

Wetenschappelijke doorbraken de klas in!

Levende cellen, Gedachte-experimenten en Menselijke machines

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

Hoofdstuk 3: Gedachte-experimenten



Colofon

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

Opmaak: Jimmy Israël MSc

Druk en afwerking: Tuijtel, Hardinxveld-Giessendam

Coverfoto's: Jimmy Israël MSc, © WKRU

Eerste druk, januari 2021

ISBN: 978-90-830422-2-0

NUR-code: 190

Wilt u een exemplaar bestellen?

Ga naar: www.wkru.nl/boek

Uitgave:

Wetenschapsknooppunt Radboud Universiteit

FNWI, postvak 77

Postbus 9010

6500 GL Nijmegen

Nederland

E-mail: infowkru@ru.nl

Telefoon: 024 366 72 22

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



2021 Wetenschapsknooppunt Radboud Universiteit

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

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

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

Hoofdstuk 3 Gedachte-experimenten

In dit hoofdstuk beschrijven we een project onderzoekend leren met als thema ‘Gedachte-experimenten’. Het thema is gebaseerd op het onderzoek van prof. dr. Carla Rita Palmerino en haar team naar de gedachte-experimenten van de beroemde 17e-eeuwse wetenschapper Galileo Galilei. Het hoofdstuk bestaat uit twee delen. In paragraaf 3.1 leggen de onderzoekers uit hoe gedachte-experimenten verschillen van andere experimenten en ze bekijken of een gedachte-experiment nieuwe kennis kan opleveren. Daarnaast beschrijven ze welke functies Galilei’s gedachte-experimenten vervullen en wat hun waarde is voor de moderne wetenschap. Leraren kunnen deze paragraaf gebruiken om zichzelf en hun leerlingen inhoudelijk voor te bereiden op het thema. In paragraaf 3.2 beschrijven we diverse activiteiten waardoor leerlingen dit thema in de klas kunnen ervaren en inspiratie kunnen opdoen voor hun eigen onderzoek. Deze activiteiten zijn onderdeel van stap 1 en 2 (‘introductie’ en ‘verkennen’) van het onderzoekend leren. We raden leraren aan om de ‘Leidraad onderzoekend leren’ (Van Baren-Nawrocka & Dekker, 2019)  als uitgangspunt te nemen bij de uitvoering van dit project in de klas. Hierin staat een uitgebreide beschrijving van de zeven stappen van onderzoekend leren.

Kerdoelen voor dit thema

Modelling onderwijs

1. De leerlingen leren informatie te verwerven uit gesproken taal. Ze leren tevens die informatie, modeling of schriftelijk, gestructureerd weer te geven.
2. De leerlingen leren zich naar vorm en inhoud uit te drukken bij het geven en vragen van informatie, het uitbrengen van verslag, het geven van uitleg, het instrueren en bij het discussiëren.
3. De leerlingen leren informatie te beoordelen in discussies en in een gesprek dat informatief of opiniërend van karakter is en leren met argumenten te reageren.

Radboud Science Team ‘Gedachte-experimenten’

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

Onderzoekers Radboud Universiteit

Prof. dr. Carla Rita Palmerino (hoogleraar Geschiedenis van de Filosofie), Ariën Voogt (student) en Simon Jacobs (student). Carla Rita Palmerino is werkzaam bij het onderzoeksinstituut Center for the History of Philosophy and Science binnen de Faculteit der Filosofie, Theologie en Religiewetenschappen. Ariën Voogt en Simon Jacobs zijn beiden studenten van de onderzoeksmaster Filosofie aan deze faculteit.

School

Basisschool de Gazelle in Arnhem: Bart Lemans, Mathijs Zwanenburg, Paulien van Tongeren (leraren) en Esther van Dalen (schoolopleider).

WKRU

Miriam de Boer en Hanne Kause (projectleiders).



Prof. dr. Carla Rita Palmerino

“Als ik natuurkunde in plaats van filosofie had gestudeerd, zou ik nu waarschijnlijk nog in Italië wonen. Op het gymnasium vond ik de alfa- en de bètavakken even leuk en na veel aarzeling besloot ik filosofie te gaan studeren aan de universiteit van Rome. Als eerstejaars studente las ik een boek van de Nederlandse wiskundige en historicus Eduard Jan Dijksterhuis dat mijn interesse voor de wetenschapsgeschiedenis opwekte. Van Dijksterhuis leerde ik hoe, in de zeventiende eeuw, denkers zoals Galilei, Huygens en Newton door middel van experimenten en wiskundige redeneringen tot nieuwe ontdekkingen en inzichten kwamen. Maar hoe werden wetenschappelijke doorbraken in de vroegmoderne tijd bekend gemaakt? En hoe lang duurde het voordat nieuwe inzichten algemeen geaccepteerd werden? Deze vraag stond centraal in mijn promotieonderzoek aan de universiteit van Florence. Ik bestudeerde hoe halverwege de zeventiende eeuw wetenschappers uit verschillende landen met elkaar in debat gingen over de validiteit van Galilei's mechanica. De centrale figuur in mijn onderzoek was de Fransman Pierre Gassendi (1592-1655), die voor het eerst Galilei's gedachte-experiment van de bal die vanuit de mast van een varend schip valt, in het echt uitvoerde. Meteen na mijn promotie kreeg ik een aanstelling als postdoc onderzoeker aan de Radboud Universiteit Nijmegen waar ik, ruim 20 jaar later, nog met veel plezier werk, intussen als hoogleraar. Ik geef onderwijs, doe onderzoek naar de vroegmoderne natuurfilosofie, en ben directeur van het Center for the History of Philosophy and Science, een internationaal gerenommeerde onderzoeksgroep die de filosofie in haar historische relatie met de geschiedenis van de wetenschap bestudeert.” (Foto: Jimmy Israël)

3.1 Onderzoek naar het nut en de functie van gedachte-experimenten

Prof. dr. Carla Rita Palmerino, Simon Jacobs MSc en Ariën Voogt MA

Wat als?

We gebruiken iedere dag 'wat als'-scenario's. Dit doen we, bijvoorbeeld, om de mogelijke gevolgen van onze acties in te schatten: Wat zou er gebeuren als ik nu de straat oversteek? Wat als ik mijn huiswerk voor morgen niet maak? Soms reizen we met onze fantasie op en neer in de tijd en proberen we ons voor te stellen hoe het heden had kunnen zijn als het verleden anders was geweest: Wat als ik wiskunde had gestudeerd in plaats van filosofie? Wat als ik die trein niet had gemist? Volgens evolutionaire psychologen is dit soort 'mental time travelling' een uniek menselijk vermogen. Met dit begrip wordt niet alleen de capaciteit om vooruit en achteruit te denken bedoeld, maar ook het vermogen om alternatieve, of 'tegenfeitelijke' scenario's, die niet overeenkomen met de feiten, voor te stellen. Soms krijgen 'wat als'-scenario's ook een historische invulling en dan is er sprake van 'alternatieve geschiedenis'. Wat als Columbus Amerika niet had ontdekt? Wat als Hitler de Tweede Wereldoorlog had gewonnen? Wat als John F. Kennedy niet was vermoord? Dit soort vragen wordt regelmatig in boeken en tijdschriften behandeld, en de *Alternate History Hub* op YouTube telt meer dan 1,8 miljoen abonnees.

Alternatieve geschiedenis is een vorm van speculatieve fictie en kan dus niet als wetenschap worden beschouwd. Er is immers geen manier om te toetsen of onze antwoorden op de 'wat als'-vragen kloppen. Het enige dat we kunnen weten is dat als het verleden anders was geweest, de wereld er nu anders uit had gezien. Het fantaseren over 'wat als' lijkt zo niet meer te zijn dan een leuk gedachtespelletje. Toch maken wetenschappers ook gebruik van 'wat als'-scenario's. Ze formuleren hypothesen, ze maken voorspellingen, en ze bedenken experimenten. Voordat ze die experimenten uitvoeren, hebben wetenschappers vaak al verwachtingen over wat er zou kunnen gebeuren. En het gaat nog verder. Want in sommige gevallen beperken wetenschappers zich tot het bedenken van experimenten, zonder ze uit te voeren. In dit geval spreekt men van 'gedachte-experimenten'.

Wat is een gedachte-experiment?

Stel dat we op een varende boot staan, en vanaf de mast van de boot een kanonskogel naar beneden laten vallen. Waar zal deze kogel landen? Aan de voet van de mast? Of een stuk achter de mast, omdat de boot inmiddels verder is gevaren? De beroemde wetenschapper Galileo Galilei (1564-1642) beredeneerde dat de kogel aan de voet van de mast zou moeten vallen, ongeacht of het schip stil staat of met een constante snelheid vaart. Galilei presenteerde dit als een gedachte-experiment. Het duurde tien jaar voordat een andere wetenschapper, de Fransman Pierre Gassendi (1592-1655) het experiment daadwerkelijk uitvoerde en Galilei's voorspelling bevestigde.

De meeste gedachte-experimenten zijn echter praktisch, of zelfs principieel, onuitvoerbaar. Als zestienjarige jongen vroeg Einstein zich bijvoorbeeld af wat hij zou zien als hij met een lichtstraal mee zou reizen. Dat zullen we nooit kunnen testen. Een ander voorbeeld van een onmogelijk scenario, dat in de loop der eeuwen door veel wetenschappers, waaronder Galilei, werd besproken, is het volgende. Stel dat we een tunnel dwars door het centrum van de aarde zouden graven, en een kanonskogel erin zouden laten vallen. Wat zou er met de kogel gebeuren? Zou deze in het middelpunt van de aarde tot stilstand komen of zou hij heen en weer blijven bewegen? Het is praktisch onmogelijk om dit te testen.

