

Wetenschappelijke doorbraken de klas in!

Angst, Grafeen en Denkbeelden over het begin

Marieke Peeters, Winnie Meijer & Roald Verhoeff (redactie)

Hoofdstuk 2: Angst



Colofon

Redactie: dr. Marieke Peeters, Winnie Meijer, MSc & dr. Roald Verhoeff

Vormgeving: Elke Jacobs

Eerste druk februari 2012

ISBN: 978-90-818461-0-3

Uitgave:

Wetenschapsknooppunt Radboud Universiteit Nijmegen

Heyendaalseweg 135

Postbus 9010, 6500 GL Nijmegen

Nederland

www.wkru.nl

© 2012 Wetenschapsknooppunt Radboud Universiteit Nijmegen



Correspondentie:

Dr. Marieke Peeters

Wetenschapsknooppunt Radboud Universiteit Nijmegen

FNWI, Institute for Science, Innovation and Society - postvak 77

Postbus 9010, 6500 GL Nijmegen

(024) 366 72 22

infoWKRU@ru.nl

Wilt u een exemplaar bestellen?

Ga naar: www.wkru.nl/boek

Alle rechten voorbehouden. Niets uit deze uitgave mag worden verveelvoudigd, opgeslagen in een geautomatiseerd gegevensbestand, of openbaar gemaakt, in enige vorm of op enige wijze, hetzij elektronisch, mechanisch, door fotokopieën, opnamen of op enige andere manier, zonder voorafgaande schriftelijke toestemming van het Wetenschapsknooppunt Radboud Universiteit Nijmegen.

Aan de totstandkoming van deze uitgave is de uiterste zorg besteed. Voor informatie die desondanks onvolledig of onjuist is opgenomen, aanvaarden auteur(s), redactie en uitgever geen aansprakelijkheid. Voor eventuele verbetering van opgenomen gegevens houden zij zich aanbevolen.

Hoofdstuk 2. Angst

Dit hoofdstuk beschrijft het onderzoeksthema 'Angst' in twee delen. Paragraaf 2.1 gaat dieper in op het onderzoek naar angst dat wordt verricht op het Donders Instituut van de Radboud Universiteit Nijmegen. In paragraaf 2.2 is de vertaling gemaakt naar de klas en worden de activiteiten zoals die hebben plaatsgevonden in de klas aan de hand van de stappen van het onderzoekend leren beschreven.

“Het thema 'Angst' ligt dichtbij de belevingswereld van leerlingen waardoor zij al automatisch veel vragen over dit thema hebben; vragen die zich lenen voor een eigen onderzoek.” (pabo-student Tibor)

2.1 Onderzoek naar ‘Angst’ op het Donders Instituut

Guillén Fernández (hoogleraar Cognitive Neurology), Mark Rijpkema (senior onderzoeker) en Marlieke van Kesteren (promovenda). Allen zijn werkzaam bij het Donders Institute for Brain, Cognition and Behaviour van de Radboud Universiteit Nijmegen.

Inleiding

We zijn allemaal wel ergens bang voor, bijvoorbeeld voor enge dieren zoals spinnen of slangen, voor monsters en spoken, voor hoogtes, of wanneer we een toespraak moeten houden, of moeten slapen in het pikkedonker. Volwassenen zijn voor andere dingen bang dan kinderen (zie tabel 1). En jongens vaak weer voor andere dingen dan meisjes.

Onderstaande tabel is gebaseerd op Amerikaans onderzoek en is een voorbeeld van een ‘angst top 10’ zoals die te vinden zijn op het internet. Er zijn vele angst top 10 lijsten te vinden, die verschillen afhankelijk van hoe en met welke groep proefpersonen de onderzoeken zijn uitgevoerd. In het voorbeeld zien we bijvoorbeeld dat volwassenen een grotere angst hebben voor het houden van een toespraak, en dat de twee grootste angsten van kinderen zich richten op de ouders.

