worden gevormd, verbindingen die je niet nodig hebt worden verwijderd en de communicatie van informatie over belangrijke neuronensporen versnelt. Opmerkelijk is dat wanneer een bepaald deel van de hersenen opnieuw gevormd wordt, de neuronen in dat gebied trage ritmische activiteit vertonen tijdens de tragegolfslaap. Wetenschappers in Zwitserland registreerden bijvoorbeeld de slaap van 40 kinderen en jongvolwassenen, en maten ook hun prestaties op bepaalde taken [2]. Ze ontdekten iets interessants, namelijk dat op elke leeftijd de trage slaapgolven het krachtigst waren in het hersengebied dat nodig was voor het aanleren van vaardigheden, en dat de trage golven in die hersengebieden zwakker werden naarmate deelnemers de vaardigheden beter onder de knie hadden. In de late kindertijd, wanneer kinderen heel goed worden in bijvoorbeeld het uitvoeren van complexe bewegingen, zoals fietsen - misschien zelfs zonder handen aan het stuur -, waren de trage golven het sterkst te zien in het hersengebied dat betrokken is bij het uitvoeren van bewegingen. De wetenschappers zagen deze optimalisatie ook terug in de hersenstructuur toen de deelnemers in de hersenscanner lagen: de buitenste laag van de hersenen, de **neocortex**, was in deze gebieden dunner, wat voortkomt uit de "nauwkeurige afstemming" van de hersenen om taken efficiënter uit te voeren. Deze verbanden tussen trage golven, vaardigheden en hersenstructuur zorgen ervoor dat wetenschappers denken dat het onderzoeken van trage ritmes tijdens de slaap ons meer kan vertellen over hoe de hersenen zich ontwikkelen.

In tegenstelling tot trage golven, die afnemen naarmate de hersenen zich ontwikkelen, nemen de spaalpoelen, die kenmerkend zijn voor lichte non-remslaap gedurende de kindertijd en adolescentie, in aantal en snelheid toe. Sommige wetenschappers denken dat het versnellen van slaalpoelen tijdens de kindertijd en adolescentie een snellere en efficiëntere communicatie tussen verschillende hersengebieden weerspiegelt. In één van onze studies ontdekten we dat kinderen die de grootste toename in het aantal poelen vertoonden over een periode van zeven jaar, beter presteerden op testen van algemene cognitieve vaardigheden tegen de tijd dat ze tussen de 14 en 18 jaar oud waren [3]. Helaas weten we nog niet precies hoe poelen de hersenontwikkeling helpen en dit is een interessant onderwerp dat wetenschappers nog steeds proberen te begrijpen.

HAAST EN SPOED IS ZELDEN GOED

Door naar slaap te kijken, kunnen we begrijpen hoe de hersenen veranderen als kinderen ouder worden en nieuwe vaardigheden leren, zoals fietsen. Slaap heeft echter nog een andere belangrijke taak. Het helpt je om nieuwe feiten langdurig op te slaan, zoals de informatie die je op school leert.

Veel experimenten hebben aangetoond dat slaap je kan helpen om de nieuwe dingen die je leert te onthouden. Sommige studies hebben zelfs laten zien dat je je geheugen door te slapen kan verbeteren, zonder extra leertijd! Onderzoekers van de Universiteit van York leerden bijvoorbeeld 's ochtends of 's avonds nieuwe woorden aan 7- tot 12-jarige kinderen [4]. Toen de onderzoekers 12 uur later het geheugen van de kinderen testten, konden degenen die 's avonds hadden geleerd en daarna waren gaan slapen meer woorden onthouden dan de kinderen die de hele dag wakker waren gebleven. Sterker nog, ze konden zich meer woorden herinneren dan voordat ze naar bed gingen. Hoe kan dat?

Wetenschappers geloven dat de hersenen twee verschillende leersystemen hebben, een snel systeem en een langzaam systeem. Deze twee leersystemen kunnen worden gezien als de langzame schildpad en de snelle haas uit het bekende verhaal. In het verhaal snelt de haas weg in zijn race tegen de schildpad. Halverwege de race is hij tevreden met zijn vooruitgang en is hij ervan overtuigd dat hij zal winnen waardoor hij besluit een dutje te doen. Daardoor kan de langzame en gestage schildpad de haas inhalen en de race winnen. Eén leersysteem in de hersenen werkt als de snelle haas: het helpt om gedurende de dag snel nieuwe informatie te leren en geeft de informatie een voorsprong in het geheugen. Het tweede leersysteem is echter veel langzamer en wijzer, zoals de schildpad, en koppelt de nieuwe informatie zorgvuldig aan dingen die we al kennen. Dit langzamere leersysteem wint op de lange termijn en helpt je om de nieuwe informatie in de toekomst te onthouden. Net als in het verhaal kan het geheugensysteem van de "schildpad" het overnemen wanneer je je hersenen laat slapen.