Onder wetenschappers is er geen geaccepteerde definitie van wat precies een gedachte-experiment is. Maar, om gedachte-experimenten te onderscheiden van andere 'wat als'-scenario's, literaire fictie, of juist van 'echte' experimenten, kunnen we grofweg de volgende criteria gebruiken. Ten eerste is een gedachte-experiment altijd 'tegenfeitelijk'. Dit betekent dat het geen werkelijke, maar een hypothetische situatie beschrijft. Het verschilt hierin ook van een reëel experiment: Het doel is niet om het in de werkelijkheid uit te voeren, maar om het als een hypothetische situatie te bespreken. Zoals we net hebben gezien, kan de mate waarin een gedachte-experiment afwijkt van de realiteit erg verschillen. Sommige gedachte-experimenten, zoals die van de kanonskogel op de boot van Galilei, kunnen prima in werkelijkheid worden uitgevoerd. Andere, meer exotische gedachte-experimenten zijn sterk tegenfeitelijk omdat ze dingen aannemen die in werkelijkheid niet mogelijk zijn: bijvoorbeeld dat de aarde opeens zou stoppen met draaien, of dat iemand met de snelheid van het licht reist.

Verder is een gedachte-experiment altijd een concreet scenario. We kunnen het ons inbeelden als een alternatieve, maar wel levendige realiteit. Het gaat bijvoorbeeld over een varend schip, of een persoon in een bepaalde situatie. Het verschilt daarin van wiskunde, waarin men ook redeneert op basis van denkbeeldige, maar dan erg abstracte zaken, zoals driehoeken of formules.

Een ander belangrijk criterium is dat een gedachte-experiment een welomschreven kennisdoel heeft. Het is opgezet om een specifiek theoretisch probleem te verkennen of op te lossen. Daarin verschilt een gedachte-experiment van andere soorten verhalen, met name literaire fictie. Bij een gedachte-experiment wordt onze fantasie ingezet, niet voor vermaak, om onze empathie met een personage te vergroten, of om de alternatieve wereld zelf te verkennen, maar om een duidelijke vraag, die relevant is voor onze eigen wereld, te kunnen beantwoorden. Maar, als sommige gedachte-experimenten nooit in het echt kunnen worden uitgevoerd, hoe kunnen we dan ooit weten wat de uitkomst van het experiment is?

Kan een gedachte-experiment nieuwe kennis opleveren?

Het uitvoeren van een experiment kan ons iets leren dat we voorheen nog niet wisten. Als we bijvoorbeeld willen weten hoe planten groeien in de ruimte, kunnen we astronauten vragen een aantal planten mee te nemen naar het International Space Station en deze te observeren. Dit levert nieuwe kennis op. Een interessante vraag in de wetenschapsfilosofie, de tak van de filosofie die onderzoekt hoe de wetenschap te werk gaat, is of ook een gedachte-experiment ons nieuwe kennis op kan leveren. Sommige filosofen denken van wel. Het is echter moeilijk uit te leggen waar deze kennis dan vandaan komt. Als deze kennis uit onze gedachten zelf voortkomt, zouden we dan niet moeten zeggen dat we de kennis eigenlijk al hadden, voordat we het gedachte-experiment uitvoerden? Dit raadsel staat in de filosofie bekend als 'Kuhns paradox', naar de bekende wetenschapsfilosoof Thomas Kuhn (zie Achtergrondinformatie 'Kuhns paradox'). Als het in de wetenschapsfilosofie over gedachte-experimenten gaat, dan gaat het bijna altijd over Kuhns paradox. Maar zoals we zullen zien, kunnen we ook op hele andere manieren nadenken over gedachte-experimenten. Het onderzoek van Carla Rita Palmerino naar het werk van Galileo Galilei is daarin baanbrekend geweest.

Gedachte-experimenten in de dialogen van Galilei

De bekendste werken van Galilei zijn geschreven in een literaire vorm die we tegenwoordig zelden in de wetenschap tegenkomen. Het zijn dialogen, waarbij drie personages met elkaar in gesprek gaan over verschillende wetenschappelijke problemen. Eén personage lijkt hierbij Galilei zelf voor

te stellen, één personage vertegenwoordigt de 'oude' wetenschappelijke traditie, en het derde personage treedt vooral als scheidsrechter op. In de loop van de dialogen gebruiken de personages verschillende gedachte-experimenten om de wetenschappelijke problemen van de tijd te bespreken.

Filosofen en geschiedkundigen hebben zich bij het interpreteren van Galilei's dialogen vooral gericht op één type gedachte-experiment: een gedachte-experiment waarbij het een personage lukt de andere personages te overtuigen van zijn gelijk. Een specifiek gedachte-experiment staat hierbij centraal, vanwege de overtuigingskracht. In de tijd van Galilei dachten natuurwetenschappers dat de snelheid waarmee objecten vallen afhankelijk is van hun gewicht. Hoe zwaarder een object, hoe sneller het valt. Galilei was echter van mening dat, als je de luchtweerstand buiten beschouwing laat, alle objecten met dezelfde snelheid zouden vallen, ongeacht hun gewicht. Om dit te bewijzen, bedacht Galilei het volgende gedachte-experiment. Stel dat we een lichte en een zware bal van een toren laten vallen. Als de valsnelheid van het gewicht zou afhangen, dan zou de zware bal sneller moeten vallen dan de lichte bal. Maar wat nu als we deze twee ballen aan elkaar zouden verbinden met een draad? Galilei laat zien dat de heersende theorie tot een paradox leidt. Je zou immers aan de ene kant kunnen beweren dat de lichte bal de zware bal vertraagt, waardoor de twee ballen samen minder snel vallen dan de zware bal alleen. Aan de andere kant zou je echter kunnen concluderen dat de twee vastgebonden ballen samen sneller vallen dan de zware bal alleen, omdat hun gezamenlijk gewicht groter is. De enige manier om de paradox op te heffen, is om aan te nemen dat alle lichamen even snel vallen, ongeacht hun gewicht. Met dit gedachte-experiment weet Salviati – het personage dat Galilei voorstelt in de dialogen – de heersende theorie te weerleggen en een nieuwe theorie voor te stellen. Veel wetenschapsfilosofen beschouwen dit als het perfecte voorbeeld van een succesvol gedachte-experiment, omdat het nieuwe kennis oplevert.

De functie van Galilei's gedachte-experimenten

We vinden in de dialogen van Galilei nog veel meer gedachte-experimenten. Sommige daarvan hebben weinig aandacht in de literatuur gekregen omdat ze op het eerste gezicht minder 'succesvol' zijn. Bij veel van deze gedachte-experimenten lukt het de personages namelijk niet om elkaar van het eigen gelijk te overtuigen. Maar wat is dan de functie van deze gedachte-experimenten? Waarom worden ze door Galilei gebruikt? Deze vragen staan centraal in het onderzoek van Carla Rita Palmerino. Haar doel is tweeledig. Ten eerste wil ze laten zien dat Galilei's gedachte-experimenten veelzijdige instrumenten zijn die voor verschillende doeleinden worden ingezet. Ze worden niet alleen gebruikt om theorieën te bevestigen en te ontkennen, maar ook om problemen inzichtelijk te maken, concepten toe te lichten en paradoxen bloot te leggen. Ten tweede wil ze een brug slaan tussen wetenschapsgeschiedenis en wetenschapsfilosofie, door aan te tonen dat hedendaagse wetenschapsfilosofen iets kunnen leren van Galilei's visie over de rol die gedachte-experimenten spelen in wetenschappelijke theorievorming.

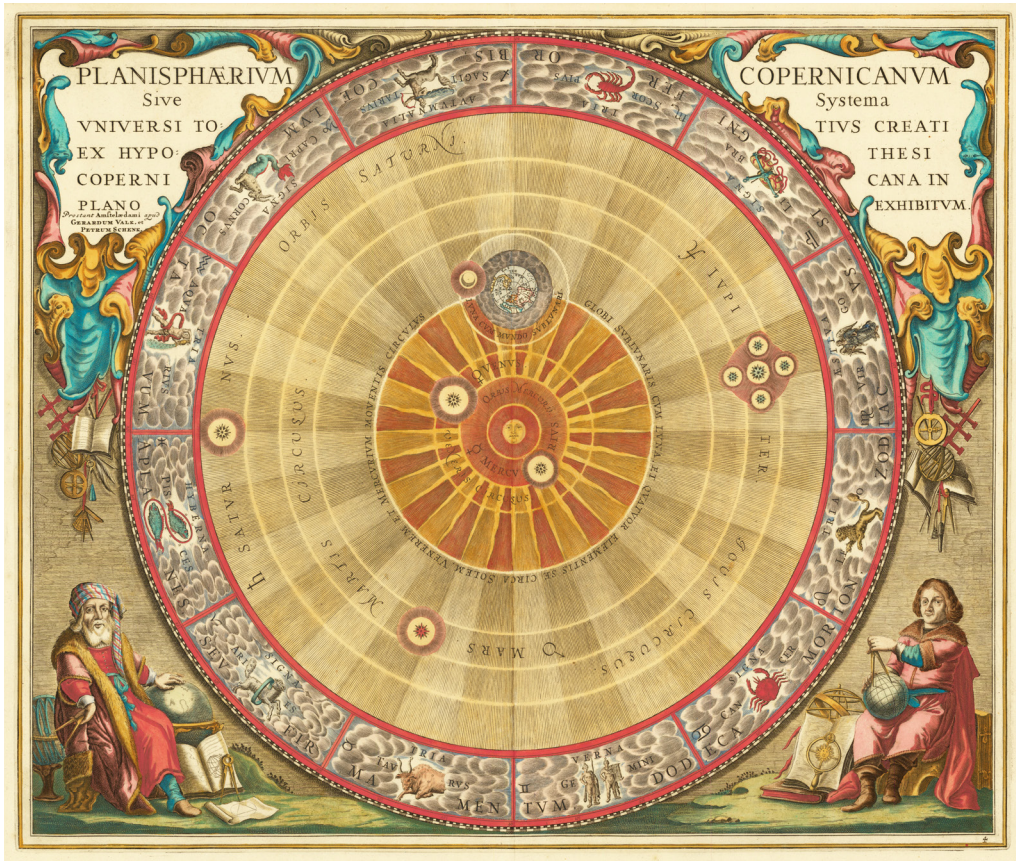
We hebben hierboven een gedachte-experiment genoemd waarbij men een kogel van de mast van een varend schip laat vallen. Dit scenario wordt besproken in een dialoog waarin het conflict tussen een geocentrisch en een heliocentrisch wereldbeeld centraal staat. Het geocentrisch wereldbeeld gaat ervan uit dat de aarde stilstaat in het middelpunt van het universum, en de andere hemellichamen om haar heen draaien, terwijl de heliocentrische theorie de zon in het middelpunt van het universum plaatst en de aarde, samen met de maan, tussen de planeten (zie Achtergrondinformatie 'Galilei's werk: De twee voornaamste wereldbeelden'). Een van de vragen die in de dialoog worden