Tabel 1. Angst top 10 van kinderen en volwassenen

Kinderen	Volwassenen
1. Scheiding	1. Een toespraak houden
2. Dood van ouder	2. Hoogtes
3. In gevaar komen	3. Insecten en torren
4. Oorlog	4. Financiële problemen
5. Dokter	5. Diep water
6. Donker	6. Ziekte
7. Doodgaan	7. Dood
8. Monsters en spoken	8. Vliegen
9. Dieren	9. Eenzaamheid
10. Een toespraak houden	10. Honden

Functies van angst

Bang zijn of angst voelen heeft niet alleen negatieve kanten. Je kunt het ook zien als een teken van het lichaam dat je extra alert moet zijn, bijvoorbeeld omdat een situatie gevaarlijk is of omdat je iets extra goed moet onthouden. Een angstig gevoel komt door een natuurlijke reactie van het lichaam dat iets gevaarlijks waarneemt in de omgeving. Deze reactie zorgt ervoor dat we optimaal kunnen reageren wanneer we ons moeten verdedigen of weg moeten rennen: de ‘fight or flight’ reactie. Angst is daarom heel nuttig als er gevaar is. Als we bang zijn detecteren we sneller gevaar en kunnen we sneller reageren wanneer dat nodig is, zoals wanneer we oog in oog staan met een giftige slang.

Onderzoek naar 'Angst' op het Donders Instituut

Gevolgen van angst

Soms zijn mensen ergens zo vreselijk bang voor dat het echt een probleem wordt. Die mensen krijgen dan chronische klachten en problemen en functioneren niet meer goed. Om zulke mensen te kunnen helpen beter met hun angst om te gaan moeten we wel eerst weten wat angst precies doet in je lichaam. Het is bekend dat hersenen een heel belangrijke schakel vormen in hoe het lichaam reageert als je bang bent. We weten welke gebieden in de hersenen dan actief worden, maar hoe dat allemaal precies werkt weten we nog niet. Onderzoekers van het Donders Instituut in Nijmegen, waar ook de onderzoeksgroep van Guillén Fernández (zie kader) toe behoort, proberen het fenomeen 'angst' en de rol van de hersenen daarbij beter te leren begrijpen. Zij onderzoeken hoe het brein reageert wanneer je bang bent en wat voor uitwerking dit heeft op andere lichamelijke functies. Ook kijken ze naar het geheugen voorafgaand aan en na afloop van een enge gebeurtenis, en welke individuele verschillen er bestaan in geheugenprestaties. Hiermee proberen ze licht te werpen op de processen in ons brein die ons in staat stellen optimaal op onze omgeving te reageren, maar ook en hoe we gebeurtenissen die angst oproepen beter onthouden. Deze informatie kan belangrijk zijn om angst gerelateerde ziekten te voorkomen of beter te kunnen behandelen.

Maar welke vragen stelt een 'angstonderzoeker' zich nu? En hoe pakt hij dat onderzoek naar de relevante hersengebieden aan? Hieronder zullen we een vijftal onderzoeken toelichten op het gebied van angst en stress.

Onderzoek 1: Hoe beïnvloedt angst ons geheugen?

Angst zorgt ervoor dat we de gevaarlijke situatie beter onthouden, zodat we nog beter kunnen reageren wanneer we later nog een keer in zo'n zelfde situatie terecht komen. Daarom kun je een gebeurtenis waarbij je heel bang was vaak jaren later nog steeds goed herinneren, terwijl je 'gewone' (niet angstige) gebeurtenissen soms al weer heel snel vergeet (bijvoorbeeld wat je vorige week als ontbijt gegeten hebt). Dat we enge dingen beter onthouden, kan aangetoond worden met een eenvoudig experiment dat we vaak toepassen. Hierbij krijgen proefpersonen 20 plaatjes te zien van enge dingen zoals een vogelspin en 20 plaatjes van neutrale dingen, bijvoorbeeld een koffiekopje. De plaatjes worden één voor één en in willekeurige volgorde aangeboden aan de proefpersonen, waarna ze moeten proberen zoveel mogelijk plaatjes te onthouden. Een tijdje later worden de proefpersonen getest en kijken we hoeveel enge plaatjes ze onthouden hebben en hoeveel neutrale plaatjes. Dit doen we door een zogenaamd 'recognition experiment', waarbij