HIPPOCAMPUS

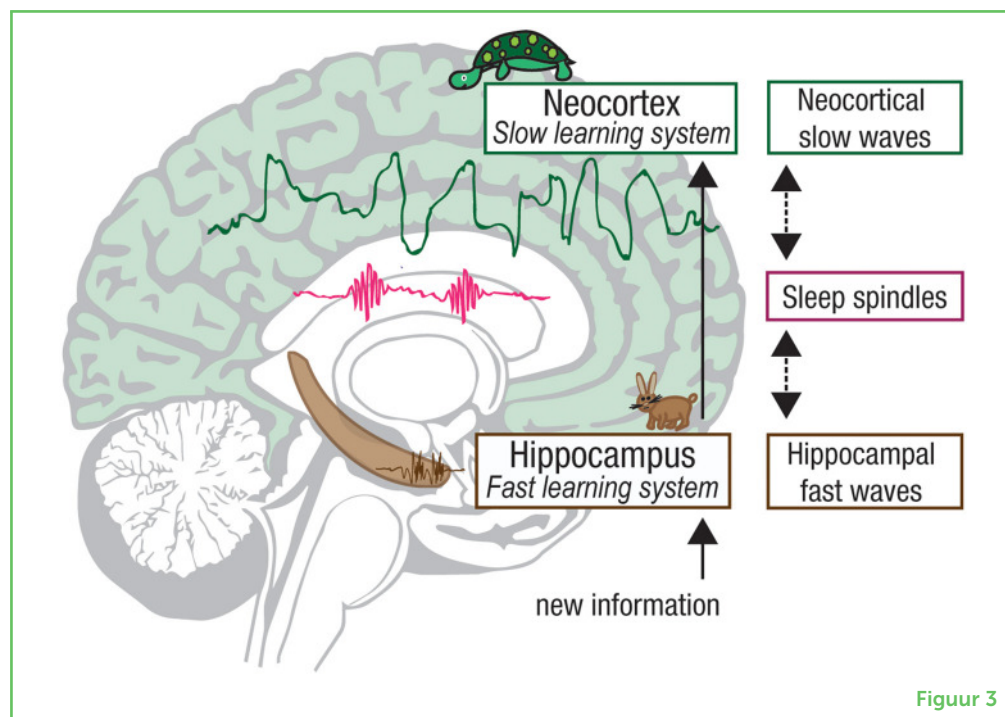
Een hersenstructuur diep in de hersenen die helpt bij het snel leren van nieuwe informatie.

Onderzoeken tonen aan dat een gebied diep in de hersenen (de **hippocampus**), een voorsprong krijgt bij het leren, net zoals de snelle haas, terwijl de buitenste laag van de hersenen (de neocortex) zich gedraagt als de langzame schildpad (zie [Figuur 3](#)). Tijdens de tragegolfslaap herhaalt de snelle hippocampus de informatie die hij gedurende de dag heeft geleerd en communiceert deze naar de langzaam lerende neocortex. Veel wetenschappers denken dat de hersenen een hele specifieke reeks van trage golven, slaapspoelen en zeer snelle golven in de hippocampus uitvoeren zodat de twee leersystemen met elkaar kunnen praten. Deze communicatie versterkt de zwakkere herinneringen voor langere tijd en verbindt ze met oudere kennis die al in de neocortex is opgeslagen [5]. Wetenschappers uit België hebben aangetoond dat dit versterkende proces van het geheugen zelfs tijdens een dutje kan plaatsvinden [6]. Ze leerden kinderen tussen de 8 en 12 jaar oud een paar "magische" toepassingen voor verzonnen objecten (bijvoorbeeld één object kon door deuren kijken, een ander object kon de regen stoppen) en testten vervolgens hun geheugen voor deze associaties terwijl ze de hersenactiviteit registreerden. Direct na het leren reageerde de hippocampus op de geleerde toepassingen. Vervolgens deed de helft van de kinderen

een dutje van 90 minuten, terwijl de andere helft wakker bleef. In een tweede geheugentest vertoonden alleen de kinderen die hadden geslapen een grotere hersenactiviteit in de neocortex wanneer ze zich de toepassingen probeerden te herinneren. Zelfs na een kort dutje kan het langzame schildpadsysteem de geheugenrace dus winnen.