Het geocentrische wereldbeeld (Afbeelding: Andreas Cellarius)

besproken, is of de aarde om de eigen as zou kunnen draaien zonder dat wij dat doorhebben. Veel geschiedkundigen denken dat Galilei dit experiment waarschijnlijk in het echt heeft uitgevoerd voordat hij zijn boek schreef. In de dialoog gebeurt echter iets interessants. De personages zijn het erover eens dat dit gedachte-experiment relevant is voor het beantwoorden van de vraag in kwestie: zoals het de kogel op de boot vergaat, zo vergaat het objecten ook op een draaiende aarde. Salviati, het personage dat de heliocentrische theorie omarmt, en Simplicio, die het geocentrische systeem verdedigt, geven echter allebei toe dat ze het experiment nooit hebben uitgevoerd, en worden het uiteindelijk ook niet eens over de waarschijnlijke uitkomst van het experiment. Salviati is ervan overtuigd dat de kogel aan de voet van de mast terecht zal komen, terwijl Simplicio denkt dat hij achter zal blijven.

Dit is niet het enige gedachte-experiment waarover Salviati en Simplicio het niet eens kunnen worden. Dit gebeurt ook in het geval van het scenario van de bal die in de tunnel door het centrum van de aarde valt. Salviati denkt dat de bal eeuwig heen en weer zou blijven bewegen, terwijl Simplicio gelooft dat hij na een aantal keer heen en weer bewegen in het centrum van de aarde tot rust zou komen. We kunnen ons afvragen waarom Galilei de dialoog op deze manier heeft geschreven, zeker als we bedenken dat hij, in het geval van het varende schip, het experiment waarschijnlijk in het echt had uitgevoerd. Waarom vertelt hij niet wat de uitkomst was van het echte experiment? Heeft een echt experiment niet meer overtuigingskracht dan een gedachte-experiment? En waarom zijn



Het heliocentrische wereldbeeld (Afbeelding: Andreas Cellarius)

de personages van Galilei's dialogen het zo vaak met elkaar oneens over wat er in een denkbeeldig scenario zou kunnen gebeuren?

In haar onderzoek laat Caria Rita Palmerino zien dat de 'wat als'-scenario's in het werk van Galilei meerdere functies hebben. Sommige gedachte-experimenten, zoals dat van de twee vallende objecten, worden als bewijsmiddelen ingezet. Ze zijn bedoeld om de lezer te overtuigen dat de heersende wetenschappelijke theorieën niet kunnen kloppen. De meeste gedachte-experimenten vervullen echter een andere rol. Ze fungeren vooral als pedagogische en kritische instrumenten. Door zijn personages tegenstrijdige antwoorden te laten geven op de 'wat-als'-vraag, laat Galilei duidelijk zien dat de twee wereldbeelden op verschillende aannames berusten. Deze gedachte-experimenten zijn dus niet bedoeld om een theorie te bewijzen. In dit geval werken ze als een soort vergrootglazen om de verschillen tussen rivaliserende theorieën bloot te leggen, en om bestaande conflicten te verhelderen. Bovendien hebben deze gedachte-experimenten als doel om de lezers aan het denken te zetten en om hen aan te sporen om hun eigen mening te vormen. Galilei hoopt natuurlijk dat zijn lezers zullen instemmen met zijn woordvoerder Salviati, die in de dialoog de boventoon voert en die zijn mening met betere argumenten kan onderbouwen dan Simplicio.

Palmerino's onderzoek toont ook aan wat de waarde van de wetenschapsgeschiedenis kan zijn voor de hedendaagse wetenschapsfilosofie. Wetenschapsfilosofen hebben vaak Galilei's gedachte-experimenten als historisch bronmateriaal gebruikt om hun eigen theorieën te ontwikkelen, en ze

zijn voorbijgegaan aan het feit dat Galilei zelf een wetenschapsfilosoof was. Ze hebben zich met andere woorden niet afgevraagd wat Galilei's eigen visie was met betrekking tot het nut en de functie van gedachte-experimenten. Galilei's dialogen bevatten echter zeer interessante ideeën over de rol die intuïtie, logische redenering, ervaring en voorkennis spelen bij het oplossen van gedachte-experimenten. Om deze ideeën te achterhalen, heeft Palmerino gekeken naar de antwoorden die de personages uit de dialogen geven; niet alleen op de vraag 'wat zou er hier gebeuren?', maar ook en vooral op de vraag 'hoe kan ik weten wat er in zo'n denkbeeldige situatie zou gebeuren?'. In sommige gevallen geven de personages een intuïtief antwoord op de 'wat als'-vraag, in andere gevallen proberen ze al redenerend tot een oplossing te komen. Daarbij maken ze bijvoorbeeld gebruik van analogieën, door het 'wat als'-scenario te analyseren aan de hand van vergelijkbare, meer bekende fenomenen. Zo vergelijkt Galilei's woordvoerder, Salviati, het gedrag van de bal die in de tunnel door het centrum van de aarde valt, met dat van een slinger.

Galilei laat zijn personages tegenstrijdige antwoorden geven op de 'wat als'-vragen, juist om te laten zien dat gedachte-experimenten anders werken dan echte experimenten. Bij een gedachte-experiment kunnen we het niet aan de natuur overlaten om het uiteindelijke antwoord te geven. We zijn op onszelf aangewezen. En in het bedenken van mogelijke oplossingen putten wij uit onze ervaring en voorkennis, of vertrouwen we op onze intuïties.

Gedachte-experimenten in het onderwijs

Zoals we hebben gezien, vervullen Galilei's gedachte-experimenten een belangrijke pedagogische functie. Door zijn personages met elkaar in discussie te laten gaan over denkbeeldige scenario's, laat Galilei zien hoe gedachte-experimenten kunnen bijdragen aan het verhelderen van conflicten, het blootleggen van impliciete aannames, en het articuleren van onze eigen posities. Het ligt dus voor de hand om gedachte-experimenten voor onderwijsdoeleinden te gebruiken. 'Wat als'-scenario's spreken tot de verbeelding en kunnen worden ingezet om de nieuwsgierigheid van de leerlingen te prikkelen en om wetenschappelijke vragen inzichtelijk te maken. Door wetenschappelijke gedachte-experimenten, zoals de tunnel door de aarde, in de klas te behandelen, worden de intuïties van leerlingen getest, en worden de leerlingen uitgedaagd om deze intuïties in argumenten uit te drukken.

Deze pedagogische functie is natuurlijk niet alleen voorbehouden aan dit soort natuurwetenschappelijke gedachte-experimenten. In de geschiedenis van de filosofie vinden we ook andere soorten gedachte-experimenten. Ze hebben elk een andere insteek en vragen om een andere manier van redeneren (zie ook Achtergrondinformatie 'Drie soorten gedachte-experimenten'). Bij natuurwetenschappelijke gedachte-experimenten, zoals die van Galilei, staat de vraag centraal: 'wat denk je dat er zal gebeuren?'. Hiervan onderscheiden we conceptuele gedachte-experimenten. Hierbij is het niet zozeer relevant wat er in de situatie zou gebeuren, maar wel hoe we conceptueel moeten nadenken over de situatie. De belangrijkste vraag is dan: 'hoe moeten we de situatie begrijpen?'. Ook zijn er evaluatieve/ethische gedachte-experimenten. Bij dit type gedachte-experimenten worden we uitgenodigd om ons te verplaatsen in een situatie waar we moeten bepalen wat een moreel goede handeling zou zijn. De vraag is dus: 'wat zou je in de situatie moeten doen?'. Daarbij moet ieder voor zichzelf goed formuleren waarom hij of zij kiest om zus of zo te handelen.

Het is interessant om juist al deze verschillende soorten gedachte-experimenten te gebruiken in het onderwijs. Ze kunnen elk op hun eigen manier leerlingen helpen bij het toelichten van begrippen, het onder woorden brengen van intuïties en het formuleren van argumenten. Door met elkaar

in discussie te gaan, leren de leerlingen bovendien dat andere mensen wellicht heel anders over dezelfde vraagstukken nadenken. Hiermee kunnen gedachte-experimenten de leerlingen inzicht geven in het feit dat onze eigen intuïties, persoonlijke overtuigingen en opgedane kennis niet vanzelfsprekend zijn.

