

Wetenschappelijke doorbraken de klas in!

Koning, Kinderen redden? en Magnetische knopen

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

Hoofdstuk 4: Magnetische knopen



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



Colofon

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

Beeldredactie: Hanne Kause & Jan van Baren-Nawrocka

Opmaak: Jimmy Israël

Druk en afwerking: Tuijtel, Hardinxveld-Giessendam

Coverfoto voor- en achterzijde: Jimmy Israël, © 2023 WKRU

Eerste druk, januari 2023

ISBN: 9789083042244

NUR-code: 190

Wilt u een exemplaar bestellen?

Ga naar: www.wkru.nl/boek

Uitgave:

Wetenschapsknooppunt Radboud Universiteit

Postbus 9102

6500 HC Nijmegen

Nederland

E-mail: infowkru@ru.nl

Telefoon: 024 366 72 22

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



2023 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.124).

Voorwoord

In deze twaalfde editie in de boekenreeks *'Wetenschappelijke doorbraken de klas in'* zijn wederom drie wetenschapprojecten voor het basisonderwijs te vinden. Dit jaar komen de thema's vanuit rechten, geschiedenis en natuurkunde.

In het hoofdstuk 'Koning en de monarchie' bespreekt prof. dr. Paul Bovend'Eert hoe het moderniseren van het koningschap er staatsrechtelijk uit zou kunnen zien. Waar is de Koning nu wel en niet verantwoordelijk voor, en is dit nog van deze tijd? In de activiteiten leren de leerlingen over het Koninklijk Huis en oefenen ze met het verdedigen van hun standpunt. In het hoofdstuk 'Kinderen redden?' door prof. dr. Marit Monteiro, dr. Maaïke Derksen en Marleen Reichgelt MA duiken de leerlingen in de koloniale geschiedenis. Als je kijkt naar beschavingsoffensieven in voormalig Nederlands-Indië, kun je je afvragen waarom veel kinderen niet gewoon bij hun ouders mochten opgroeien. Waarvan moesten deze kinderen 'gered' worden? In diverse activiteiten gaan leerlingen op bronnenonderzoek om hierover meer te weten te komen. Tenslotte biedt het hoofdstuk van dr. Johan Mentink de kans om meer te weten te komen over magnetisme en supersnelle energiezuinige dataopslag. Hij beschrijft hoe zijn onderzoek naar skyrmions, knopen in de structuur van een magneet, wellicht een oplossing kan bieden. De activiteiten in het hoofdstuk zijn in de vorm van een escaperoom gegoten, wat het een extra beleving maakt voor de leerlingen.

We zijn de bovenstaande wetenschappers én de betrokken leraren erg dankbaar dat ze de projecten hebben willen ontwikkelen. Vanuit de Radboud Universiteit vinden we het belangrijk dat wetenschappers met kinderen over hun onderzoek praten. Kinderen laten hen op een nieuwe manier naar hun onderzoek kijken. Ze kunnen interessante vragen stellen die onderzoekers zelf alweer vergeten zijn.

Vragen stellen en onderzoek doen past bij *alle* leerlingen. Vaak bloeien leerlingen op tijdens het doen van onderzoek. Samen met hun leraren leren ze niet alleen over de inhoud, maar kunnen ze ook ontdekken waar hun talenten liggen. We willen via deze boekenreeks een grote diversiteit aan scholen kennis laten maken met wetenschap, en hopen dat dit nieuwe boek weer veel leerlingen zal enthousiasmeren en inspireren.

We wensen alle leraren en leerlingen veel plezier met de nieuwe thema's in dit boek!



prof. dr. Han van Krieken
Rector magnificus van de Radboud Universiteit



prof. dr. Carl Figdor
Initiator WKRU en hoogleraar Immunologie aan het Radboudumc



Hoofdstuk 4 Magnetische knopen

In dit hoofdstuk beschrijven we een project met als thema 'Magnetische knopen'. Het thema is gebaseerd op het onderzoek van dr. Johan Mentink en zijn team naar de snelste en kleinste magneten. Het hoofdstuk bestaat uit twee delen. In paragraaf 4.1 legt dr. Johan Mentink uit hoe zijn onderzoek naar skyrmions, knopen in de structuur van een magneet, wellicht een oplossing kan bieden voor kleinere en energiezuinigere dataopslag. Leraren kunnen deze paragraaf gebruiken om zichzelf en hun leerlingen inhoudelijk voor te bereiden op het thema. In paragraaf 4.2 beschrijven we diverse activiteiten waardoor leerlingen dit thema in de klas kunnen ervaren en inspiratie kunnen opdoen voor hun eigen onderzoek.

Kerdoelen voor dit thema

Natuur en techniek

- 42. De leerlingen leren onderzoek doen aan materialen en natuurkundige verschijnselen, zoals licht, geluid, elektriciteit, kracht, magnetisme en temperatuur.
- 44. De leerlingen leren bij producten uit hun eigen omgeving relaties te leggen tussen de werking, de vorm en het materiaalgebruik.

Radboud Science Team 'Magnetische knopen'

Het project 'Magnetische knopen' is in het schooljaar 2021-2022 ontwikkeld door een team van onderzoekers van de Radboud Universiteit, basisschoollerares en het WKRU.

Onderzoekers Radboud Universiteit

Dr. Johan Mentink (universitair docent) en Martijn Bouman (promovendus) zijn werkzaam bij het Institute for Molecules and Materials van de Faculteit der Natuurwetenschappen, Wiskunde en Informatica.

Scholen

Basisschool De Gazelle in Arnhem: Mathijs Zwanenburg, Paulien van Tongeren, Maureen Hamstra en Dennis van Putten (leraren).

WKRU

Hanne Kause (projectleider)



Dr. Johan Mentink

"Ik ben geboren in Winterswijk, een dorp in het oosten van Gelderland. Mijn vader was timmerman en mijn oom en opa ook. Er was dus veel waardering voor techniek en een vak leren. Mijn moeder was verpleegkundige. Van haar heb ik een zeker idealisme meegekregen, iets doen voor een betere wereld. Al vanaf mijn jeugd had ik een eindeloze fascinatie voor ontdekkingen. Ik wilde zelf ook uitvinder of onderzoeker worden. Maar ik had ook andere interesses, zoals muziek (slagwerk) en sport (voetbal). Boeken lezen kon ik wel, maar het voelde voor mij als iets kunstmatigs. Hoe dingen echt werken, dat kon ik er niet in vinden. Terwijl ik dat juist zo graag wilde weten! Na de basisschool ging ik daarom naar het vmbo (toen lts) en hierna het mbo (toen mts) om elektrotechniek te leren. Bij de overstap naar het hbo, en vervolgens de universiteit, koos ik voor natuurkunde. Hier dacht ik pas echt te kunnen leren hoe dingen werken, natuurkunde gaat immers over de natuurwetten! Bij mijn afstudeeronderzoek kreeg ik echter motivatieproblemen en wilde ik liever buiten de universiteit werken. Maar na een tijdje werd ik toch weer getrokken door het onderzoek in Nijmegen. Daar kon ik echt nieuwe dingen ontdekken in magneten, die op de lange termijn een revolutie zouden kunnen ontketenen die de wereld beter maakt (ook al weet je nooit of dat echt gebeurt). Het onderzoek heeft me niet meer losgelaten en zo werd ik zelf een onderzoeker."

(Foto: Gerard Verschooten)

4.1 Onderzoek naar de snelste en kleinste magneten

Dr. Johan Mentink

Magnetisme is een onderwerp dat mensen al heel lang fascineert. Het verhaal gaat dat het in de westerse wereld begon met de herdersjongen Magnus in een gebied dat nu Turkije is. Het viel hem op dat de spijkers waarmee de zool aan zijn schoenen vast was gemaakt bleven plakken aan een steen. Deze steen oefende dus een aantrekkingskracht uit op de spijkers. Tegenwoordig noemen we deze steen magnetiet, het is de sterkste in de natuur voorkomende magneet.