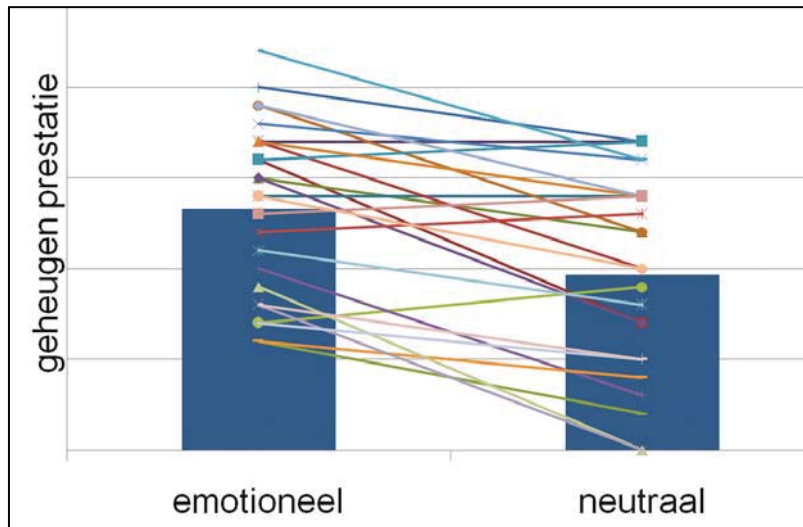
Prof. dr. Guillén Fernández



Guillén Fernández wilde als kind altijd al van alles weten hoe het werkt en hoe het in elkaar zit. Hij heeft geneeskunde gestudeerd in Duitsland en zich met name gespecialiseerd in neurologie. Omdat hij vooral veel interesse had in hoe hersenen werken, is hij een aantal jaar naar de Verenigde Staten gegaan om hersenonderzoek te doen. Momenteel werkt hij bij het Donders Instituut in Nijmegen, een wetenschappelijk centrum waar onderzoek gedaan wordt naar de werking van het brein. Hij leidt een grote groep van onderzoekers op het gebied van Geheugen en Emotie, waar ook het onderzoeksgebied 'Angst' onder valt.

Angst

de proefpersonen na bovengenoemde plaatjes in een nieuwe reeks plaatjes moeten aangeven of het een plaatje een nieuw of al eerder getoond plaatje is. De resultaten van zo'n experiment bij 25 proefpersonen is weergegeven in figuur 1.



Figuur 1. Emotionele/enge dingen worden beter onthouden dan neutrale dingen.

Aan de hoogte van de twee blauwe balken kun je zien dat de groep proefpersonen gemiddeld de emotionele ofwel de enge plaatjes beter onthouden (een hogere geheugenprestatie) dan de neutrale plaatjes. De gekleurde lijnen in de figuur geven de geheugenscores van de 25 individuele proefpersonen aan. Je kunt zien dat de meeste proefpersonen inderdaad de emotionele plaatjes beter onthouden, maar bij sommigen is bijna geen verschil te zien. Bij enkele proefpersonen is het resultaat zelfs andersom; zij hebben de neutrale plaatjes beter onthouden! Zo zie je ook meteen dat er grote individuele verschillen zijn in hoe mensen reageren op 'enge' gebeurtenissen.

Mechanismen van angst

Naast het geheugen voor enge dingen zijn we ook geïnteresseerd in de mechanismen die bepalen hoe angst werkt. Hierin zoeken we naar verschillen in angstgevoelens tussen mensen en hoe angststoornissen kunnen ontstaan, zodat we mensen die in een enge situatie terecht kunnen komen beter kunnen voorbereiden. Inzicht in individuele verschillen schept de mogelijkheid om mensen van tevoren te testen op hun gevoeligheid voor angstige situaties. Voordat je bijvoorbeeld militairen naar een oorlogsgebied zou uitzenden, is het goed om te kunnen voorspellen wie goed om kan gaan met stressvolle situaties.

Als we weten hoe angstige gevoelens ontstaan, is de volgende stap dus het achterhalen waarom sommige mensen banger zijn dan anderen. Deze kennis is belangrijk, omdat te weinig angst ervoor kan zorgen dat we onszelf in gevaarlijke situaties brengen, maar te veel angst kan ertoe leiden dat we niet meer normaal kunnen functioneren. Denk hierbij aan de vele angststoornissen of fobieën die mensen kunnen ontwikkelen. We zullen hieronder nog een paar onderzoeksvoorbeelden beschrijven die gaan over mechanismen van angst.

Onderzoek naar 'Angst' op het Donders Instituut

MRI scanner



Magnetische Resonantie Imaging (MRI) is een techniek waarmee we afbeeldingen kunnen maken van de hersenen zonder dat we daar iemands hoofd voor open hoeven maken. Je maakt als het ware een soort foto van het binnenste van het brein. Een MRI scanner is een redelijk nieuwe techniek die werkt met een heel erg sterk magneetveld en detecteert de magnetische eigenschappen van verschillende weefsels, bijvoorbeeld de verschillende

gebieden in onze hersenen. Met een anatomische MRI scan kunnen we heel precies de structuur van de hersenen zien. Met een functionele MRI scan kunnen we zien hoe het brein werkt, doordat delen van de hersenen die meer actief zijn sterker oplichten.