Onderzoek naar het nut en de functie van gedachte-experimenten

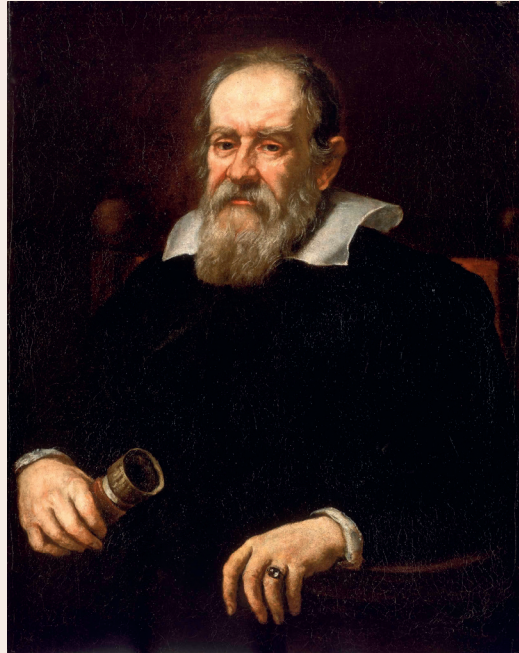
In onderstaand kader geven prof. dr. Carla Rita Palmerino en haar team een voorbeeld van hoe zij onderzoek hebben gedaan naar het nut en de functie van gedachte-experimenten. Ze beschrijven hun onderzoeksvraag, de manier waarop ze deze vraag probeerden te beantwoorden, de resultaten die het onderzoek opleverde en de vervolgvragen die het onderzoek oproep. Hiermee willen we het verband laten zien tussen de aanpak van een onderzoeker en die van de leerlingen.

Onderzoeksvraag	Waarom maken wetenschappers gebruik van gedachte-experimenten? Wat kunnen ze daarmee bereiken?
Hypothese	De hypothese van dit onderzoek is dat gedachte-experimenten niet alleen nuttig kunnen zijn als bewijsmiddelen, maar ook en vooral als pedagogische en kritische instrumenten.
Hoe doen we dit onderzoek?	We bestudeerden het werk van Galileo Galilei, een wetenschapper die veel gebruik maakte van gedachte-experimenten, met name in werken geschreven in de vorm van een dialoog. We hebben niet alleen de gedachte-experimenten die tot nieuwe kennis leiden geanalyseerd, maar ook naar minder 'succesvolle' gedachte-experimenten, die weinig aandacht hebben gekregen in de literatuur omdat ze geen duidelijk antwoord opleveren. We hebben ons telkens afgevraagd: Wat is het doel van dit gedachte-experiment? Zijn de personages uit Galilei's dialogen het met elkaar eens over de uitkomst van het gedachte-experiment? Waarom wel/niet? Hoe onderbouwen ze hun conclusies?
Resultaten	Het onderzoek toont aan dat Galilei's gedachte-experimenten verschillende functies hebben. Ze worden gebruikt om theorieën te bevestigen of te ontkennen, problemen inzichtelijk te maken, concepten toe te lichten en paradoxen bloot te leggen. Het onderzoek laat ook zien dat hedendaagse wetenschapsfilosofen iets kunnen leren van Galilei's beschouwingen over de rol die intuïtie, logische redenering, ervaring en voorkennis spelen bij het oplossen van gedachte-experimenten.
Conclusie	Waarom maakt Galilei zo graag gebruik van gedachte-experimenten? Onze conclusie is dat hij dat doet om zijn lezers te boeien en om ze nieuwsgierig te maken naar wetenschappelijke vragen. En waarom laat hij de personages uit zijn boeken zo vaak tegenstrijdige antwoorden geven op de gedachte-experimenten? Omdat hij wil laten zien dat de oplossing die we geven op een gedachte-experiment bepaald wordt door onze ideeën, onze opgedane ervaring en onze voorkennis.
Wat betekenen deze resultaten voor het dagelijks leven van kinderen?	In hun dagelijks leven denken kinderen vaak in 'wat als'-scenario's. Daarom zijn gedachte-experimenten uitermate geschikt om wetenschappelijke en filosofische vraagstukken begrijpelijk en inzichtelijk te maken, om discussie te genereren en zelfreflectie te stimuleren.
Wat willen we nog meer onderzoeken?	Het onderzoek kan worden voortgezet door te kijken naar de rol die gedachte-experimenten spelen in het werk van andere filosofen en wetenschappers.

ACHTERGRONDINFORMATIE

Galilei's werk: De twee voornaamste wereldbeelden

In zijn *Dialogo over de twee voornaamste werelddsystemen* (1632) bespreekt Galileo Galilei (1564-1642) het Ptolemeïsche en het Copernicaanse wereldbeeld. Volgens het Ptolemeïsche systeem, vernoemd naar de Griekse sterrenkundige Claudius Ptolemaeus (87-150), staat de aarde stil in het middelpunt van het universum en draaien de andere hemellichamen om haar heen (zie afbeelding p.62). Planeten en sterren maken allemaal een hele rotatie van oost naar west in 24 uur, maar planeten draaien tegelijkertijd ook in de tegenovergestelde richting om de aarde, ieder met een eigen snelheid. Deze snelheid neemt af naarmate de afstand van de aarde toeneemt: de maan maakt een volle cirkel in 28 dagen, Saturnus in bijna 30 jaar.



Portret van Galileo Galilei (Afbeelding: Justus Sustermans, circa 1640)

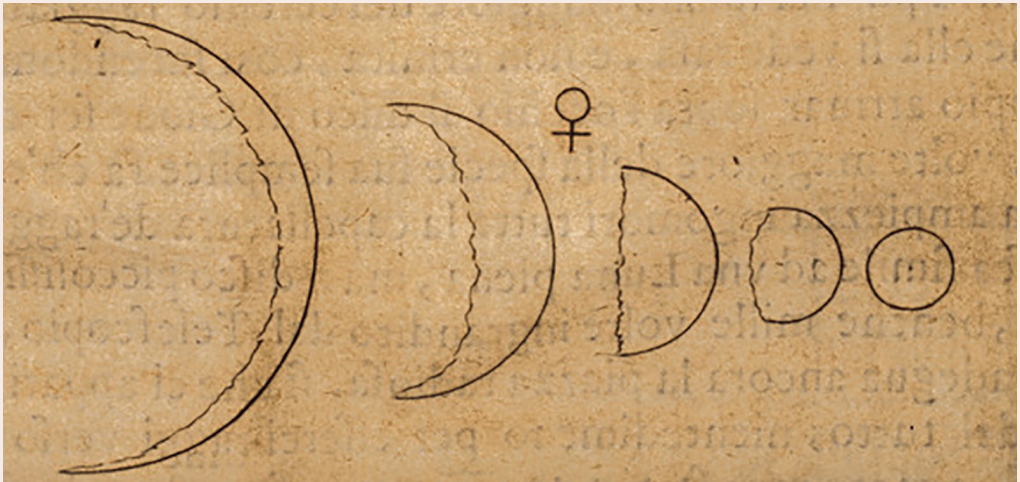
Ptolemaeus' geocentrische (geo = aarde) wereldbeeld was dominant tot in de zestiende eeuw. In 1543 publiceerde de Poolse arts en jurist Nicolaus Copernicus (1473-1543) een boek getiteld *Over de omwenteling van de hemellichamen*, waarin hij een heliocentrisch wereldbeeld (helios = zon) presenteerde. Copernicus plaatst de zon in het middelpunt van het universum en de aarde, samen met de maan, tussen de planeten. De aarde draait in ca. 24 uur om haar eigen as en in ca. 365 dagen om de zon. De dagelijkse rotatie van de aarde die de westwaartse beweging van alle hemellichamen in het Ptolemeïsche systeem vervangt, verklaart het ritme van dag en nacht, terwijl de jaarlijkse beweging verantwoordelijk is voor de cyclus van de seizoenen.

Copernicus benadrukte dat zijn systeem eenvoudiger en eleganter was dan het Ptolemeïsche systeem, en toch duurde het meer dan een eeuw voordat het algemeen geaccepteerd werd. Dit had deels te maken met het tegen-intuïtieve karakter van de heliocentrische theorie (we zien toch dat de zon beweegt!), deels met het ontbreken van een doorslaggevend bewijs, en deels met de oppositie van de kerk, die in 1616 de Copernicaanse leer als ketterij veroordeelde. Galileo Galilei wijdde zijn hele wetenschappelijke carrière aan het verzamelen van bewijs voor het heliocentrische systeem.

Galileo Galilei en zijn steun voor de heliocentrische theorie

Hoe is het mogelijk dat de aarde ronddraait en dat we het niet merken? Waarom blijven vogels en wolken dan niet achter en waarom komt een steen die vanuit een hoge toren valt toch aan de voet van de toren terecht? Hoe kan de aarde om de zon draaien en de maan met zich meenemen? In zijn werk probeerde Galilei een antwoord te geven op deze en andere bezwaren tegen het heliocentrische systeem.

In 1609 en 1610 deed Galilei belangrijke waarnemingen met een zelfgebouwde telescoop. Hij ontdekte onder andere dat Jupiter, net als de aarde, manen heeft, en dat Venus schijngestalten vertoont waarbij je meestal maar een deel van de planeet kunt zien, wat niet kan worden verklaard vanuit het geocentrische systeem (zie onderstaande afbeelding). Het nieuws van Galilei's ontdekkingen verspreidde zich snel. Velen wezen op de tegenstrijdigheid tussen de Copernicaanse leer en de Bijbel, waarin staat dat de zon beweegt. In zijn zogenaamde "Copernicaanse brieven", geschreven tussen 1613 en 1615, beweerde Galilei dat God twee boeken heeft geschreven: het boek van de natuur, dat alleen door wiskundigen en filosofen kan worden gelezen, en de Bijbel, die voor iedereen toegankelijk moet zijn. De Bijbel "leert ons hoe we naar de hemel gaan, niet hoe de hemelen gaan" en moet daarom niet altijd letterlijk worden geïnterpreteerd.