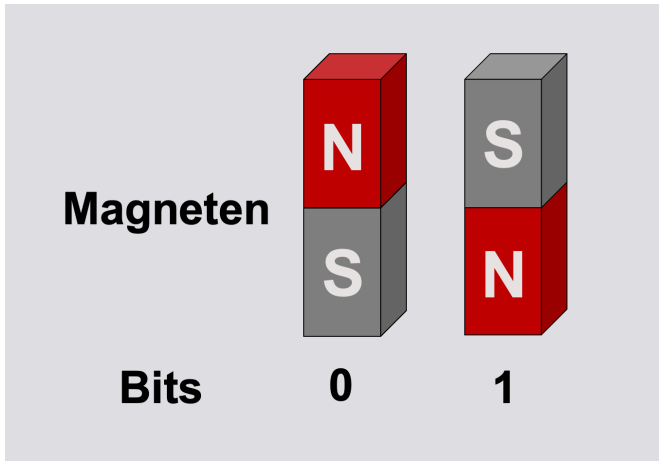
Wat onderzoek aan magnetisme bijzonder maakt is dat toepassingen altijd dicht in de buurt zijn. Bijvoorbeeld in de tijd van Columbus werd het magnetisch kompas gebruikt voor navigatie. Ook in onze tijd worden magneten heel veel gebruikt. Een van de belangrijkste toepassingen is het opslaan van digitale gegevens. Het opslaan van gegevens gebeurt heel erg veel, denk bijvoorbeeld aan hoeveel foto's je zelf alleen al op je telefoon hebt opgeslagen. En vaak worden deze foto's gedeeld via social media. Dit betekent dat de foto van je telefoon wordt gekopieerd naar de computers van een social media bedrijf. Deze computers staan in enorme hallen, vele voetbalvelden groot, vol met rijen computers. Dit zijn de datacenters, ze vormen het geheugen van het internet. En dat geheugen bestaat uit magneten.



Alle gegevens op het internet staan ergens opgeslagen, zoals bijvoorbeeld in dit datacenter van Google in Iowa, USA. (Foto: Chad Davis)

Je kan je afvragen waarom deze datacenters zo groot moeten zijn. Dit komt onder andere omdat computers gebaseerd zijn op hele eenvoudige principes. Zo werkt een computer niet zoals mensen met het decimale getallenstelsel (1-10), maar met binaire getallen. In het engels heten dit *binary digits*, dat wordt afgekort met 'bits'. Iedere bit heeft slechts twee waarden: 0 of 1. Magneten kunnen worden gebruikt voor het opslaan van bits omdat magneten een richting hebben: de bekende noordpool en zuidpool. Bijvoorbeeld, als de noordpool van de magneet omhoog is gericht dan geeft hij een 1 aan. Is de noordpool omlaag, dan is het een 0. Omdat je één magneet nodig hebt

om een enkele bit op te slaan, zijn er dus ontzettend veel magneten nodig om digitale informatie uit ons dagelijks leven op te slaan. Als je bijvoorbeeld een eenvoudige selfie maakt met je telefoon vraagt het al gauw 24 miljoen magneetjes. In 2022 is de grootte van een gemiddelde harde schijf zo'n 10 terabyte, dat zijn 80 biljoen (80.000.000.000.000) magneetjes! Bedenk dan dat in de grootste datacenters van Nederland meer dan 10.000 computers staan, met allemaal een harde schijf. Kortom, magneten worden echt heel veel toegepast.

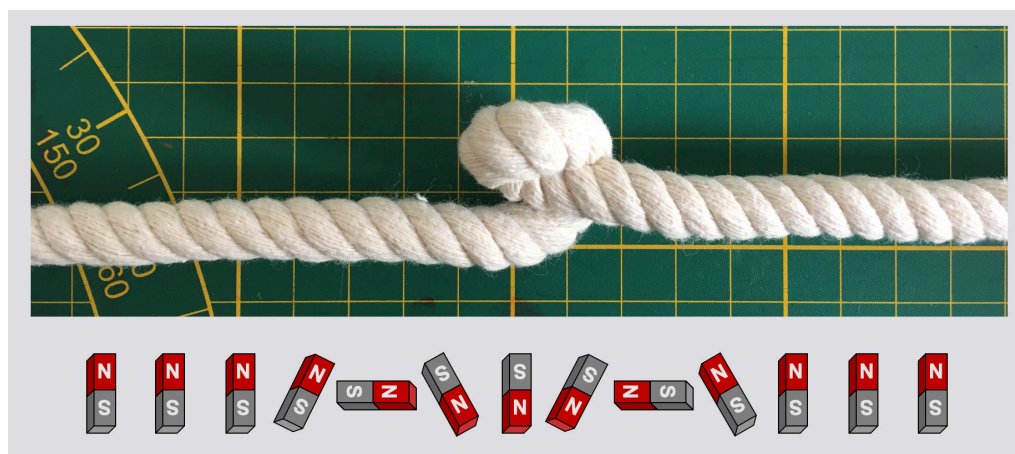


De enorme hoeveelheden data die allemaal worden verwerkt en opgeslagen zorgen ook voor problemen. Zo wordt het in een datacenter heel erg warm, waardoor er heel veel koeling nodig is. De airconditioning van een datacentrum is daarom een cruciaal onderdeel en dit kost erg veel energie. Omdat de vraag naar data steeds verder toeneemt, zoeken mensen naar manieren om data steeds sneller op te slaan, steeds kleinere magneetjes te gebruiken en daarbij steeds minder energie te verbruiken. Steeds sneller, kleiner en energiezuiniger is echter niet makkelijk. De harde schrijf technologie is gebaseerd op principes die meer dan vijftig jaar geleden zijn bedacht en die vervolgens door de industrie helemaal zijn doorontwikkeld. Het kan in principe nog wel iets verder ontwikkeld worden, maar om het zowel sneller en kleiner als energiezuiniger te maken en daarin echt grote sprongen te maken ontbreekt simpelweg de kennis.



Om te begrijpen waarom het zo moeilijk is om hele kleine magneten te maken, helpt het om je te realiseren dat een magneet binnenin bestaat uit allemaal kleine magneetjes. Als al deze magneetjes dezelfde kant opwijzen, heeft de magneet de grootste kracht en is deze het meest stabiel. Maak je de grote magneet kleiner, dan wordt de magneet zwakker en minder stabiel. Omdat er minder magneetjes zijn, oefenen ze een kleinere kracht op elkaar uit, waardoor ze minder op hun plek gehouden worden en ze een klein beetje draaien. Maak je de grote magneet nog kleiner dan kunnen de kleine magneetjes alle kanten op draaien. De magneet is instabiel geworden en heeft geen magnetische kracht meer. Hij valt als het ware uit elkaar in allemaal losse magneetjes. Met een te kleine magneet kan je daarom geen gegevens meer opslaan, want er is geen goed bepaalde noord- en zuidpool meer.

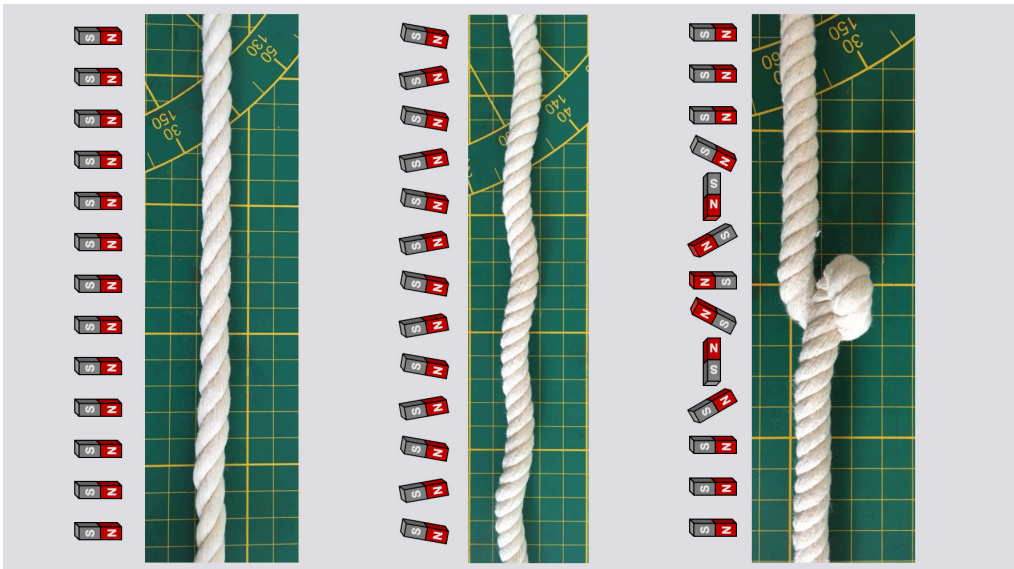
Onderzoekers werken aan verschillende manieren om dit probleem op te lossen. Één manier is natuurlijk om naar nieuwe materialen te zoeken, of slimme combinaties van materialen, waarmee je wel hele kleine magneten stabiel kan maken (dus kunt zorgen dat de magneetjes binnenin zoveel mogelijk dezelfde kant op wijzen). Je probeert dan dus nieuwe soorten magneten te ontdekken. In ons onderzoek proberen we het probleem echter op een hele andere manier te op te lossen. In plaats van de grote magneet zelf steeds kleiner te maken, kijken wij of we de structuur van de kleine magneetjes in de grote magneet kunnen veranderen. We gebruiken daarvoor skyrmions: dat zijn knopen binnenin een magneet (zie Achtergrondinformatie 'Oorsprong van het woord skyrmion'). Wel of geen knoop in de magneet, geeft aan dat daar een 0 of een 1 is opgeslagen. In ons onderzoek hebben we ontdekt dat skyrmions zich heel snel kunnen vormen, tot wel 1000x sneller dan tot nu toe voor mogelijk werd gehouden.