Angst

Onderzoek 2: Hoe reageert ons brein op angst?

Op het Donders Instituut onderzoeken we zoals gezegd hoe het komt dat mensen gevoelens van angst ontwikkelen. We doen daarvoor experimenten bij mensen waarbij we bewust een gevoel van angst oproepen, door ze bijvoorbeeld een spannende film te laten zien. Wanneer je bang bent, gaat je hart sneller kloppen en ga je een beetje zweten. Bij onze experimenten kunnen we dat met verschillende apparaten meten. Hartslag meten we uiteraard met een hartslagmeter en hoeveel iemand zweet kunnen we meten door speciale plakkertjes om de vingers te wikkelen. Daarnaast kunnen we waarnemen hoe hersenen reageren onder angstige omstandigheden door mensen in een MRI scanner (zie kader MRI scanner) te leggen terwijl ze naar diezelfde spannende film kijken. Dit is tevens het belangrijkste deel van ons onderzoek. We hebben bij deze onderzoeken bijvoorbeeld gevonden dat er specifieke delen van de hersenen zijn die reageren als de proefpersoon zich in een angstige situatie bevindt en dat de activiteit in deze gebieden gerelateerd is aan de mate van angst, de hoogte van de hartslag en de hoeveelheid van het stresshormoon cortisol in het bloed.

Onderzoek 3: Angst in de hersenen

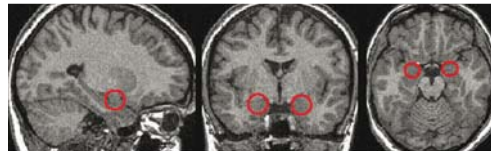
Wanneer we bang zijn blijken vooral twee kleine hersengebiedjes, de amandelkernen (of amygdala) in het midden van het brein, heel actief te zijn (zie kader Amygdala). Het blijkt dat mensen die geen amygdala meer hebben namelijk nergens meer bang voor zijn, wat tot vreemde situaties kan leiden. Door het missen van de amygdala missen deze mensen ook de snelle reactie om weg te rennen voor iets engs en onthouden ze enge informatie niet beter dan gewone informatie, zoals gewone mensen. Wanneer je angst ervaart zorgen bepaalde stoffen in je brein, zoals serotonine, ervoor dat je snel kunt reageren. Deze stoffen, die signalen tussen de zenuwcellen doorgeven, noemen we neurotransmitters. Om te kijken hoe deze neurotransmitters werken, geven we de mensen bij sommige tests een medicijn dat ervoor zorgt dat een deel van deze stoffen tijdelijk niet meer werken. Doordat we verschillende medicijnen geven op verschillende tijdstippen, kunnen we onderzoeken welke neurotransmitters wanneer belangrijk zijn bij het voelen van angst. Ook kunnen we de stoffen zelf toedienen wanneer mensen er te weinig van hebben. Zo hebben we ontdekt dat sommige neurotransmitters vooral belangrijk zijn voor het voelen van angst, terwijl

Angst

andere er juist voor zorgen dat we minder bang worden. Samen zorgen die stoffen er voor dat we eerst bang kunnen worden wanneer dat nodig is, maar dat daarna de angst ook weer kan afnemen als de bedreiging weg is.

Amygdala

De amygdala is een amandelvormige kern in de hersenen. Je hebt twee amygdalae (links en rechts), die diep in de temporaalkwab van de hersenen liggen. De temporale kwabben zijn gelegen aan beide zijanten van de hersenen, ongeveer boven de oren. De amygdalae maken deel uit van het limbisch systeem, het onderdeel van de grote hersenen, dat betrokken is bij emotie, motivatie, genot en het emotioneel geheugen. De amygdala legt verbanden tussen informatie die van verschillende zintuigen afkomstig is en koppelt deze aan emoties. De amygdala reageert vooral heel sterk op prikkels die met angst te maken hebben. Deze reactie is doorgaans heel snel en kan volledig automatisch plaatsvinden.