Figuur 3

Hoe de tragegolfslaap helpt bij het opslaan van geheugen. De hippocampus (bruin), een kleine structuur diep in de hersenen, is het snelle leersysteem dat helpt om snel nieuwe kennis op te doen. Om ervoor te zorgen dat deze nieuwe herinneringen veilig in de hersenen worden opgeslagen, geeft de hippocampus deze tijdens de slaap door aan de traag lerende neocortex, de buitenste lagen van de hersenen (groen). Door een opeenvolging van langzame golven (groene lijn), slaapspoeltjes (roze lijn), en snelle golven (bruine lijn) praten de twee regio's met elkaar, waardoor nieuwe informatie kan versterkt en gekoppeld worden aan reeds aanwezige oudere kennis.



Figuur 3

DUS SLAAP LEKKER EN WORDT BETER WAKKER

Nu weet je dat slapen zeker geen tijdverspilling is. In tegendeel, slaap zorgt er juist voor dat je herinneringen aan feiten zo goed en langdurig mogelijk worden. Slaap is essentieel om je hersenen te laten reorganiseren terwijl je opgroeit en ervaringen opdoet in de wereld om je heen en om je te helpen alle nieuwe dingen die je leert te onthouden. Op de lange termijn presteren kinderen die meer slapen beter op school en maken ze examens beter dan kinderen die laat opblijven om extra te leren [7]. Zorg er dus voor dat je van slapen een belangrijk onderdeel van je leerplanning maakt en laat je hersenen het zware werk doen terwijl je 's nachts tot rust komt.

DANKWOORD

We willen iedereen bedanken die meegewerkt heeft met de vertaling van de artikelen in deze Collectie om ze toegankelijker te maken voor kinderen buiten Engelstalige landen, en voor de Jacobs Foundation voor het verstrekken van de benodigde fondsen voor het vertalen van de artikelen. Voor dit artikel willen we in het bijzonder Nikki Lee

bedanken voor de Nederlandse vertaling. EJ werd ondersteund door ESRC Fellowship ES/T007524/1. BM en A-KJ werden ondersteund door het project “Lifespan Rhythms of Memory and Cognition (RHYME)” van het Center for Lifespan Psychology, Max Planck Institute for Human Development, Berlijn, Duitsland. A-KJ is lid van de International Max Planck Research School on the Life Course (LIFE; <https://www.imprs-life.mpg.de/en>).

REFERENTIES

1. Roffwarg, H. P., Muzio J. N., and Dement W. C. 1966. Ontogenetic development of the human sleep-dream cycle. *Science* 152:608.
2. Hahn, M., Joechner, A.-K., Roell, J., Schabus, M., Heib, D. P., Gruber, G., et al. 2019. Developmental changes of sleep spindles and their impact on sleep-dependent memory consolidation and general cognitive abilities: a longitudinal approach. *Dev. Sci.* 22:e12706. doi: 10.1111/desc.12706
3. Henderson, L. M., Weighall, A. R., Brown, H., and Gareth Gaskell, M. 2012. Consolidation of vocabulary is associated with sleep in children. *Dev. Sci.* 15:674–87. doi: 10.1111/j.1467-7687.2012.01172.x
4. Wilhelm, I., Prehn-Kristensen, A., and Born, J. 2012. Sleep-dependent memory consolidation-what can be learnt from children? *Neurosci. Biobehav. Rev.* 36:1718–28. doi: 10.1016/j.neubiorev.2012.03.002
5. Urbain, C., De Tiège, X., De Beeck, M. O., Bourguignon, M., Wens, V., Verheulpen, D., et al. 2016. Sleep in children triggers rapid reorganization of memory-related brain processes. *Neuroimage* 134:213–22. doi: 10.1016/j.neuroimage.2016.03.055
6. Gillen-O'Neel, C., Huynh, V. W., and Fuligni, A. J. 2013. To study or to sleep? The academic costs of extra studying at the expense of sleep. *Child Dev.* 84:133–42. doi: 10.1111/j.1467-8624.2012.01834.x
7. Kurth, S., Ringli, M., LeBourgeois, M. K., Geiger, A., Buchmann, A., Jenni, O. G., et al. 2012. Mapping the electrophysiological marker of sleep depth reveals skill maturation in children and adolescents. *Neuroimage* 63:959–65. doi: 10.1016/j.neuroimage.2012.03.053

GEREDIGEERD DOOR: Nienke Van Atteveldt

WETENSCHAPPELIJKE MENTORS: Menton Deweese en Crystal Miller

CITATIE: James E, Joechner A-K en Muehlroth BE (2023) Van ZZZ's tot AAA'S: waarom slaap een belangrijk onderdeel van je leerplanning is. *Front. Young Minds.* doi: 10.3389/frym.2020.00051-nl

VERTALING EN BEWERKING VAN: James E, Joechner A-K and Muehlroth BE (2020) From Zzzs To Aaas: Why Sleep Is An Important Part Of Your Study Schedule. *Front. Young Minds* 8:51. doi: 10.3389/frym.2020.00051

BELANGENVERSTRENGELING: De auteurs verklaren dat het onderzoek is uitgevoerd zonder enige commerciële of financiële relaties die zouden kunnen worden opgevat als potentiële belangenverstrengeling.