Een 'skyrmion' is een draaiend patroon binnenin een magneet. In zo'n magnetische knoop wijzen de magneetjes precies de andere kant op dan in de rest van de magneet. (Afbeelding: Johan Mentink en Naomi Mentink)

Maar wat is een skyrmion nou precies? Een magnetische knoop is geen fysieke knoop zoals je die in een touw kunt leggen, want het is nog steeds een hard materiaal dat je niet makkelijk kan buigen. Maar het is wel een soort draaiend patroon van de kleine magneten binnenin de magneet. In het midden van dit draaiende patroon staan de magneetjes op zijn kop (zie afbeelding). Dit kun je voorstellen door naar een strakgedraaid touw te kijken. De richting van het touw is binnenin de "knoop" helemaal omgedraaid. In de magneet werkt dit net zo: buiten de knoop wijzen alle kleine magneetjes dezelfde kant op. Van de rand tot het midden van de knoop draaien de magneetjes steeds verder

zodat ze in het midden van de knoop precies de andere kant op wijzen. In het midden van de knoop heb je dus een heel klein stukje magneet omgedraaid. Zo'n knoopje kun je heel erg klein maken. Om te begrijpen hoe dat werkt kijken we weer naar het touw. Als je een kort stukje touw zou afknippen om het op z'n kop te leggen, dan zou het helemaal ontrafelen. Je houdt dan niets dan losse draadjes over. Maar als je dezelfde lengte touw gebruikt om een knoopje te leggen dan lukt het wel om het stukje touw omgedraaid te houden, omdat de rest van het touw de verschillende draden op hun plaats houdt. Dit werkt eigenlijk net zo in de magneet. In de skyrmion staat het magneetje in het midden precies op zijn kop. De magneet valt niet uit elkaar door de magnetische krachten van alle andere magneetjes in de magneet. En net als knopen in een touw haal je de skyrmion er niet zomaar weer uit. Zo kun je hele kleine en toch stabiele bits schrijven, bijvoorbeeld 0 buiten de knoop en 1 in de knoop.



Als je een gespannen touw steeds strakker draait, dan ontstaat er een knoopje. Door draaikracht uit te oefenen op een magneet, kan er een skyrmion ontstaan. (Afbeelding: Johan Mentink en Naomi Mentink)

Hoe kun je zo'n skyrmion in een magneet leggen? Ook dit kan je begrijpen uit de analogie met het touw. De gewone magneet waarin alle kleine magneetjes dezelfde kant op wijzen kan je vergelijken met een touw dat helemaal strak gespannen is. Bij een touw is dit de trekkracht die je er van buiten oplegt, bijvoorbeeld door er zelf aan beide kanten aan te trekken. Bij een magneet is dit juist een interne magnetische kracht, die ervoor zorgt dat alle kleine magneetjes dezelfde kant op wijzen. Feitelijk is dit de kracht die magneten magnetisch maakt.

Om een knoop te leggen moet je naast de trekkracht die alles recht wil houden ook een draaikracht toevoegen. De draaikracht zorgt ervoor dat naburige magneetjes gedraaid of zelfs loodrecht ten opzichte van elkaar gaan staan. Een sterke trekkracht en een zwakke draaikracht zorgt voor een lichte golfing in het touw. Hetzelfde gebeurt in de magneet. Er ontstaat een soort spiraalvorm van de kleine magneetjes. Wordt de draaikracht nog sterker, dan zijn er ook knopen mogelijk. In een touw zie je dit als plekken waar het touw om zichzelf heen draait (zie afbeelding). Ook in magneten met zowel trek- als draaikrachten kan je magnetische knopen creëren. Niet iedere magneet heeft

de juiste verhouding tussen trek- en draaikrachten om magnetische knopen te bestuderen. Vaak zijn de draaikrachten bijvoorbeeld veel te zwak. Collega-onderzoekers hebben echter magnetische materialen gemaakt door ze laag voor laag op elkaar te laten groeien. Iedere laag op zich heeft geen voldoende sterke draaikracht, maar de combinatie van de laagjes wel.

Dat dit soort magnetische knopen kunnen bestaan is al langer bekend. Maar om dit te gebruiken om een bit op te slaan, is het belangrijk dat je de knoop er snel in kunt leggen, maar ook weer snel kunt uithalen. Hoe is dat mogelijk als deze knopen heel stabiel zijn? Het lijkt inderdaad bijna ondoenlijk om dit te realiseren, maar dat maakt het voor onderzoekers natuurlijk net een leuke uitdaging. Wij hebben ontdekt dat als je een magneet heel snel laat trillen, in ons geval door hem snel te verwarmen, dat je de magneet dan in een toestand kan brengen waarin die spontaan skyrmions vormt (dus: zichzelf in de knoop gaat leggen). Iets dat in evenwicht niet kan, kan dus buiten evenwicht wel (zie Achtergrondinformatie 'Stabiliteit en evenwicht')! Voor ons onderzoekers was dit een geweldige ontdekking, het gebeurt niet iedere dag dat je een nieuwe toestand van een magneet ontdekt.

Omdat de skyrmions zo klein zijn en zich zo snel vormen, kan je ze alleen met hele korte pulsen van de meest heldere Röntgenstraling zien. In ons onderzoek maken we veel gebruik van simulaties: berekeningen met computermodellen van magneten. We gebruiken de computer als een soort grote rekenmachine. Het model is maar een benadering van de werkelijkheid, maar de computer kan van dat model wel alle antwoorden berekenen. Daardoor kunnen we veel beter begrijpen hoe een magneet zich ver uit evenwicht gedraagt en hoe skyrmions zich daarbij spontaan kunnen vormen. Door de nieuwste experimenten te combineren met de simulaties konden we ontdekken hoe snel je een magneet in de knoop kan leggen. We hebben nu dus een manier gevonden waarop je hele kleine stukjes van een magneet heel snel om kan draaien. Dit is een veelbelovende stap in de richting van zowel kleinere en snellere dataopslag. Om dat te bereiken is echter nog veel meer onderzoek nodig, zeker om een manier te vinden om het ook nog veel energiezuiniger te doen (nu warmen we de magneet immers heel snel op om hem uit evenwicht te brengen, kan het ook zonder opwarmen?). Als dat lukt, kan het misschien over enkele decennia de basis worden van het geheugen van het internet. Sowieso levert het prachtige nieuwe kennis op en leiden we met dit onderzoek studenten op die met hun kennis ook op andere manieren heel belangrijk zijn voor de maatschappij.

ACHTERGRONDINFORMATIE

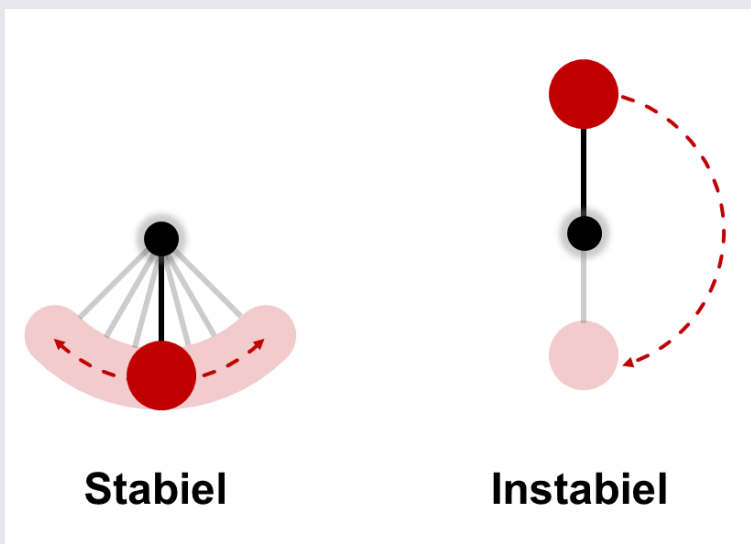
Oorsprong van het woord skyrmion

Het woord skyrmion is vernoemd naar de natuurkundige Tony Skyrme. In dit hoofdstuk gaat het over de magnetische skyrmion, maar Skyrme ontdekte de deeltjes die nu skyrmions worden genoemd in 1961 in een heel ander gebied van de natuurkunde, bij theoretisch onderzoek naar deeltjes waaruit de kern van atomen is opgebouwd. Het woord skyrmion is een samenvoegsel van "**skyrme**" en "**ion**". Het geven van een naam aan een deeltje kennen we van het elektron. Dit is het kleinste elektrisch geladen deeltje. Het is een samenvoegsel van "**elektrisch**" en "**ion**". Dit deeltje werd echt "ontdekt", daarvoor hadden onderzoekers nog geen bewijs voor het bestaan van zoiets als "kleinste deeltjes". Later zijn er veel meer "kleinste deeltjes" ontdekt, die allemaal het achtervoegsel "on" of "ion" kregen. Het elektron is bijvoorbeeld onderdeel van een hele familie van deeltjes die "fermions" worden genoemd, naar de beroemde natuurkundige en Nobelprijswinnaar Enrico Fermi. Een andere familie van deeltjes zijn de "bosonen", vernoemd naar Satyendra Nath Bose, een Indiase natuurkundige. Een skyrmion is geen echt "kleinste" deeltje zoals het elektron, maar een soort knoop die zelf bestaat uit verschillende "kleinste deeltjes". Omdat je de knoop er niet zomaar uit krijgt, gedraagt deze knoop van deeltjes zich in heel veel opzichten toch als een "echt" kleinste deeltje. Daarom zijn onderzoekers deze knopen "skyrmions" gaan noemen.