Galilei's tekening van de schijngestalten van Venus (Afbeelding: Galileo Galilei)

De reactie van de Roomse Inquisitie liet niet lang op zich wachten. In 1616 werd de heliocentrische leer door de Roomse Inquisitie verboden en werd Galilei gewaarschuwd om de Copernicaanse theorie niet langer publiekelijk te verdedigen. In 1624 kreeg Galilei echter van de nieuwe Paus Urbanus VIII, die hij persoonlijk kende, toestemming om te werken aan zijn *Dialogo over de twee voornaamste werelddsystemen* (zie afbeelding p.68 en 'Galilei's werk: De twee voornaamste wereldbeelden'). In het boek, dat in 1632 verscheen, presenteerde Galilei niet alleen zijn astronomische bevindingen, maar ook een nieuwe bewegingsleer waarmee hij een antwoord kon geven op de fysische argumenten tegen de beweging van de aarde. Het relativiteitsbeginsel van Galilei, geïllustreerd door het gedachte-experiment van het schip (zie hoofdstuk), verklaart waarom een steen die vanuit een hoge toren valt, aan de voet van de toren terechtkomt, ongeacht of de aarde stilstaat of draait. Op een roterende aarde zouden namelijk dezelfde bewegingswetten gelden als op een stilstaande aarde.

In januari 1633 werd Galilei door de Inquisitie naar Rome geroepen. Hij kreeg een proces, werd veroordeeld en moest de Copernicaanse leer afzweren. Galilei's laatste boek, dat niet over kosmologie, maar over materie en beweging ging, werd in 1638 in Leiden gepubliceerd. Galilei stierf op 8 januari 1642 op zijn landgoed in Arcetri in huisarrest.



DIALOGO
D I
GALILEO GALILEI LINCEO
MATEMATICO SOPRAORDINARIO
DELLO STUDIO DI PISA.
E Filosofo, e Matematico primario del
SERENISSIMO
GR.DVCA DI TOSCANA.

Doue ne i congressi di quattro giornate si discorre
sopra i due

MASSIMI SISTEMI DEL MONDO
TOLEMAICO, E COPERNICANO;

*Proponendo indeterminatamente le ragioni Filosofiche, e Naturali
tanto per l'una, quanto per l'altra parte.*

CON PRI



VILEGI.

IN FIRENZA, Per Gio: Batista Landini MDCXXXII.

CON LICENZA DE' SUPERIORI.

Galilei's Dialogo over de twee voornaamste wereldsystemen (Afbeelding: Giovanni Battista Landini)

Kuhns paradox

Geven gedachte-experimenten ons nieuwe kennis over de wereld? En zo ja, hoe kan dit dan eigenlijk? Hierover is in de wetenschapsfilosofie een levendig debat gaande. Het begon met een simpele vraag in de jaren '60 van de beroemde wetenschapsfilosoof Thomas Kuhn: aangezien een gedachte-experiment altijd is gebaseerd op wat toch al 'in ons hoofd zit', dus wat we al weten (namelijk onze intuïtie en opgedane ervaring van de wereld), hoe kan het dan nieuwe kennis opleveren over de wereld? Dit probleem heeft de naam gekregen van 'Kuhns paradox'.

Er zijn binnen de wetenschapsfilosofie grofweg twee verschillende manieren om de paradox op te lossen. De eerste manier is dat we ervan uitgaan dat we puur door te denken nieuwe kennis over de wereld kunnen produceren. Ook al gebruiken we voor het bedenken van een gedachte-experiment onze bestaande kennis en ervaring van de wereld, uiteindelijk levert het gedachte-experiment ons meer kennis op dan we daarvoor hadden. Gedachte-experimenten zijn in deze zin te vergelijken met wiskunde. Ook in de wiskunde kunnen we nieuwe dingen ontdekken, niet door te meten en andere vormen van empirie, maar door alleen gebruik te maken van onze denkkracht.

De tweede manier is minder geneigd om te spreken van echt nieuwe kennis. Een gedachte-experiment is simpelweg een logisch argument, alleen dan aangekleed als een verhaaltje, en dus wat leuker en aantrekkelijker dan een saai en droog argument. Het enige wat het 'argument' van het gedachte-experiment oplevert, is dat kennis en vooronderstellingen die we impliciet al hebben, nu expliciet worden. Dus in zekere zin hadden we vóór het gedachte-experiment de kennis over de wereld al wel in bezit, alleen waren we daar nog niet zo bewust van. Het tot de verbeelding sprekende scenario helpt ons dan om te realiseren en formuleren wat onze kennis is.

Drie soorten gedachte-experimenten

De activiteiten die in de klas kunnen worden behandeld, bevatten een grote verscheidenheid aan gedachte-experimenten. Deze kunnen we indelen in drie categorieën:

Beschrijvende/wetenschappelijke gedachte-experimenten

Hieronder vallen alle natuurwetenschappelijke gedachte-experimenten van Galilei die we eerder hebben gezien. Bij dit type is de belangrijkste vraag: 'wat denk je dat er zal gebeuren?'. Het doel is om te voorspellen. Het lijkt dus erg op wat een natuurwetenschapper doet in het formuleren van een hypothese bij een echt experiment. Er kan vaak maar één antwoord juist zijn.

Conceptuele gedachte-experimenten

Hierbij is het niet zozeer relevant wat er in de situatie zou gebeuren, maar wel hoe we moeten nadenken over de situatie, welke concepten we daar het beste voor kunnen gebruiken, en wat we eigenlijk bedoelen met die concepten. De belangrijkste vraag is dan: 'hoe moeten we de situatie begrijpen?'. Bijvoorbeeld: 'hoe weet je zeker of je droomt of niet?'. In de meeste gevallen is er niet één juist antwoord, maar nodigt het gedachte-experiment uit om verder te filosoferen over de wereld en onszelf.

Evaluatieve/ethische gedachte-experimenten

Bij dit type gedachte-experiment worden we uitgenodigd om ons te verplaatsen in een situatie waar we moeten besluiten hoe te handelen. Het gaat er niet zozeer om te begrijpen of voorspellen wat er over het algemeen in dit scenario zou gebeuren, maar wat in moreel opzicht goed of slecht is om te doen. De vraag is dus: 'wat zou je in de situatie moeten doen?'. Een dergelijk gedachte-experiment schetst vaak een kritieke situatie waar we worden gedwongen om te kiezen uit een aantal mogelijke handelingen die geen van alle zonder morele bezwaren zijn. Een evaluatief gedachte-experiment heeft nooit één goed antwoord, het gaat juist om de ethische afweging tussen de verschillende opties. Daarbij moet ieder voor zichzelf goed formuleren waarom hij of zij kiest om zus of zo te handelen.

Verder lezen, kijken en luisteren

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

Video's WKRU

- Videoportret Carla Rita Palmerino bij uitreiking Radboud Science Awards 2019 ●
- Lezing voor kinderen door Carla Rita Palmerino bij uitreiking Radboud Science Awards 2019 ●

Meer informatie over gedachte-experimenten

- Een toegankelijke filosofische blogpost over het Trolleyprobleem en zelfrijdende auto's ●
- Een toegankelijke filosofische blogpost (in het Engels) over het schip van Theseus en het probleem van persoonlijke identiteit. Hierin wordt verwezen naar een scene uit de film *The Wizard of Oz*, die eventueel aan de kinderen kan worden getoond. ●
- Krantenartikel waarin het Trolleyprobleem wordt aangehaald ter illustratie van de moeilijke overwegingen die moeten worden gemaakt in de coronacrisis ●
- Het boek *Wat als?* gaat op een humoristische manier om met gedachte-experimenten door serieuze wetenschappelijke antwoorden te geven op absurde hypothetische vragen ●

Prijswinnende wetenschappelijke publicaties waarop het project is geïnspireerd:

- **Palmerino, C.R.** (2018). Discussing What Would Happen: The Role of Thought Experiments in Galileo's Dialogues. *Philosophy of Science*, 85 (5), 906-918.
- **Palmerino, C.R.** (2018). Space, Imagination and the Cosmos in the Leibniz-Clarke Correspondence. In F. Bakker, D. Bellis & C. Palmerino (Eds.), *Space, Imagination and the Cosmos from Antiquity to the Early Modern Period (Studies in History and Philosophy of Science, 48)* (pp. 261-283).

3.2 Onderzoek naar gedachte-experimenten de klas in!

Radboud Science Team 'Gedachte-experimenten'

Deze paragraaf beschrijft hoe je in de klas een project onderzoekend leren kunt opzetten bij het thema 'Gedachte-experimenten'. Je vindt hier diverse activiteiten voor de introductie en verkenning van het project. Deze activiteiten zijn als eerste uitgevoerd bij Basisschool de Gazelle in Arnhem.

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

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

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



Leerlingen van de Gazelle stellen zich veelvuldig de vraag 'Wat als...?' tijdens hun gedachte-experimenten (Foto: Hanne Kause)



Stap 1. Introductie

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

INTRODUCTIEACTIVITEIT: IN DE BAN VAN DE RING

Leerlingen doen een gedachte-experiment.

Doel

- De leerlingen maken kennis met gedachte-experimenten.
- De leerlingen kunnen over hun ideeën met elkaar in discussie gaan.

Duur

15 minuten

Werkvorm

Klassikaal en in drietallen

Benodigheden

- Een ring
- Filmpje Lord of the Rings
- Filmpje Quantum Stealth

Activiteit

Laat het filmpje van *Lord of the Rings* zien. Laat vervolgens een ring zien en zeg: “Stel dat je onzichtbaar zou worden als je deze ring omdoet, wat zou je dan doen?”. Laat de leerlingen in stilte nadenken over dit gedachte-experiment. Vraag vervolgens klassikaal wat leerlingen zouden doen wanneer ze de ring omhebben.

Vraag de leerlingen om na te denken wat een politieagent aan zo’n ring zou hebben. Wat zouden agenten doen als ze deze ring om hebben? Laat de leerlingen opnieuw eerst in stilte nadenken en vervolgens in groepjes ideeën uitwisselen. Stimuleer de leerlingen om elkaar vragen te stellen zodat de ideeën zo duidelijk mogelijk naar voren komen.

Herhaal dit voor verschillende beroepen/rollen (bijvoorbeeld minister-president, gevangene, de kapper etc.). Betrek de leerlingen bij het kiezen welke beroepen/rollen.