AUTEURSRECHTEN © 2020 © 2023 James, Joechner en Muehlroth. Dit is een open-access artikel verspreid onder de voorwaarden van de [Creative Commons Attribution \(CC BY\)](#). Gebruik, verspreiding of reproductie in andere fora is toegestaan, mits de oorspronkelijke auteur(s) en de auteursrechthebbende(n) worden gecrediteerd en de oorspronkelijke publicatie in dit wetenschappelijk tijdschrift wordt geciteerd, in overeenstemming met de gangbare wetenschappelijke beoefening. Geen enkel gebruik, distributie of reproductie is toegestaan dat niet voldoet aan deze voorwaarden.

JONGE REVIEWERS

HATHAWAY BROWN SCHOOL, LEEFTIJD: 14–15

Wij zijn leerlingen van het Natuurwetenschappelijk Onderzoek & Technisch Programma aan de Hathaway Brownschool. We vinden het leuk om meer te weten te komen over het peer review-proces, om te leren hoe wetenschap aan verschillende doelgroepen gecommuniceerd kan worden en om zelf met suggesties te komen. We worden geholpen door onze wetenschapsmentor, Crystal Miller.

THE SCHOOL FOR SCIENCE AND MATH AT VANDERBILT, LEEFTIJD: 14–15

Wij zijn een klas met leerlingen uit heel Nashville, die één keer per week samenkomen bij Vanderbilt om meer te leren over natuurwetenschappen, technologie, techniek, gedrag en wiskunde. Wij voeren experimenten uit in onze klas en op de campus!

AUTEURS

EMMA JAMES

In de aanloop naar schoolexamens drong ik er bij mijn ouders vaak op aan dat ik nog niet genoeg had geleerd om vroeg naar bed te gaan. Ik geef het niet graag toe, maar mijn onderzoek heeft me geleerd dat mijn ouders gelijk hadden: ik sta verstoord van wat slaap doet voor het geheugen. Ik ben vooral geïnteresseerd in hoe slaap ons helpt om nieuwe woorden te leren en waarom dit voor sommige kinderen moeilijker is dan voor andere. Ik werk aan de Universiteit van York (VK), maar heb ook in Bristol, Oxford, Lancaster, Londen en in Amerika gewoond. In mijn vrije tijd hou ik van hardlopen, koken en piano spelen. *emma.james@york.ac.uk

ANN-KATHRIN JOECHNER

Ik hou van slapen - niet alleen omdat ik graag slaap, maar omdat ik het wonderlijk vind hoe actief de hersenen zijn terwijl we inactief lijken en geen bewuste ervaringen beleven. Al vanaf mijn studententijd aan de universiteit ben ik geïnteresseerd in hoe slaap de hersenen helpt te reorganiseren en zo helpt nieuwe herinneringen op te slaan. Sindsdien heb ik geprobeerd dat proces te begrijpen. Omdat de kindertijd een tijd is van enorme veranderingen in de hersenen en in cognitieve functies ben ik vooral geïnteresseerd in hoe slaap het geheugen tijdens de kindertijd ondersteunt en hoe de ontwikkeling van de hersenen hiermee verband houdt. *joechner@mpib-berlin.mpg.de



**BEATE E. MUEHLROTH**

Toen ik 6 jaar oud was, kon ik van mijn ouders winnen tijdens het spelen van memory. Natuurlijk wist ik toen nog niet hoe bijzonder het brein van een kind is. In mijn onderzoek wil ik erachter komen wat de hersenen doen als we leren en onthouden en hoe slaap deze taken ondersteunt. Meestal probeer ik te begrijpen of een slechte nachtrust, zoals we dat bij onze opa's en oma's zouden kunnen zien, zou kunnen verklaren waarom oudere mensen meer vergeten van de dingen die ze tijdens de dag hebben geleerd. *beatemuehlroth@gmail.com

Dutch version provided by
Nederlandse versie verzorgd door



Neem Contact Op

kids@frontiersin.org
kids.hebrew@frontiersin.org
kids.arabic@frontiersin.org
kids.chinese@frontiersin.org

Sociale media

🐦 @FrontYoungMinds
📘 @FrontiersForYoungMinds
📺 @frontiersyoungminds
#frontiersforyoungminds