Stabiliteit en evenwicht

Wat is het verschil tussen stabiel en instabiel en wat is evenwicht versus niet-evenwicht? Hiervoor kijken we naar het voorbeeld van de slinger. Een slinger heeft twee standen: een stand onderin, waarin deze zich meestal bevindt. Geef je een klein tikje tegen de slinger dan zal deze zal gaan slingeren rond deze stand en uiteindelijk weer onderin eindigen. Deze onderste stand is dus stabiel.

Daar tegenover staat de stand precies boven het ophangpunt. In theorie kan de slinger hier ook stil blijven staan. Echter, een klein tikje en de slinger zal door de zwaartekracht direct naar beneden slingeren en uiteindelijk in het onderste punt eindigen. De bovenste stand van de slinger is dus instabiel.



Met een beetje geduld kun je een slinger omhoog laten balanceren. Geef je een klein tikje, dan valt de slinger weer naar beneden. Je noemt de stand omhoog daarom instabiel, terwijl de stand naar beneden stabiel is. (Afbeelding: Johan Mentink en Naomi Mentink)

Als je hierover nadenkt, denk je waarschijnlijk dat de bovenste stand van de slinger altijd instabiel is, maar dat is niet waar. Dit geldt alleen als het systeem waarin de slinger zich bevindt in evenwicht is. Met evenwicht bedoelen we dan dat de eigenschappen van de slinger vast zijn. Dus de lengte en het gewicht zijn constant, het ophangpunt zit vast, er staat geen wind die de slinger in beweging kan brengen, de slinger hangt in een omgeving met een vaste temperatuur, etcetera. Als je een of meerdere van deze dingen verandert, dan is het evenwicht van het systeem verstoord. Als je bijvoorbeeld het ophangpunt van een slinger heel snel laat trillen, dan is het plotseling wel mogelijk om de slinger stabiel rechtop te laten staan. Of preciezer, als de snelheid waarmee de slinger slingert langzamer is dan de snelheid waarmee het ophangpunt beweegt, dan zorgt het trillen ervoor de slinger niet naar beneden zal vallen. Op een vergelijkbare manier werkt het met skyrmions. Normaal lukt het niet om de magneet snel van een stand zonder skyrmion naar een stand met skyrmion te krijgen. Maar als je de magneet heel snel laat trillen, dan gaat de magneet zichzelf heel snel in de knoop te leggen. Uit evenwicht zijn dingen mogelijk die normaal niet kunnen!

Verder lezen, kijken en luisteren

Video's WKRU

- Videoportret Johan Mentink bij uitreiking Radboud Science Awards 2021 [🔗](#)
- Lezing voor kinderen door Johan Mentink bij uitreiking Radboud Science Awards 2021 [🔗](#)
- Lezing voor leraren door Johan Mentink bij de Winterschool 2023 [🔗](#)

Meer informatie over magnetisme

- Filmpje van Willem Wever over hoe een magneet werkt [🔗](#)
- Filmpje van Het Klokhuis over het magnetisme van de aarde [🔗](#)
- Filmpje van Full Proof met allerlei proefjes [🔗](#)
- Hoofdstuk 3 *Magneten* uit boek 8 van deze boekenreeks gaat over hoe magneten werken en welke invloed licht hierop heeft [🔗](#)

Meer informatie over data en computers

- Filmpje van het Jeugdjournaal over protesten tegen een nieuw datacentrum [🔗](#)
- Filmpje en opdrachten van Het Klokhuis over het binaire getallenstelsel [🔗](#)
- Filmpje van NEMO Kennislink over hoe een computer werkt [🔗](#)
- Animatie van NTR over het digitaal opslaan van informatie [🔗](#)

4.2 Onderzoek naar magnetische knopen de klas in!

Radboud Science Team 'Magnetische knopen'

Deze paragraaf beschrijft hoe je in de klas een project onderzoekend leren kunt opzetten bij het thema 'Magnetische knopen'. Je vindt hier diverse activiteiten voor de 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 de snelste en kleinste magneten 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 kunnen gebruikt worden bij een project onderzoekend leren. Ze zijn dan onderdeel van stap 1 en 2 ('introductie' en 'verkennen'). 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.

Eerder besteedden we in deze boekenreeks aandacht aan het onderwerp 'Magneten'. In boek 8, hoofdstuk 3 schrijven prof. dr. Alexey Kimel en zijn team over het effect van licht op magneten. In dat hoofdstuk ontdek je meer over de eigenschappen van licht als elektromagnetische golf en hoe je met een zeer korte lichtflits de noord- en zuidpool van een magneet kunt omdraaien. Je vindt er activiteiten over het zichtbaar maken van magnetische krachtlijnen, het bestuderen van de polarisatie van licht en het maken van een eigen kompas of elektromagneet. Activiteit 1 uit het huidige hoofdstuk is een variant op activiteit 2 van het project van Alexey Kimel. Verder is er geen overlap tussen beide projecten.



Introductie

De activiteiten van dit thema zijn zo ontworpen dat ze samen een escaperoom vormen, te herkennen aan dit symbool . De escaperoom start met een introductievideo , waarin onderzoeker Johan Mentink vertelt over problemen in een datacentrum en hij de leerlingen om hulp vraagt. Tijdens deze introductiefase komen de leerlingen voor het eerst in aanraking met het onderwerp. Het doel is hen te prikkelen en nieuwsgierig te maken naar het onderwerp.

Vervolgens gaan de leerlingen aan de slag met vijf verkennende activiteiten, die hierna staan beschreven. In een race tegen de klok proberen ze het juiste antwoord te vinden. Bij iedere activiteit vinden de leerlingen een of twee letters die samen de oplossing vormen op het escaperoomblad . Wie vindt als eerste de goede oplossing? En wat betekent die oplossing eigenlijk?

Om de escaperoom levendig te maken, zit er in de meeste activiteiten een wedstrijdelement verwerkt. Tijdens de start van de activiteit gaat de klok lopen. Zodra de leerlingen het juiste antwoord hebben gevonden, wordt hun tijd genoteerd. Het groepje leerlingen dat opgeteld de activiteiten in de snelste tijd heeft opgelost wint. Na de activiteiten wordt de escaperoom afgerond met een video  waarin Johan Mentink uitleg geeft over de oplossing.

Basisschool de Gazelle heeft de escaperoom in circuitvorm uitgevoerd. Met geblindeerde ramen en spannende muziek op de achtergrond werd elk lokaal speciaal ingericht naar de sfeer van een activiteit. De leerlingen wisselden vervolgens in rondes tussen de lokalen. Mocht je hier ook voor kiezen, houd er dan rekening mee dat voor de activiteiten 4 en 5 de voorkennis van activiteiten 1, 2 en 3 nodig is.



*In de escaperoom lossen de leerlingen problemen op die zijn ontstaan door het datacentrum van het fictieve 'Hollandse Amazone'.
(Afbeelding: Jimmy Israël)*



Verkennde activiteiten

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 is over het thema en het onderzoek ernaar. 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 4.1 beschreven staat.

Subthema's

Het onderverdelen van het hoofdthema in subthema's kan leerlingen helpen om 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:

- Noord- en zuidpool
- Informatie opslaan
- Magnetische knopen
- Stabiliteit

ACTIVITEIT 1: ZWAKKE EN STERKE MAGNETEN

Leerlingen onderzoeken de kracht van het aantrekken en afstoten tussen magneten en ontdekken dat deze kracht een richting heeft.

Subthema

Noord- en zuidpool

Doelen

- Leerlingen leren dat de kracht van het aantrekken en afstoten tussen twee magnetische voorwerpen magnetisme is.
- Leerlingen leren dat niet alle magneten even sterk zijn.
- Leerlingen leren dat magneten twee verschillende polen en daarmee een richting hebben.