Anatomische MRI scan van de amygdala in de hersenen. Je ziet dezelfde hersenen vanuit drie verschillende richtingen: sagittaal (doorsnede van de zijkant bekeken), coronaal (doorsnede van voren bekeken) en axiaal (doorsnede van bovenaf bekeken). Het hersengebied in de rode cirkels is de amygdala (je hebt er twee, een links en een rechts).

Onderzoek 4: Welke genen zorgen voor angstreacties?

Zoals hierboven al is verteld, zijn sommige mensen banger dan anderen. Dit kan veroorzaakt worden doordat zij meer stoffen in het brein hebben die voor angst zorgen. De hoeveelheid van deze stoffen is voor een deel genetisch bepaald, dus door een erfelijke aanleg hiervoor. We onderzoeken daarom ook of de verschillen in genen tussen mensen ervoor zorgen dat de ene mens sneller bang is dan de ander. Door het afnemen van een geheugentest, waarbij tegelijkertijd de hersenactiviteit kan worden gemeten, hebben we ontdekt dat wanneer mensen zich in een enge situatie bevinden, onze hersenen ervoor zorgen dat we al onze aandacht richten op dingen die mogelijk een bedreiging vormen. Dit kunnen agressieve mensen zijn in de trein of een tijger in het oerwoud. Deze focus zorgt er ook voor dat we onze aandacht moeilijker vast kunnen houden bij dingen die geen directe bedreiging voor ons vormen, zoals bij rekenen of taal. Verder hebben we specifieke genen ontdekt waarin verschillen ertoe leiden dat sommige mensen meer gevoelig zijn voor angst dan anderen. Zo zorgt het gen ADRA2b ervoor dat de neurotransmitter die belangrijk is voor het doorgeven van het angstsignaal in de hersenen bij het ene individu meer invloed heeft dan bij de ander. Dit verschil zou ook kunnen verklaren waardoor sommige mensen eerder problemen met hun angsten krijgen dan anderen en zelfs angststoornissen ontwikkelen.

Onderzoek 5: Hoe gaat het brein op de lange termijn met angst om?

Sommige mensen ervaren een lange tijd heel veel angst, bijvoorbeeld als er oorlog is. Wie zoiets meemaakt, moet ook leren anders met die angst om te gaan om te voorkomen dat er een angststoornis ontwikkelt. Om te onderzoeken hoe het brein dat leert, hebben we bij een test met een MRI scanner (zie kader MRI scanner) gekeken hoe de hersenen van soldaten werken

Onderzoek naar 'Angst' op het Donders Instituut

nadat ze de oorlog in Afghanistan hebben meegemaakt. Het onderzoek met de soldaten laat zien dat wanneer je heel beangstigende situaties meemaakt, je hersenen gevoeliger worden voor bedreigende gebeurtenissen (zie persbericht 'Hersenen militairen veranderen door dreiging'). In de scanner is dit zichtbaar doordat specifieke hersengebieden sneller actief worden en 'oplichten'. Deze reactie zou ertoe kunnen leiden dat je bij een volgende vergelijkbare situatie sneller bang wordt en dus ook sneller op de bedreiging kunt reageren. Bij een dergelijke reactie zijn ook de verschillen tussen individuen duidelijk zichtbaar. Met dit soort onderzoek kunnen we in de toekomst wellicht voorspellen of een bepaalde soldaat een angststoornis zal gaan ontwikkelen nadat hij of zij in een oorlogsgebied is geweest. Om dit te voorkomen kan de soldaat dan op tijd therapie worden aangeboden.

Hersenen militairen veranderen door dreiging ⁽¹⁾

Datum bericht: 15 juni 2011

Oorlogsdreiging laat z'n sporen na in hersenen. Dat blijkt uit onderzoek van de Radboud Universiteit onder militairen die deelnamen aan de missie in Uruzgan. Hersengebieden die betrokken zijn bij waakzaamheid en het hanteren van emoties gedragen zich na de missie anders dan ervoor.

Hersenonderzoekers van het Donders Institute for Brain, Cognition and Behaviour van de Radboud Universiteit onderzochten 36 militairen die tussen 2008 en 2010 dienden in Uruzgan. Voor en na deelname aan de missie werd hun hersenactiviteit gemeten en vergeleken met een even grote controlegroep die thuis bleef.