Afronding

Vertel dat de leerlingen in deze activiteit hebben geoefend met gedachte-experimenten. In een gedachte-experiment onderzoek je een idee. Je maakt er in gedachten een situatie of experiment van, maakt vervolgens een voorstelling van de verschillende mogelijkheden of oplossingen, en tenslotte bespreek je je ideeën met anderen.

Bespreek met de leerlingen of ze denken dat onzichtbaar worden echt mogelijk is. Laat ze vervolgens het filmpje zien van Quantum Stealth. Dit is een actueel onderzoek naar manieren om dingen onzichtbaar te maken door middel van technologie. Dit is een voorbeeld van een gedachte-experiment dat vroeger onmogelijk uitgevoerd kon worden, maar nu door verbeterde technologie (bijna) mogelijk wordt.

Verbinding met het thema

Deze activiteit is bedoeld om de leerlingen nieuwsgierig te maken naar gedachte-experimenten.



Leerlingen van de Gazelle willen graag vertellen wat een agent zou kunnen doen met een ring die onzichtbaar maakt (Foto: Jimmy Israël)



Stap 2. Verkenning

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

Zorg daarnaast dat je het thema ook overkoepelend goed toelicht en uitlegt aan de leerlingen. Je kunt daarvoor de lezing voor kinderen gebruiken die de onderzoeker eerder heeft gegeven  en de informatie die in paragraaf 3.1 beschreven staat.

Subthema's

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

- Soorten gedachte-experimenten
- Onderliggende vraag
- Verschillende meningen
- Gedachte-experimenten verifiëren

ACTIVITEIT 1: EEN LUCHTBALLON, EEN DROOM EN EEN TUNNEL

Leerlingen denken na over drie verschillende gedachte-experimenten en geven argumenten voor hun antwoorden.

Subthema

- Soorten gedachte-experimenten
- Verschillende meningen

Doelen

- De leerlingen raken bekend met drie verschillende soorten gedachte-experimenten die in de filosofie en de wetenschap worden gebruikt.
- De leerlingen leren dat de eigen intuïtie bij gedachte-experimenten niet altijd overeen hoeft te komen met de intuïtie van anderen.
- De leerlingen leren argumenten te gebruiken om hun manier van denken te onderbouwen.

Duur

45-60 minuten

Werkvorm

In tweetallen en klassikaal

Benodigdheden

Presentatie met voorbeelden van gedachte-experimenten 



Door zich te verspreiden door de klas ontdekken deze leerlingen van de Gazelle dat hun meningen erg verschillen (Foto: Jimmy Israël)

Activiteit

Presenteer de drie voorbeelden van gedachte-experimenten aan de leerlingen. Ieder gedachte-experiment eindigt met een vraag. Laat de leerlingen eerst in tweetallen kort discussiëren op basis van deze vraag en stel de vraag vervolgens klassikaal. Vraag de leerlingen zich te verspreiden over de klas bij het maken van een keuze. Bijvoorbeeld bij het kiezen tussen twee opties: ga aan de ene kant van de klas staan voor optie A, en aan de andere kant voor optie B. Of leerlingen kunnen zich verspreiden over de vier hoeken van het klaslokaal, naar de hoek waarvan zij denken dat het goede antwoord is. Vraag verschillende leerlingen om te beargumenteren waarom ze op deze plek zijn gaan staan. Probeer de discussie te leiden door vervolgvragen te stellen. Belangrijk is dat de leerlingen hun antwoorden beargumenteren: het gaat er daarbij niet om tot het 'goede' antwoord te komen (vaak bestaat dat ook helemaal niet), maar juist om verschillende opties grondig te bespreken.

Afronding

Reflecteer hoe de leerlingen dit vonden. Was het moeilijk om je eigen gedachte of intuïtie op overtuigende manier aan anderen te presenteren? Hoe komt dat? En wat zegt het dat er (waarschijnlijk) veel verschillende antwoorden zijn gegeven? Bespreek vervolgens de overeenkomsten en verschillen tussen de drie gedachte-experimenten. Leg uit dat de voorbeelden in deze activiteit van drie verschillende gedachte-experimenten zijn, waar ook ieder een ander soort vraag bij hoort. Je kunt bij de uitleg de tabel hieronder gebruiken.

Soort	Uitleg	Vraag	Voorbeeld
Ethisch/evaluatief	Hierbij vraag je je af wat goed of slecht is om te doen.	Wat zou je in de situatie moeten doen?	Luchtballon
Conceptueel	Hierbij vraag je je af wat een woord of situatie betekent.	Hoe moeten we de situatie begrijpen?	Droom-argument
Beschrijvend/wetenschappelijk	Hierbij vraag je je af wat er wetenschappelijk gezien waar is.	Wat denk je dat er zal gebeuren?	Tunnel door de aarde

Verbinding met het thema

Het doel van deze activiteit is om de leerlingen bekend te maken met verschillende soorten gedachte-experimenten, en de verschillende manieren waarop gedachte-experimenten in de filosofie en de wetenschap kunnen worden gebruikt. Bovendien denken de leerlingen zelf na over mogelijke antwoorden op deze experimenten, waardoor ze kunnen ervaren hoe gedachte-experimenten kunnen helpen om bepaalde intuïties of aannames inzichtelijk te krijgen en aan anderen te communiceren. In haar onderzoek besteedt Carla Rita Palmerino aandacht aan de didactische waarde van gedachte-experimenten. Ze laat zien dat Galilei gedachte-experimenten gebruikte om wetenschappelijke vraagstukken inzichtelijk te maken en om zijn lezers te stimuleren om over deze vraagstukken na te denken.

ACTIVITEIT 2: LASTIGE VRAGEN

Leerlingen bedenken zelf een passend gedachte-experiment bij een abstracte vraag, en beoordelen welke gedachte-experimenten goed en minder goed werken.

Subthema

Onderliggende vraag

Doelen

- De leerlingen leren om een abstracte, onderliggende vraag te vertalen naar een concrete denkbeeldige situatie.
- De leerlingen krijgen inzicht in hoe een gedachte-experiment kan helpen bij het begrijpen van een moeilijke vraag.

Duur

30-40 minuten

Werkvorm

Klassikaal en in vier- of vijftallen

Benodigheden

- Pen en papier
- Overzicht van de drie vragen 

Activiteit

Leg de volgende vraag voor: “Zou je je altijd goed gedragen als je zou weten dat je nooit gestraft wordt?” Laat de leerlingen even over de vraag discussiëren en verwijst dan terug naar het gedachte-experiment van de ring die je onzichtbaar maakt (introductieactiviteit). De vraag in deze activiteit is namelijk de onderliggende vraag die je beantwoordt met het gedachte-experiment met de ring. Helpt het gedachte-experiment over de ring om de onderliggende vraag beter te begrijpen? Waarom?

Verdeel de leerlingen vervolgens in groepjes en geef elk groepje één van de drie onderstaande onderliggende vragen. Je kunt de vragen op het bord projecteren. Laat de groepjes bij hun vraag zelf een concreet gedachte-experiment bedenken, waarmee ze de vraag zouden kunnen beantwoorden. Het gedachte-experiment is een kort verhaaltje, dat eindigt met een vraag. Het verhaaltje moet een concrete situatie schetsen die leerlingen zich levendig voor kunnen stellen. Stuur bij als de leerlingen er niet uit komen, of geef eventueel een voorbeeld om de leerlingen op weg te helpen.

Vragen:

1. Moet je onder alle omstandigheden loyaal blijven aan je vriend?
Voorbeeld: Stel dat je met een goede vriend hebt afgesproken elkaar altijd trouw te blijven, en elkaar nooit te verraden. Maar nu kom je erachter dat je vriend iets heeft gestolen. Moet je in dat geval loyaal blijven aan je vriend?

2. Moet je altijd de waarheid spreken?

Voorbeeld: Stel dat je beste vriendin een nieuwe jurk heeft gekocht waar ze superblij mee is. Jij vindt deze echt niet mooi. Je vriendin vraagt wat je ervan vindt. Wat zeg je?

3. Moet je je altijd aan de wet houden?

Voorbeeld: Stel dat je vriend is gevallen tijdens het skaten. Hij heeft een flinke hoofdwond en moet zo snel mogelijk naar een dokter. Je rent weg om hulp te halen maar het stoplicht springt net op rood. Wat doe je?

Afronding

Laat elk groepje hun gedachte-experiment vertellen en toelichten in de klas. Begin met alle groepjes die een gedachte-experiment bij vraag één hebben bedacht en laat de klas die met elkaar vergelijken. Doe vervolgens hetzelfde bij de andere twee vragen. Welke gedachte-experimenten helpen beter om de onderliggende vraag te beantwoorden, en welke minder goed? Hoe komt dat?

Verbinding met het thema

In de vorige activiteiten hebben de leerlingen geleerd dat gedachte-experimenten bedoeld zijn om een antwoord te vinden op een theoretische vraag. Door zelf creatief aan de slag te gaan en een theoretische vraag te vertalen naar een gedachte-experiment, kunnen leerlingen ontdekken welke gedachte-experimenten goed en welke minder goed werken om de onderliggende (theoretische) vraag te beantwoorden.



Leerlingen van de Gazelle bedenken een gedachte-experiment bij een van de vragen (Foto: Jimmy Israël)

ACTIVITEIT 3: WAT IS HET VERSCHIL?

Leerlingen krijgen een gedachte-experiment aangereikt en proberen de onderliggende filosofische of wetenschappelijke boodschap uit het experiment af te leiden. Vervolgens presenteren ze hun bevindingen op een creatieve manier aan de klas.

Subthema's

Onderliggende vraag

Doelen

- Leerlingen leren dat achter het oppervlak van een gedachte-experiment vaak een diepere filosofische of wetenschappelijke vraag zit.
- Leerlingen leren hoe ze een onderliggende vraag uit een gedachte-experiment kunnen afleiden.
- Leerlingen leren hoe een gedachte-experiment kan helpen om over moeilijke filosofische of wetenschappelijke vraagstukken na te denken.