Duur

45 minuten

Werkvorm

Twee- of drietallen is ideaal, als benodigdheden de beperkende factor zijn dan zijn grotere groepjes ook prima

Benodigdheden

🔗 Timer op digibord

Per groepje:

- 6 magneten van verschillende vormen, groottes en sterktes. Het is handig als minstens 1 magneet een gemarkeerde noord- en zuidpool heeft, deze is namelijk ook nodig voor activiteit 3.
- 6 stickertjes om de magneten mee te labelen
- Verschillende magnetische materialen (materialen die door een magneet worden aangetrokken), waaronder in ieder geval een paperclip, verder bijvoorbeeld jampotdeksels, schroefjes, etc.
- Verschillende niet-magnetische materialen zoals karton, plastic, plexiglas, blik, aluminium, etc.
- Liniaal
- Papier om aantekeningen te maken
- Werkblad 'Zwakke en sterke magneten' 🕒
- 🔗 Codeblad 'Zwakke en sterke magneten' 🕒

Vorbereiding

Orden van tevoren de magneten op sterkte. Hoe je dit doet, lees je in de activiteitsbeschrijving hieronder. Geef iedere magneet een sticker en schrijf hierop de juiste letter met behulp van de tabel.

🔗 Deze code geeft het juiste antwoord op het codeblad.

C	D	B	E	A	F
Minst sterk	◀.....▶				Meest sterk

Activiteit**Ronde 1**

Geef ieder groepje de zes magneten en de magnetische en niet-magnetische materialen. Het is de bedoeling dat de leerlingen de eigenschappen van magneten gaan ontdekken door vrij te experimenteren. Laat ze dus zelf bepalen wat ze doen en hoe ze dit doen. Mochten leerlingen niet goed weten wat ze moeten doen, dan kun je ze op weg helpen met een idee, bijvoorbeeld testen of de magneten elkaar aantrekken of juist afstoten, welke materialen magnetisch zijn of dat er materialen zijn die de kracht van magneten kan tegenhouden. Bespreek deze ronde kort na: wat hebben de leerlingen ontdekt? Zorg dat de leerlingen in ieder geval weten dat een magneet een noord- en zuidpool heeft. Dezelfde polen stoten elkaar af, verschillende polen trekken elkaar aan.

Ronde 2

In de tweede ronde onderzoeken de groepjes welke magneet het sterkst is. Geef de groepjes het werkblad, de zes gelabelde magneten en een paperclip.

8 → Start voor de escaperoom de timer op het digibord en laat alle leerlingen tegelijk beginnen aan de opdracht.

Nadat de leerlingen hun voorspellingen hebben opgeschreven over welke magneet het sterkst en welke het zwakst is, laat je ze zelf nadenken hoe ze gaan bepalen wat de volgorde van sterkte is. Lukt dit niet, dan kun je ze de volgende proefopstelling geven: laat de leerlingen een liniaal op een vel papier leggen. Ze zetten een potloodstreepje naast de 0 van de liniaal en leggen hier de paperclip. Aan het andere uiteinde van de liniaal leggen ze een magneet. De leerlingen meten vervolgens de sterkte van de magneet door deze langzaam langs de liniaal te schuiven en te kijken vanaf welke afstand de paperclip begint te bewegen. Op die afstand zetten ze een tweede streepje op het papier.



Een groepje leerlingen van de Gazelle onderzoekt vanaf welke afstand deze magneet de paperclip aantrekt. (Foto: Jimmy Israël)

De leerlingen schrijven hun gemeten afstanden in de tabel en kunnen eventueel met de gegevens die ze hebben gevonden een staafdiagram maken. Zijn hun voorspellingen uitgekomen?

➡ De letters op de magneten vormen de code die de leerlingen nodig hebben voor het codeblad. Als een groepje denkt het goede antwoord te hebben, dan kunnen ze dit bij jou controleren en schrijf je de behaalde tijd op hun escaperoomblad.

Afronding

Als ieder groepje de antwoorden heeft gevonden, bespreek je de activiteit klassikaal na. Hebben de leerlingen in ronde 1 ontdekt welke materialen de kracht van een magneet kunnen tegenhouden? Is er een verschil tussen magnetische en niet-magnetische materialen? Zijn de voorspellingen van de leerlingen in ronde 2 uitgekomen? Wat was er anders dan verwacht? Kunnen de leerlingen dit verklaren? Leg uit dat het niet zo hoeft te zijn dat de grootste magneet ook de sterkste is. De kracht van een magneet hangt namelijk ook af van het materiaal waar die van gemaakt is. Zijn er groepjes die nog andere bijzondere dingen hebben ontdekt? Hoe zou je die kunnen verklaren?

Verbinding met het thema

Magneten zijn materialen die van zichzelf een kracht in zich hebben. Deze kracht kan je niet met het blote oog zien, maar het effect ervan kan je wel voelen. Zo hebben jullie gemerkt dat twee verschillende magneten elkaar kunnen aantrekken en afstoten. Of ze elkaar aantrekken of afstoten, hangt af van welke richting de magneten op wijzen. Een magneet heeft namelijk twee polen. Deze worden noordpool en zuidpool genoemd, net zoals de aarde een noordpool en zuidpool heeft. Twee gelijke polen stoten elkaar af, maar twee verschillende polen trekken elkaar aan. Een magneet kan ook andere materialen aantrekken, zoals sommige metalen. De kracht van de magneet hangt dus af van het soort materiaal. Sommige kleine magneten zijn daardoor veel sterker dan andere magneten die veel groter zijn. Magneten van neodymium zijn daar een voorbeeld van. De kracht van een neodymium magneet kan zelfs zo sterk zijn, dat je hem niet meer met je handen los kunt krijgen van ijzer. Vanwege hun unieke eigenschappen hebben magneten veel toepassingen. Je kunt ze bijvoorbeeld gebruiken om (grote) voorwerpen mee op te tillen. Magneten hebben ook iets magisch, ze bestaan al heel lang en steeds verrassen de eigenschappen ons weer.

Tips

- Magneten van het materiaal neodymium zijn erg sterk, dus deze kunnen een goede keuze zijn om meer variatie in sterkte te creëren.
- Het werkt erg goed om een papieren liniaal te gebruiken, bijvoorbeeld van de Ikea of de Gamma.

ACTIVITEIT 2: MAGNETISCHE BITS

Leerlingen leren dat magneten kunnen worden gebruikt voor dataopslag. Ze gebruiken een binaire puzzel om de link te leggen tussen de richting van de magneet en een binair getal.

Subthema's

- Noord- en zuidpool
- Informatie opslaan

Doelen

- Leerlingen leren dat computers maar twee getallen gebruiken (0 en 1).
- Leerlingen leren dat magneten twee standen hebben (noordpool omhoog/omlaag).
- Leerlingen ontdekken dat de richting van de magneet gebruikt kan worden voor dataopslag.

Duur

30 minuten

Werkvorm

In twee- of drietallen

Benodigheden

🔗 Timer voor op het digibord

Per groepje:

- Puzzel 'Magnetische bits' 🕒
- 🔗 Codeblad 'Magnetische bits' 🕒

Vorbereiding

Print de puzzel voor ieder groepje op A3-formaat.

Activiteit

Herinner de leerlingen eraan dat ze in activiteit 1 'Zwakke en sterke magneten' hebben ontdekt dat magneten elkaar kunnen aantrekken, maar ook afstoten. Dit komt omdat iedere magneet twee polen heeft, een noord- en een zuidpool. Vertel dat computers ook veel gebruik maken van magneten. De taal die computers gebruiken bestaat namelijk uit niets anders dan nullen en enen. En deze nullen en enen worden in het geheugen van een computer opgeslagen met behulp van kleine magneetjes. De stand van de magneet wordt dan bepaald door de richting waarin de polen wijzen. Als de noordpool omhoog wijst, geeft de magneet 1 aan. Als de zuidpool omhoog wijst, juist een 0. Dit worden magnetische bits genoemd (afkorting van het Engelse *binary digits*). Met deze nullen en enen heb je genoeg om alle mogelijke complexe informatie op te slaan die je maar wilt. Je kunt hiermee namelijk een soort geheimschrift maken waarmee je alle woorden kunt maken, maar ook alle programmeertaal die nodig is om een computer te laten draaien.

🔗 Start voor de escaperoom de timer op het digibord. Laat de leerlingen in twee- of drietallen de puzzel oplossen. Als een groepje vastloopt, kun je ze een tip geven. Het is de bedoeling dat ze eerst met behulp van de twee spelregels het raster invullen. Daarna tekenen ze op de stippellijntjes nog vier magneten. Het cijfer boven elke kolom geeft aan welk vakje bepaalt of bij de magneet de

noordpool omhoog staat (als het vakje een 1 heeft), of dat de zuidpool omhoog staat (als het vakje een 0 heeft). Dit is waar de hint op de puzzel naar verwijst.

➡ Als het groepje een oplossing heeft gevonden, geef je ze het codeblad waaruit ze de letter voor deze activiteit kunnen halen. Als ze de goede letters hebben gevonden, controleren ze dit bij jou en schrijf je hun tijd op het escaperoomblad.