Waakzaamheid

'We kunnen door onze onderzoeksopzet nu voor het eerst concluderen dat de effecten op het brein daadwerkelijk zijn toe te schrijven aan de oorlogservaringen', vertelt onderzoeker Guido van Wingen. 'De militairen van de Afghanistanmissie hebben hun hersenen tweemaal laten scannen. Ook vulden zij vragenlijsten in over hun oorlogservaringen. Posttraumatische stress-stoornissen ontwikkelden deze militairen niet. Wel veranderden neurale circuits in het brein die waakzaamheid regelen en ook betrokken zijn bij de emotieregulatie. Deze verandering bleef ten minste twee maanden bestaan nadat de militairen weer thuis waren.'

Ervaringen

Activiteit in de angst- en waakzaamheidscentra van de hersenen neemt toe bij alle uitgezonden militairen. De verandering in het emotieregulatiecentrum in de frontaalkwab is sterk afhankelijk van hoe ze bedreigende gebeurtenissen hebben ervaren. De onderzoekers werken aan een vervolgstudie om te zien hoe lang de veranderingen in de hoofden van militairen aanhouden en of degenen die veel stress ervoeren ook een hoger risico hebben om posttraumatische stressklachten te ontwikkelen. /Anja van Kessel

Angst

Conclusies

De diverse onderzoeken op het Donders Instituut hebben laten zien dat de hersengebieden die voor angst zorgen, zowel beïnvloed worden door ervaringen als door bepaalde genen. Daarnaast blijkt uit onderzoeken hoe we angst met geneesmiddelen kunnen beïnvloeden en daarmee de prestatie van het geheugen kunnen verbeteren. Deze kennis is bijzonder belangrijk voor de ontwikkeling van nieuwe behandelingen van patiënten met een angststoornis. Voor mensen die bang zijn om te vliegen of niet met andere mensen durven te praten, kunnen nieuwe therapieën helpen om van deze angsten af te komen.

Daarnaast kan deze kennis ook worden gebruikt voor het screenen van mensen die net een traumatische ervaring hebben meegemaakt, om aan de hand van die informatie een inschatting te maken of een behandeling nodig is om te voorkomen dat iemand angststoornissen ontwikkelt. Een andere mogelijke toepassing is de screening van sollicitanten tijdens de selectieprocedure voor beroepen die gepaard gaan met het ervaren van gevaarlijke situaties, denk hierbij aan de politie en het leger. Voordat deze toepassingen daadwerkelijk gebruikt kunnen worden, is veel meer onderzoek noodzakelijk naar de hersenprocessen die met angst te maken hebben. Want... er is nog een heleboel te ontdekken!

Verwijzing

- ⁽¹⁾ Persbericht van de Radboud Universiteit Nijmegen van 15 juni 2011.
<http://www.ru.nl/@814900/hersenen-militairen/> (10-10-2011)

Wetenschapsknooppunt Radboud Universiteit Nijmegen

Dit boek is een uitgave van het Wetenschapsknooppunt Radboud Universiteit Nijmegen (WKRU). Het WKRU is een regionaal samenwerkingsverband tussen de Radboud Universiteit Nijmegen, het Nijmegen Centre for Molecular Life Sciences (NCMLS) van het UMC St Radboud, CSG Centre for Society and the Life Sciences, het Expertisecentrum Nederlands (EN), het Kenniscentrum Wetenschap en Techniek Gelderland (KWTG) van de Hogeschool van Arnhem en Nijmegen (HAN) en het basisonderwijs.

Missie

Het WKRU heeft tot doel de relatie tussen de Radboud Universiteit Nijmegen en het (basis)-onderwijs te versterken. Hiermee wil het WKRU de houding van (aankomende) leraren en leerlingen ten opzichte van wetenschap en techniek positief beïnvloeden. Dit wil het WKRU realiseren door excellente wetenschappers, jonge onderzoekers, pabo-studenten en leerlingen samen te brengen rondom maatschappelijk relevante en excellente wetenschappelijke resultaten van de Radboud Universiteit en deze resultaten te vertalen naar activiteiten voor het basisonderwijs. Centraal staat het bevorderen van de onderzoekende houding van leerlingen en (aankomende) leraren.

Organisatie

De organisatie van het Wetenschapsknooppunt waar het programma en het beleid uitgestippeld wordt bestaat uit drie medewerkers en een stuurgroep. In de stuurgroep zijn er verschillende partijen vertegenwoordigd die samenwerken binnen het wetenschapsknooppunt.