Duur

60-90 minuten

Werkvorm

Eerst klassikaal, vervolgens in viertallen

Benodigheden

- Animatie gedachte-experiment 'Kind in nood' ●
- Beschrijving van drie gedachte-experimenten (één gedachte-experiment per viertal) ●
- Beschrijving gedachte-experimenten met onderliggend idee (voor de leraar) ●
- Materiaal en techniek voor de creatieve verbeelding (bijvoorbeeld: camera, knutselspullen, lego, verkleedkleden, etc.)

Activiteit

Bekijk klassikaal de animatie waarin een gedachte-experiment wordt uitgebeeld. Zet de animatie stil op 1m59s, voordat de uitleg over de onderliggende vraag begint. Wat is de overeenkomst tussen de twee situaties? Waarom voelt de ene situatie toch anders dan de andere? Kunnen leerlingen bedenken wat de onderliggende vraag van beide gedachte-experimenten is? Speel vervolgens de rest van de animatie af, en reflecteer met de klas op de onderliggende filosofische vraag zoals dat in de animatie wordt uitgelegd, namelijk: hoever moet je gaan om anderen te helpen? En welke criteria gebruik je om te bepalen wie je wel, en wie je niet helpt?

Deel daarna de klas op in viertallen, en geef ieder groepje één van de gedachte-experimenten op papier. De groepjes bespreken eerst het gedachte-experiment en het verschil tussen de twee varianten. Vervolgens verzinnen ze een creatieve manier om de twee varianten van het gedachte-experiment aan de rest van de klas te presenteren. Dit kan bijvoorbeeld met een filmpje, een toneelstuk of een cartoon; laat de leerlingen zelf bedenken wat het beste past.



Met pennen als rails beelden leerlingen van de Gazelle het Trolley-probleem uit (Foto: Hanne Kause)

Afronding

Alle groepjes presenteren op creatieve wijze de twee varianten van hun gedachte-experiment. Bespreek na elke presentatie wat het verschil is tussen de twee varianten. Waarom voelt de ene situatie anders dan de andere? Kunnen de leerlingen bedenken wat de onderliggende boodschap is die je uit het experiment kunt halen? Dit kan voor leerlingen erg lastig zijn, zorg dus dat je dit goed begeleidt en voldoende hulp biedt bij het ontdekken van de onderliggende boodschap. Op welke manier helpt een gedachte-experiment om na te denken over een onderliggend filosofisch vraagstuk?

Verbinding met het thema

Gedachte-experimenten zijn vooral interessant omdat ze een bepaald licht schijnen op een groter, onderliggend vraagstuk. De theoretische vraag die ten grondslag ligt aan een gedachte-experiment wordt echter niet altijd expliciet geformuleerd, maar moet soms worden gereconstrueerd. In haar onderzoek probeert Carla Rita Palmerino het doel en functie van gedachte-experimenten uit de geschiedenis van de wetenschap en de filosofie te achterhalen door ze in een bredere theoretische en historische context te plaatsen. Door een creatieve manier te bedenken om een gedachte-experiment te verbeelden en toe te lichten raken de leerlingen op interactieve wijze bekend met de theoretische en historische dimensie van filosofische en wetenschappelijke gedachte-experimenten. Tijdens de bespreking van de drie gedachte-experimenten kun je als leraar benadrukken dat het gedachte-experiment van het schip van Theseus 2000 jaar oud is en dat de vraag naar persoonlijke identiteit een van de oudste filosofische vragen is. De Turing-test, die veel recenter is, heeft ook te maken met identiteit, maar in een andere betekenis van het woord. Hier is de vraag namelijk wat mensen tot mensen maakt. Het kan tenslotte worden genoemd dat het Trolley-probleem heel actueel is geworden nu men bezig is met het ontwikkelen van zelfrijdende auto's. Bij het programmeren van zulke auto's moet men namelijk rekening houden met zeldzame situaties.

Ieder gedachte-experiment in deze activiteit kent twee varianten. Dit heeft als doel om te laten zien dat een kleine verandering in een scenario ook een verandering in onze intuïtie veroorzaakt. Door het reflecteren op de verschillen tussen de twee varianten kunnen we onze intuïtie en onze argumentatie verhelderen en daarmee ook de onderliggende vraag.

Tips

Aanvullende bronnen:

- Een toegankelijke filosofische blogpost over het Trolley-probleem en zelfrijdende auto's [!\[\]\(c8bbb643de42b9ef111ff510ae51cf4b_img.jpg\)](#)
- Een toegankelijke filosofische blogpost (in het Engels) over het schip van Theseus en het probleem van persoonlijke identiteit. Hierin wordt verwezen naar een scene uit de film *The Wizard of Oz*, die eventueel aan de leerlingen kan worden getoond. [!\[\]\(3a49519868c47852808f08b76f337d38_img.jpg\)](#)

ACTIVITEIT 4: LEERZAME MENINGEN

Leerlingen leggen een gedachte-experiment voor aan een aantal proefpersonen. Ze vragen hen de “Wat als...” vraag te beantwoorden en hun antwoord te motiveren.

Subthema

Verschillende meningen

Doelen

- Leerlingen worden bewust van overeenkomsten en verschillen tussen mensen in manieren waarop ze een gedachte-experiment oplossen.
- De leerlingen leren goed te luisteren naar de antwoorden van de persoon en dit goed op te schrijven.

Duur

50 minuten

Werkvorm

In drietallen

Benodigdheden

Pen en papier (per groepje)

Activiteit

Vertel de leerlingen dat ze gaan onderzoeken hoe verschillende mensen denken over hetzelfde gedachte-experiment. Elk groepje kiest eerst een gedachte-experiment. Dit mag een gedachte-experiment zijn uit één van de eerdere activiteiten, een zelfbedacht gedachte-experiment of zelf gevonden gedachte-experimenten, bijvoorbeeld op internet (zie ‘Tips’). Het zou mooi zijn als de verschillende soorten gedachte-experimenten daarbij aan bod komen. Geef de leerlingen tijd om hun mini-onderzoek voor te bereiden. Wie gaan ze vragen als proefpersoon? Hoe gaan ze het gedachte-experiment uitleggen aan hun proefpersonen? Stimuleer ze hierin om creatief te zijn: ze kunnen het bijvoorbeeld uitschrijven, een filmpje laten zien of het beschrijven aan de hand van een afbeelding.

Laat het groepje onderling rollen verdelen: één leerling legt het gedachte-experiment uit; één leerling vraagt naar de oplossing van het gedachte-experiment en de reden waarom de proefpersoon dit denkt; één leerling schrijft de antwoorden op. Ieder groepje voert het onderzoek uit bij minstens vier proefpersonen. Na afloop bekijken de leerlingen de oplossingen en de argumenten. Dacht iedereen hetzelfde over de oplossing of niet? Hoe zou dit kunnen komen? Welke redenen werden er gegeven?

Afronding

Bespreek de activiteit met de klas na. Wat zijn de ervaringen van de groepjes: gaf iedereen dezelfde antwoorden? Hoe zou dit kunnen komen? Kan het invloed hebben wie ze hebben gevraagd (bijvoorbeeld kinderen en/of volwassenen)? Wat kan nog meer een rol spelen?

Verbinding met het thema

In het werk van Galilei spelen gedachte-experimenten een belangrijke rol. Carla Rita Palmerino heeft ze in kaart gebracht en aandachtig bestudeerd. Ze ontdekte dat één van de redenen dat Galilei ze gebruikte was om goed te kunnen laten zien dat verschillende mensen verschillend kunnen denken over hetzelfde vraagstuk. Dit komt omdat gedachte-experimenten anders werken dan echte experimenten. In een gedachte-experiment ben jij degene die beslist wat de uitkomst is. En de uitkomst die je bedenkt, wordt bepaald door je opgedane ideeën, ervaring en kennis. Galilei wil bovendien laten zien dat het leerzaam kan zijn om van mening te verschillen. Want dan kunnen we met elkaar in discussie gaan en daardoor elkaar en de wereld beter leren kennen.

Tips

Aanvullende bronnen met gedachte-experimenten:

- Extra gedachte-experiment 'Zien we hetzelfde' [!\[\]\(6c3219972f067da85e8b06c9c543b9de_img.jpg\)](#)
- Een site met veel gedachte-experimenten [!\[\]\(396bde1ab81c7ed0acd4ef6c3b580162_img.jpg\)](#)



*Leerlingen van de Gazelle houden een interview over een gedachte-experiment en noteren de mening van hun klasgenoten zorgvuldig
(Foto: Hanne Kause)*

ACTIVITEIT 5: HET SCHIP VAN GALILEI

Leerlingen denken na over een bekend gedachte-experiment en onderzoeken tot welke uitkomst ze komen wanneer ze het experiment echt uitvoeren.

Subthema

Gedachte-experimenten verifiëren

Doelen

- Leerlingen worden bewust dat mensen verschillend kunnen denken over wat de uitkomst is van gedachte-experimenten.
- Leerlingen leren dat je sommige gedachte-experimenten kunt testen door ze uit te voeren.
- Leerlingen ervaren het verschil tussen gedachte-experimenten en experimenten die je in werkelijkheid uitvoert.
- Leerlingen raken spelenderwijs bekend met een van Galilei's belangrijkste ontdekkingen: het beginsel van relativiteit.