Leerlingen van de Gazelle zijn druk aan het puzzelen. (Foto: Jimmy Israël)

Afronding

Bespreek de puzzel na. Hoe vonden de leerlingen het om te doen? Was het moeilijk of niet? Hebben de leerlingen de link tussen 0/1 en de richting van de magneet ontdekt?

Verbinding met het thema

Magneten worden heel veel gebruikt voor dataopslag. Een eenvoudige foto opslaan kost bijvoorbeeld al snel 24 miljoen bits. Dat betekent 24 miljoen magneetjes. Een gewone harde schijf bevat daarom biljoenen magneetjes (1 biljoen = 1000 miljard = 1 miljoen x 1 miljoen). Met een smartphone heeft iedereen tegenwoordig een camera op zak en daardoor produceren we steeds meer foto's en filmpjes. Daarom is er veel vraag naar manieren om gegevens veel sneller en op steeds kleinere magneetjes op te slaan zodat het minder ruimte inneemt. Bovendien kost al die opslag heel erg veel energie. Dus het moet ook steeds energiezuiniger. Het liefst sneller, kleiner en zuiniger tegelijk. Maar dat is heel erg moeilijk en we lopen tegen de grenzen van onze kennis aan. Daarom is onderzoek nodig, zodat we nieuwe kennis ontwikkelen en voorbij de problemen van vandaag kunnen kijken.

ACTIVITEIT 3: MAGNETEN OPLIJNEN EN OMPOLLEN

Leerlingen ontdekken dat ze een voorwerp zoals een naald en een spijker magnetisch kunnen maken door er met een magneet langs te strijken. Op deze manier worden alle kleine magneetjes in het voorwerp opgelijnd: ze wijzen dezelfde kant op. Door de magneet om te draaien, ontdekken de leerlingen dat je het voorwerp vervolgens kunt ompolen.

Subthema

Noord- en zuidpool

Doelen

- Leerlingen leren dat magneten bestaan uit allemaal kleine magneetjes.
- Leerlingen leren een metalen naald en/of spijker magnetisch maken.
- Leerlingen leren een magneet ompolen.

Duur

45 minuten

Werkvorm

In twee- of drietallen

Benodigdheden

-  Timer op digibord
- Filmpje van SchoolTV over de werking van magneten 
- PowerPointpresentatie 'Magnetische deeltjes' 

Per groepje:

- Magneet waarvan de noord- en zuidpool gemarkeerd is
- Twee naalden (standaard stalen naalden voldoen, een plastic naald niet)
- Twee spijkers (de standaard spijker van verzinkt staal voldoet, spijkers van roestvrijstaal, aluminium of edelmetaal niet)
- Werkblad 'Oplijnen en ompolen' 

Activiteit

Deel 1: Een spijker 'oplijnen'

Begin de activiteit met een filmpje  van SchoolTV over de werking van magneten. Vertel dat de leerlingen gaan onderzoeken hoe je met een magneet een ander voorwerp magnetisch kunt maken, in dit geval een spijker. Om dit voor elkaar te krijgen, zullen ze de spijker moeten 'oplijnen'. Ze strijken dan met de punt van de spijker steeds langs dezelfde pool van de magneet. Laat ze dit vervolgens in tweetallen proberen. Geef ieder tweetal hiervoor naast de magneten ook een spijker en een naald. In deze fase is het prima om ze weer een beetje te laten aanrommelen. Mochten de leerlingen niet goed weten wat ze moeten doen, dan kun je ze op weg helpen. Laat ze twintig keer langzaam met de punt van de spijker langs de noordpool van de magneet strijken. De noordpool is meestal aangegeven met rood. Is de spijker hier magnetisch van geworden? Hoe kun je dat zien? Lukt het ze bijvoorbeeld om de naald op te pakken met de spijker?



Leerlingen van de Gazelle onderzoeken of het ze is gelukt om een naald magnetisch te maken. (Foto: Jimmy Israël)

Deel 2: Ompolen van een magneet

Geef ieder tweetal het werkblad, de twee magneten, twee spijkers en twee naalden.

🔑 Start voor de escaperoom de timer op het digibord.

De leerlingen gaan nu met twee opdrachten onderzoeken of het uitmaakt op welke manier je de spijker of naald oplijnt. In de eerste opdracht is het de bedoeling dat de leerlingen een naald en spijker oplijnen. Ze strijken 20 keer met de punten van de naald en de spijker langs de noordpool van de magneet. Vervolgens onderzoeken ze welke kanten van de spijker en naald elkaar aantrekken. Het is handig om een spijker en naald te gebruiken met twee duidelijk verschillende kanten (punt en platte kop van de spijker, punt en oog van de naald).

In de tweede opdracht lijnen ze de tweede naald en de tweede spijker nog een keer op, alleen nu draaien ze de spijker om. Deze keer strijken ze met de platte kop van de spijker langs de noordpool van de magneet. Vervolgens testen ze nog een keer welke kanten van de spijker en de naald elkaar aantrekken. Door de spijker om te draaien, wordt de spijker 'omgepoold'. De polen van de spijker zitten daardoor aan de andere kant.

Maak duidelijk dat de leerlingen er bij deze opdrachten op moeten letten dat ze de spijkers en naalden niet moeten laten vallen en ook niet te lang moeten laten liggen voor ze hun experiment uitvoeren. De magnetische eigenschappen kunnen namelijk verdwijnen als de spijker of naald een stootje krijgt. Ook werkt het oplijnen maar kort. De spijker of naald zal na een korte tijd weer terug gaan naar de normale, niet-magnetische staat.

➡ Beide opdrachten geven de leerlingen een letter voor het escaperoomblad. Als een groepje denkt het goede antwoord te hebben, dan kunnen ze dit bij jou controleren en schrijf je hun tijd op.

Afronding

Bespreek klassikaal na wat de leerlingen hebben ontdekt in de verschillende opdrachten. Vraag de leerlingen hoe ze denken dat het komt dat in de tweede opdracht de aantrekking tussen de spijker en de naald werd omgedraaid. Leg uit dat dit komt doordat ze de spijker hebben 'omgepoold'. Bij de eerste opdracht streken de leerlingen met de *noordpool van de magneet* van de kop van de spijker naar de punt. Daardoor richten de magnetische deeltjes binnenin de spijker allemaal met hun zuidpooltje naar de punt, zoals je kunt zien in de eerste dia van de PowerPointpresentatie. Omdat de hoofdletter N erg lijkt op de hoofdletter Z, wordt de zuidpool op de magneetjes aangeduid met een 'S' van het Engelse 'south'. In de tweede opdracht streken de leerlingen juist met de *zuidpool van de magneet* langs de spijker waardoor de magnetische deeltjes binnenin andersom gingen liggen, met de noordpooltjes naar de punt gericht. En dus eindigden de noord- en zuidpool van de spijker daardoor aan de andere kant. Dit kun je laten zien met de tweede dia.

Verbinding met het thema

Magneten bestaan uit allemaal kleine magneetjes, maar dit kan je met het blote oog niet zien. Toch kun je indirect wel aanwijzingen vinden voor het bestaan van dit soort kleine magneetjes in de grote magneet. Kijk bijvoorbeeld naar een metalen spijker. Deze is normaal niet magnetisch, maar je kan hem wel magnetisch maken door er een aantal keer met een sterke magneet langs te strijken. Daarmee duw je alle kleine magneetjes in de spijker dezelfde kant op, dit noem je *oplijnen*. Strijk je daarna langs de spijker met de andere pool van de magneet, dan draaien de deeltjes zich weer om. Dit heet *ompolen*.

In de modernste technologie voor magnetische harde schijven worden magneten ook voortdurend omgepoold om informatie op te slaan in magnetische bits. Dit ompolen gebeurt op een vergelijkbare manier als bij de spijker of naald. Een grote sterke magneet duwt de magnetische deeltjes in de magnetische bits allemaal de gewenste kant op. Deze techniek werkt al heel erg goed, maar om aan de toenemende vraag naar meer dataopslag te voldoen moeten magneten steeds kleiner worden gemaakt. Dit betekent dat er per magnetische bit steeds minder magnetische deeltjes zijn. Als dit aantal te klein wordt, lukt het niet meer om de magneet stabiel te houden. De magneet valt als het ware uit elkaar: alle magnetische deeltjes wijzen een andere kant op en kunnen niet meer netjes worden opgelijnd. Je kan dan dus geen informatie meer opslaan. Daarom zoeken wetenschappers en onderzoekers naar andere manieren om toch hele kleine magnetische bits te kunnen maken.

ACTIVITEIT 4: MAGNETEN IN DE KNOOP LEGGEN

Leerlingen leggen knopen in een touw zonder de uiteindes hiervoor te gebruiken. Ze leren dat je hiervoor een trekkende en draaiende kracht gebruikt.