Het WKRU bestaat uit de volgende medewerkers:

- Dr. Marieke Peeters, projectleider
- Winnie Meijer MSc, projectmedewerker
- Elke Jacobs, communicatiemedewerker

De stuurgroep van het WKRU bestaat uit:

- Prof. dr. Carl Figdor, initiator WKRU en hoogleraar Immunologie in het NCMLS van het UMC St Radboud.
- Prof. dr. Ludo Verhoeven, hoogleraar Orthopedagogiek aan de Radboud Universiteit Nijmegen en wetenschappelijk directeur van het EN.
- Drs. Betty van Waesberghe, voorzitter van de instituutdirectie van de HAN Pabo's (Pabo Groenewoud Nijmegen en Pabo Arnhem).
- Dr. Roald Verhoeff, universitair docent Wetenschapscommunicatie bij het Institute for Science, Innovation, and Society (ISIS) van de Radboud Universiteit Nijmegen.

Foto- en illustratieverantwoording

Aleksandr Kurganov/ 123RF:	p. 60 (vlinder)
AlexanderALUS:	p. 62 (grafeen als kippengaas) bron: http://en.wikipedia.org/wiki/File:Graphen.jpg
Annalisa Fasolino:	p. 45
Denis Tabler/ 123RF:	p.129 (lief lieveheersbeestje)
Dick van Aalst:	p. 15, 46, 90
Elke Jacobs:	illustratie omslag, tip-symbool, DVD-symbool en gedichtenkader
Erik van 't Hullenaar:	p. 17
Gerdien Jansen:	p. 129 (bovenste twee)
Gerard Verschooten:	p. 90
I.A. Folkertsma:	p. 129 (lieveheersbeestjesplaag)
Iakov Filimonov/ 123RF:	p. 61
Irina Tischenko/ 123RF:	p. 50
Jelena Zaric/ 123RF:	p. 48
Luisa Venturoli/ 123RF:	p 49 (potloden)
Oleg Korobchanu/ 123RF:	p.123 (knuffelbeer)
Piet Musterd:	p. 60 (voorbeeld translatiesymmetrie)
Ruslan Olinchuk / 123RF:	p.123 (grizzly beer)
Sergii Popov/ 123RF:	p. 49 (diamant)
Wetenschapsknooppunt Radboud Universiteit Nijmegen:	p. 6, 7, 12, 24, 25, 27, 30, 31, 33, 35, 37, 38, 44, 56, 58, 59, 60, 62, 63, 64, 72, 73, 76, 78, 82, 88, 104, 106, 108, 110, 111, 113, 114, 115, 124, 127, 128, 132, 133
Winnie Meijer:	p. 49*, p. 47 & 66**, 67

Bronvermelding:

p. 57:	http://nl.wikipedia.org/wiki/Bestand:Sodium_chloride_crystal.png
p. 60: (voorbeeld draaisymmetrie):	http://en.wikipedia.org/wiki/File:The_armoured_triskelion_on_the_flag_of_the_Isle_of_Man.svg
p. 62: (grafeen als kippengaas):	http://en.wikipedia.org/wiki/File:Graphen.jpg
p. 62: (opbouw van een kristal):	http://en.wikipedia.org/wiki/File:Sodium-chloride-3D-ionic.png
p. 49 : (grafiet):	http://nl.wikipedia.org/wiki/Bestand:GraphiteUSGOV.jpg
*Bewerking van: Eight Allotropes_of_Carbon.png	Bron: http://nl.wikipedia.org/wiki/Bestand:Eight_Allotropes_of_Carbon.png , Origineel gecreëerd door Michael Ströck (mstroeck)
**Bewerking van foto's machten van tien. Bron van de foto's:	http://www.e-klassen.nl/access/content/group/e-klas-project/gepubliceerd/nlt/Meten%20aan%20melkwegstelsels/html%20Jorn/html/machten_van_10.htm
Materiaal horende bij de module "Meten aan melkwegstelsels".	Auteur: Stichting Leerplan Ontwikkeling. Bron: http://www.e-klassen.nl/portal/site/3b094573-ffa1-41a2-b9b5-f051161b01ee/page/e09f6195-4603-4060-9364-0c290aa5c9ea

Met betrekking tot enkel illustratiemateriaal is het de uitgever ondanks zorgvuldige inspanningen daartoe, niet gelukt eventuele rechthebbende(n) te achterhalen. Mocht u van mening zijn (auteurs)rechten te kunnen doen gelden op illustratiemateriaal in deze uitgave dan verzoeken wij u om contact op te nemen met de uitgever.