Duur

30 minuten

Werkvorm

In drietallen (zonder camera) of viertallen (met camera)

Benodigheden

- Animatie van het schip van Galilei 

Per groepje:

Materialen om het experiment uit te voeren. In het voorbeeld in deze activiteit:

- Fiets
- Stoepkrijt of tape om een lijn mee te maken
- Verschillende voorwerpen die variëren in gewicht en die niet rollen of stuiteren: bijvoorbeeld een pittenzakje (sok gevuld met rijst of zand), een steentje, een krijtje, een leeg doosje, een blad van een boom, Of je kunt als alternatief ieder groepje een sok/zakje geven en een hoeveelheid rijst/zand, waarmee ze zelf het gewicht kunnen aanpassen.
- Indien mogelijk: (telefoon)camera

Activiteit

Vraag de leerlingen te voorspellen wat er gebeurt als je een bal van een mast van een varende zeilboot gooit. Denken ze dat de bal (a) aan de voet van de mast valt of (b) erachter valt? Laat ter illustratie de animatie zien. Waarom kiezen de leerlingen voor a of voor b? Denken ze dat er een manier is om dit gedachte-experiment op te lossen? Zouden ze dit zelf kunnen uittesten? Kijk of er ideeën komen vanuit de leerlingen. Als daar geen bruikbaar plan uit voortkomt, kun je onderstaand plan uitvoeren.

Eén van de mogelijke manieren om dichterbij de oplossing van dit gedachte-experiment te komen, is door hen met enige snelheid recht op een lijn af te laten fietsen, en ter hoogte van de lijn een voorwerp te laten vallen. Vervolgens bekijken ze waar het voorwerp landt: op, voor of achter de streep.

Laat de leerlingen dit in groepjes uittesten. Eén leerling zit op de fiets en laat het voorwerp vallen. De tweede leerling observeert van de zijlijn wat er gebeurt met het voorwerp en let daarbij goed op of de fietser het voorwerp loslaat precies boven de lijn. De derde leerling noteert wat er gebeurt. De vierde leerling maakt opnamen met de camera, waarbij hij de camera zo stil mogelijk houdt. Maakt het nog uit of ze sneller of langzamer fietsen? Maakt het uit of ze een lichter of zwaarder voorwerp laten vallen? Zorg dat de leerlingen hun experiment minstens vijf keer herhalen en de uitkomsten en bijzonderheden opschrijven.



Al rennende laten leerlingen van de Gazelle een etui vallen om het gedachte-experiment 'Het schip van Galilei' na te bootsen (Foto: Jimmy Israël)

Afronding

Bespreek de activiteit na. Wat was de uitkomst van het experiment? Hoe lijkt het experiment op het gedachte-experiment van de zeilboot? Bedenk dat bij de zeilboot de bal op het schip of in zee valt. Bij de nabootsing met de fiets komt het eerste overeen met *voorbij de lijn* en het tweede met *op de lijn*. Zijn er leerlingen van gedachten veranderd over de oplossing van het gedachte-experiment? Waarom wel, waarom niet? Wat is betrouwbaarder, de uitkomst van het gedachte-experiment of die van het experiment? Hoe weten ze of de uitkomst van het experiment betrouwbaar is? Hoe kunnen ze ervoor zorgen dat ze het zo betrouwbaar mogelijk uittesten?

Verbinding met het thema

Carla Rita Palmerino heeft in haar onderzoek de functie van het gedachte-experiment in het werk van Galilei bestudeerd. In deze activiteit maken leerlingen kennis met één van zijn meest aangehaalde gedachte-experimenten: 'Het schip van Galilei'. In tegenstelling tot andere gedachte-experimenten, die onmogelijke scenario's beschrijven, kan dit gedachte-experiment worden uitgevoerd en werd ook daadwerkelijk uitgevoerd in Frankrijk vlak na de dood van Galilei. Galilei gebruikte dit gedachte-experiment om een argument tegen de beweging van de aarde te ontkrachten. Volgens

de heliocentrische theorie, die Galilei verdedigde, draait de aarde in 24 uur om haar as en in een jaar om de zon. De tegenstanders van deze theorie beweerden dat als de aarde oostwaarts om haar as zou draaien, je dat toch zou moeten merken. Een steen die vanuit een hoge toren losgelaten zou worden, zou namelijk niet aan de voeten van de toren landen, maar honderden meters naar het westen toe. Volgens Galilei's relativiteitsprincipe is dit echter niet het geval. Als een object met een constante snelheid beweegt, maar relatief ten opzichte van een waarnemer stil lijkt te staan (omdat de waarnemer zelf ook meebeweegt), dan voelt het voor de waarnemer precies hetzelfde als wanneer het object en de waarnemer beide stil zouden staan. Dit kan je duidelijk merken in een rijdende trein: als je met een constante snelheid voortraast, dan kan je een balletje in de lucht gooien zonder dat het balletje direct naar achteren vliegt. De wetten van de mechanica blijven hetzelfde, ongeacht met welke constante snelheid je gezamenlijk beweegt. Een steen die vanuit de top van de mast van een schip wordt losgelaten, belandt daarom gewoon aan de voeten van de mast, ongeacht of het schip in rust is of met constante snelheid vaart. In het tweede geval blijft de steen namelijk met het schip mee bewegen terwijl hij naar beneden valt. Hetzelfde geldt voor een bewegende aarde: tijdens de val blijft de steen met de aarde meedraaien en komt dus aan de voeten van de toren terecht.



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

Hieronder staan drie voorbeelden van onderzoeksvragen die zijn bedacht door leraren van basisschool de Gazelle in Arnhem. Deze voorbeelden geven een beeld van de soort vragen die leerlingen over het thema 'Gedachte-experimenten' zouden kunnen stellen. Als gevolg van de sluiting van scholen door COVID-19 zijn de leerlingen er zelf niet aan toegekomen om vragen te bedenken.

Verandert je mening door een gedachte-experiment?

Subthema's: Onderliggende vraag en Soorten gedachte-experimenten

De leerlingen hebben geleerd dat een gedachte-experiment kan helpen bij het beantwoorden van een ingewikkeld vraagstuk zoals een ethisch dilemma. Met die kennis zouden ze zich kunnen afvragen of leerlingen een ethische vraag inderdaad anders zullen beantwoorden na het doen van een gedachte-experiment. Om dit te onderzoeken kunnen de leerlingen eerst aan proefpersonen vragen of ze vinden dat je je altijd aan de wet moet houden. Vervolgens laten ze de proefpersoon het gedachte-experiment doen over je vriend die is gevallen bij het skaten uit activiteit 2. Hierna vragen ze opnieuw of de proefpersoon vindt dat je je altijd aan de wet moet houden. Ze noteren vervolgens of iemand twee keer hetzelfde antwoord gaf, of juist twee verschillende antwoorden. Zijn er inderdaad proefpersonen van mening veranderd door het gedachte-experiment?



Leerlingen van de Gazelle bekijken video-opnames van hun experiment om te controleren of hun intuïtie over het gedachte-experiment 'Het schip van Galilei' klopt (Foto: Jimmy Israël)

Speelt groepsdruk een rol bij het beantwoorden van een gedachte-experiment?

Subthema's: Verschillende meningen en Soorten gedachte-experimenten

Bij activiteit 1 hebben de leerlingen geleerd dat een ethisch gedachte-experiment niet altijd één juist antwoord heeft. Hoe kies je dan een antwoord? Zou je mening beïnvloed worden door je klasgenoten? Om dit te ontdekken kunnen leerlingen het effect van groepsdruk onderzoeken. Dit kunnen ze testen door proefpersonen in twee gelijke groepen te verdelen. Beide groepen krijgen de vraag over de nieuwe jurk van je beste vriendin uit activiteit 2: 'Zeg je eerlijk dat je de jurk niet mooi vindt, of zou je liegen?'. Bij de eerste groep stellen ze de vraag aan iedereen tegelijk. De leerlingen die eerlijk zouden zeggen dat ze de jurk lelijk vinden gaan aan de ene kant van de klas staan, de leerlingen die zouden liegen aan de andere kant. De tweede groep proefpersonen vragen ze om één-voor-één plaats te nemen in een afgesloten ruimte met een 'stembox' waar ze het antwoord op dezelfde vraag anoniem op een blaadje schrijven. Is er een verschil tussen de twee groepen? Is er bij de groep die zich over de klas verspreidde inderdaad minder variatie in de antwoorden?

Wordt de uitkomst van een gedachte-experiment beïnvloed door wie het aan je vraagt?

Subthema: Verschillende meningen

De leerlingen hebben bij activiteit 3 ontdekt dat verschillende varianten van hetzelfde gedachte-experiment kunnen helpen om iemand tot een ander inzicht te laten komen. In dit experiment onderzoeken leerlingen of iemands antwoord op een gedachte-experiment ook kan worden beïnvloed wanneer hetzelfde gedachte-experiment wordt voorgelegd door twee verschillende personen. Het zou voor de reactie van een leerling bijvoorbeeld best uit kunnen maken of een gedachte-experiment wordt voorgelegd door de leraar of door een klasgenoot. Om deze voorspelling te onderzoeken kan een onderzoeksgroepje twee groepen leerlingen dezelfde 'wat als'-vraag voorleggen: 'Stel je voor dat je een klasgenoot hebt zien spieken, zou je dit tegen de leraar zeggen?'. Proefpersonen van de eerste groep worden bevraagd door mede-leerlingen van het onderzoeksgroepje. Bij de tweede groep stelt de leraar de vraag aan iedere proefpersoon. Geven leerlingen andere antwoorden als het gedachte-experiment wordt voorgelegd door hun leraar?

Wetenschapsknooppunt Radboud Universiteit

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

Expertise

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

Activiteiten

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

Financier

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

www.wkru.nl

www.wetenschapdeklasin.nl



@WKRU1



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



@wkrunijmegen



@wkrunijmegen

Over de boekenreeks

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

Wetenschappelijke thema's de klas in

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

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

Leidraad onderzoekend leren

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

Website met aanvullend materiaal

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

Thema's per boek

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

Engelse uitgave

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

Foto- en illustratieverantwoording

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

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

Hoofdstuk 1: Creatief denken stimuleren

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

Hoofdstuk 2: Levende cellen namaken

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

Hoofdstuk 3: Gedachte-experimenten

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

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

Hoofdstuk 4: Menselijke machines

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

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

Financiers

Het WKRU wordt mogelijk gemaakt door:

Radboud Universiteit



Aanvullende sponsor:

Radboudumc