Subthema

Magnetische knopen

Doelen

- Leerlingen leren hoe je magnetische knopen kan voorstellen.
- Leerlingen leren dat je iets moeilijks kan leren begrijpen door het eerst eenvoudiger te maken.
- Leerlingen ontdekken dat tegengestelde draaiingen een touw automatisch in de knoop kan brengen.

Duur

45 minuten

Werkvorm

In twee- of drietallen

Benodigheden

Per groepje:

- Springtouw, of een ander dik touw of koord
- Werkblad 'Magneten in de knoop' 

Activiteit

In activiteit 2 'Magnetische bits' hebben de leerlingen geleerd dat je een magneetje kunt gebruiken om een 0 of een 1 op te slaan in een computer. Als de magneet omhoog staat met de noordpool, dan is het een 1. En als de zuidpool omhoog wijst is het een 0. Leg uit dat dit heel erg goed werkt (alle computers gebruiken magneetjes op deze manier), maar dat het wel nadelen heeft. Want hoewel de magneten die gebruikt worden in een computer al heel erg klein zijn, heb je nog steeds een enkele magneet nodig om een 0 of een 1 te kunnen maken. Dus als je bijvoorbeeld een foto wil opslaan van 2MB, dan heb je daar 16 miljoen magneetjes voor nodig! Daarom wil je steeds kleinere magneetjes gebruiken, maar op zeker moment wordt de magneet zo klein dat het materiaal niet meer magnetisch is. Daarom zoeken onderzoekers ook naar andere manieren om dit aan te pakken. In plaats van de hele magneet om te draaien om te laten zien dat een 0 in een 1 is veranderd, kun je ook een klein knoopje binnenin de magneet leggen. Als er een knoopje in zit, dan is het een 1. Zit er geen knoopje, dan is het een 0. Maar hoe werkt dat nou, een knoopje in een magneet leggen? Om duidelijk te maken hoe dit werkt, gebruiken jullie in deze activiteit touwen in plaats van een magneet.

Verdeel de klas in twee- of drietallen en geef ieder groepje een touw. Vertel dat twee leerlingen het uiteinde van het touw moeten vasthouden en dat ze niet meer mogen loslaten. Ook mogen ze niet van hun plaats af stappen en mag het touw niet geknipt worden. Hiermee simuleren de leerlingen dat de magneet vast zit in de computer, en dat je deze niet stuk kunt maken om de knoop erin te leggen. Laat de leerlingen nu eerst met elkaar onderzoeken of het ze lukt om met deze spelregels een knoop in het touw te leggen.

Als ze het een tijdje hebben geprobeerd geef je de groepjes het werkblad. Ze krijgen de opdracht om in tegengestelde richting aan het touw te draaien tot het touw golvend wordt. Draai in die richting dat het touw strakker wordt opgewonden, anders werkt het niet en ontrafelt het touw. Daarna geeft een van hen een kort 'duwtje' tegen het touw, waardoor het touw heel even minder strak komt te staan. Hierdoor ontstaat er een kleine knoop in het touw, waarin het touw om zichzelf heen is gewikkeld. Vervolgens gaan de leerlingen verschillende eigenschappen van het gedraaide touw onderzoeken. Laat de leerlingen hierbij rollen verdelen: twee leerlingen houden het touw vast, een derde leerling observeert, leest de opdrachten voor en schrijft alle bevindingen op.

➡ Door de vragen te beantwoorden krijgen de leerlingen twee letters die ze kunnen invullen op het escaperoomblad.



Door te draaien aan het touw hebben leerlingen van de Gazelle een knoop in het touw gelegd zonder de uiteindes los te laten. (Foto: Jimmy Israël)

Afronding

Bespreek de activiteit klassikaal na. Wat hebben de leerlingen ontdekt? Hebben de groepjes verschillende antwoorden gevonden? Hoe zou dat komen?

Verbinding met het thema

Om te begrijpen hoe je een magneet in de knoop legt, helpt het om een magneet te vergelijken met een touw waar je aan trekt en aan draait. Door te trekken wordt het touw strakgetrokken; het is dan helemaal recht. Als je het touw vervolgens ook draait ontstaan er eerst golfvormen, die zich door steeds verder te draaien opdraaien tot een knoop. De trekkracht en draaikracht hebben dus verschillende effecten: de trekkracht wil het liefste een helemaal recht touw, de draaikracht wil het liefst een opgerold touw.

In magneten heb je op dezelfde manier te maken met de competitie tussen twee krachten. Dit zijn krachten tussen de magnetische deeltjes in de magneet zelf. Je hoeft dus niet zelf te trekken of te draaien aan de magneet. De "trekkracht" in de magneet zorgt ervoor dat de magnetische deeltjes allemaal in dezelfde richting wijzen. Vervolgens kun je een "draaikracht" toevoegen die ervoor zorgt dat ieder magnetisch deeltje iets gedraaid is ten opzichte van het deeltje ernaast. Heeft een magneet beide krachten, dan kunnen er net zoals in het touw stabiele "knopen" in de magneet ontstaan.

Hoe krijg je een knoop er nu heel snel in? Dit kunnen we ook begrijpen uit het voorbeeld van het touw. Als je hard aan het touw trekt en je draait het een beetje strakker tot je net geen knoop hebt, dan krijg je toch een knoop als je de trekkracht heel kort minder maakt en dan weer aantrekt. De balans tussen de draaikracht en de trekkracht is dan heel even verstoord, waardoor de draaikracht snel een knoop kan leggen. In de magneet wordt de balans tussen de krachten veranderd door de magneet heel snel te verwarmen. Op deze manier kun je dus heel snel een magneet in de knoop leggen.

ACTIVITEIT 5: TRILLENDE SLINGER

Leerlingen bouwen een slinger van lego en gebruiken een elektrische tandenborstel om deze rechtop te laten staan.

Subthema

Stabiliteit

Doelen

- Leerlingen leren het verschil tussen stabiel en instabiel.
- Leerlingen leren over evenwicht en niet-evenwicht.
- Leerlingen leren dat buiten evenwicht dingen mogelijk zijn die anders niet mogelijk zijn.

Duur

45 minuten

Werkvorm

Tweetalen is ideaal, als benodigdheden de beperkende factor zijn dan zijn grotere groepjes ook prima

Benodigdheden

- PowerPointpresentatie 'LEGO bouw instructies' 
-  Timer op digibord
- (Optioneel) Video van een trillende slinger die rechtop staat 

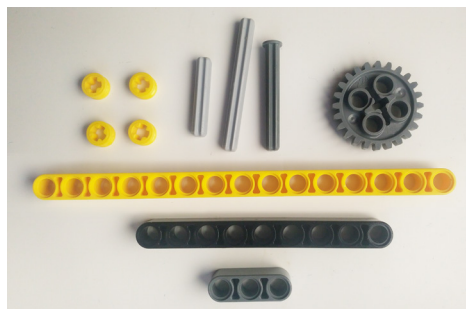
Per groepje:

- Opgeladen elektrische tandenborstel (Sonic tandenborstels en tandenborstels met AA batterijen werken niet voor deze activiteit)
- Setje LEGO-onderdelen  Voor het tandwiel is LEGO-onderdeel 24505 (of 3648b uit de oudere sets) noodzakelijk. Andere tandwielen van hetzelfde formaat (zoals 3648a) passen namelijk niet op de tandenborstel.
-  Codeblad 'Trillende slinger' 

Vorbereiding

Het is handig om van tevoren zelf al te oefenen met het bouwen van de slinger en het rechtop laten staan van de slinger met behulp van de tandenborstel. In de video kun je zien hoe de slinger rechtop staat met behulp van de trillende tandenborstel.

Tip: Zorg dat je de slinger niet blokkeert met een van de uitstekende stokjes. Zorg er ook voor dat de tandenborstels opgeladen zijn aan het begin van de activiteit.



Benodigde LEGO-onderdelen. (Afbeelding: WKRU)

Activiteit

Geef ieder groepje een setje LEGO. Toon de tweede dia van de PowerPoint op het digibord en laat de leerlingen met behulp van de instructies een slinger bouwen. Hierna onderzoeken ze of het ze lukt om deze (*stabiel*) omhoog te laten staan. In theorie is het mogelijk om met heel veel geduld en precisie de slinger rechtop te laten balanceren. Zodra je echter een kleine beweging maakt valt hij weer naar beneden, daarom noem je dit niet stabiel (*instabiel*).

Geef ieder groepje nu ook een elektrische tandenborstel. Toon de derde dia op het digibord en laat ieder groepje opnieuw een slinger bouwen volgens de instructies. Let op: deze is net anders dan de eerste slinger. Daarna mogen ze de tandenborstel aanzetten. Lukt het de leerlingen om de slinger omhoog te laten staan als de tandenborstel aan is? En wat als hij uit is? Geef de leerlingen de verschillende lengtes slingers.

➡ Start voor de escaperoom de timer op het digibord.

Laat de leerlingen onderzoeken met welke lengte(s) het ze lukt om de slinger omhoog te laten staan als de tandenborstel aan staat. Het telt als de slinger na een klein tikje weer terugkomt in de bovenste positie.

➡ Als het groepje heeft bepaald met welke lengtes het lukt om de slinger omhoog te laten staan, geef je ze het codeblad om de letter voor deze activiteit te kunnen bepalen. Als ze een antwoord hebben gekozen kunnen ze dit bij jou laten controleren en schrijf je hun tijd op het escaperoomblad. Als het goed is, hebben de leerlingen ontdekt dat de langste van de slingers niet of slecht rechtop kan blijven staan, terwijl de middellange en korte slingers dat wel doen.



Door de slinger met een tandenborstel te laten trillen, kunnen leerlingen van de Gazelle deze omhoog laten staan. (Foto: Jimmy Israël)

Afronding

Wat hebben de leerlingen ontdekt? Is een langere slinger altijd beter? En hoe zit dat met een hele korte slinger? Vertel dat een slinger twee standen heeft. Hij kan naar beneden hangen, maar hij kan ook rechtop staan naar boven. Als je heel erg je best doet, lukt het ook om de slinger omhoog te laten staan zonder de tandenborstel te gebruiken. Maar hij hoeft maar een zuchtje wind te vangen of een klein stootje te krijgen, en dan valt de slinger weer naar beneden. Je noemt deze stand naar boven daarom '*instabiel*'. De stand naar beneden blijft juist makkelijk bestaan. Zelfs als je er een klein stootje tegen geeft, gaat de slinger toch weer naar beneden hangen. Deze stand naar beneden noemen we '*stabiel*'. De leerlingen hebben ontdekt dat het wel mogelijk is om de slinger rechtop te laten staan als je hem heel snel laat trillen. Door het trillen is de stand omhoog toch stabiel geworden. De lengte van de slinger is daarbij wel belangrijk. Hoe langer de slinger, hoe moeilijker het is om deze met trillingen omhoog te houden.

Verbinding met het thema

De trillende slinger is een voorbeeld van een systeem dat niet in evenwicht is. Door de slinger uit evenwicht te brengen, in dit geval door hem snel te laten trillen, kun je er voor zorgen dat een stand (boven of onder) die normaal gesproken *instabiel* is, toch *stabiel* wordt. Door de trillingen van een elektrische tandenborstel te gebruiken, wordt in deze activiteit de bovenste stand van de slinger dus toch stabiel. Dit werkt eigenlijk op dezelfde manier bij een magneet. Ook een magneet kent meerdere standen, bijvoorbeeld magneet omhoog en omlaag, of magneet met en magneet zonder knoop. De leerlingen hebben al geleerd dat in een magneet normaal gesproken alle magnetische deeltjes dezelfde kant op wijzen. Dit is de stand waarin de magneet '*stabiel*' is. Als je zou proberen om een aantal magnetische deeltjes een andere kant op te laten wijzen, dan worden ze door de magnetische kracht vanzelf weer rechtgetrokken. Maar net als bij de slinger gebeurt er iets bijzonders als je de magneet heel snel laat trillen. Hiervoor gebruik je niet de trillingen van een elektrische tandenborstel, maar hele snelle verhitting waardoor de magnetische deeltjes zelf heel erg gaan bewegen. Op deze manier gaat de magneet *zichzelf* in de knoop leggen! Als de magneet niet in evenwicht is, gedraagt deze zich dus helemaal anders!

Tip

Zorg voor voldoende opladers waarmee je alle tandenborstels voor de activiteit kan opladen.



Ervaringen in de klas

Hieronder vertelt leerkracht Mathijs Zwanenburg van basisschool De Gazelle in Arnhem over zijn ervaringen in de klas.

“Mijn collega’s en ik hebben samen met wetenschapper Johan een project ontwikkeld. Het thema van het project is magnetische knopen en data. Voorafgaand aan het project had Johan leuke en concrete lesideeën bedacht die goed aansloten bij de leefwereld en het denkniveau van de leerlingen. Als leerkracht kon ik concrete inbreng leveren vanuit mijn eigen expertise. Dat maakte de samenwerking erg vlot en prettig. Het was vooral een uitdaging om de vertaalslag te maken van een theoretische, wetenschappelijke publicatie naar concrete activiteiten in het basisonderwijs. We hebben er samen voor gezorgd dat er veel actieve bezigheden waren, waaronder het bouwen van een mechanisme met lego, het ontdekken van magnetisme met magneten en het oplossen van puzzels. Iedere activiteit bevatte een praktische uitdaging voor de leerlingen. Dit beviel de leerlingen erg goed. Vanwege de variatie in de activiteiten konden de leerlingen hun aandacht er goed bij houden en gingen ze ijverig aan de slag. Ook voor mij als leerkracht was het leuk om ondersteuning te bieden tijdens de activiteiten. Dit maakt het voor mij een heel geslaagd project.”



Dr. Johan Mentink legt aan het einde van de projectdag uit hoe de oplossing van de escaperoom te maken heeft met zijn onderzoek. (Foto: Jimmy Israël)

“Wat ik als leerkracht heel leuk vind, is dat het project zich ervoor leent om als projectdag vorm te geven. Hierdoor zijn alle leerlingen een hele dag integraal bezig met het onderwerp. Dit zorgt ervoor dat je echt diep in het onderwerp kunt duiken. Dat is heel leerzaam. Wel vormde het een organisatorische uitdaging om honderd leerlingen tegelijkertijd bezig te houden. Dit was even puzzelen, maar

ook dat werkte uiteindelijk heel goed door middel van een roulatieschema. De projectdag ging van start met een prikkelend filmpje van wetenschapper Johan die aan de leerlingen vragen of ze willen helpen met het oplossen van een probleem. Ook kwam Johan zelf langs op school om theoretische ondersteuning en diepgang te bieden. Dit was een leuke verrassing voor de leerlingen en vormt een waardevolle aanvulling op mijn expertise als leerkracht.”

“Wat de leerlingen onder andere van het project hebben geleerd, is het ontdekken van de rollen die ze kunnen innemen tijdens een samenwerking. Daarnaast leren ze vaardigheden benutten die tijdens de reguliere lessen niet of nauwelijks aan bod komen. Tijdens de reguliere lessen is kennisoverdracht mijns inziens vrij zwart-wit. De leerkracht geeft instructies en de leerlingen voeren deze uit. Tijdens het onderzoekend leren op de projectdag lag er een puzzel klaar en mochten de leerlingen zelf ontdekken wat de bedoeling was. Je ziet heel duidelijk de verschillen tussen de leerlingen tijdens zo’n samenwerkingsopdracht. De leerlingen ontdekken al doende welke rol bij hen past. Sommigen nemen de leiding terwijl anderen de uitvoer doen. Sommigen gaan heel planmatig aan de slag terwijl anderen eerst met de materialen aanrrommelen. De leerlingen leren zo onderzoeken op hun eigen manier. Ook maken de leerlingen gebruik van andere vaardigheden dan tijdens reguliere lessen omdat er andere thema’s aan bod komen.”

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).

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 en uitwisseling met collega-onderzoekers in het vakgebied. Naast deze boekenreeks publiceert het WKRU ook in vaktijdschriften. 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.

Financiers

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 bijdrage hebben geleverd aan 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. De activiteiten kunnen gebruikt worden bij een project onderzoekend leren, waarin de leerlingen in groepjes één vraag formuleren 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 is online beschikbaar via de website www.wetenschapdeklasin.nl. Tevens heeft het WKRU samen met andere partners binnen de Radboud Universiteit en leraren uit het primair en voortgezet onderwijs een leerlijn onderzoeksvaardigheden ontwikkeld. Deze leerlijn laat zien wat leerlingen van een bepaalde leeftijd zouden moeten (kunnen) leren en wat in de lessen aan bod zou kunnen komen. De leerlijn geeft leraren houvast bij het ontwerpen van lessen waarin leerlingen zelf onderzoek doen, zie www.ru.nl/leerlijnpovo.

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. Tevens staan alle thematische hoofdstukken in digitale vorm op deze website.

Thema's per boek

Boek 12	Koning – Past de monarchie nog wel binnen een moderne democratie?
	Kinderen redden – Waarom moesten kinderen in voormalig Nederlands-Indië 'gered' worden?
	Magnetische knopen – Kunnen magnetische knopen helpen bij supersnelle energiezuinige dataopslag? + didactisch hoofdstuk: 'Taal en W&T - hoe combineer je dat?' door dr. Anna Hotze
Boek 11	Geloven – Ontdek hoe religie mensen beïnvloedt in hun denken en doen, en hoe niet
	Neustussenschot – Kan een neustussenschotcorrectie helpen om beter te ademen?
	Samenwerkende zintuigen – Het raadsel van (automatisch) kleuren bij woorden en getallen zien + didactisch hoofdstuk: 'Klein beginnen met onderzoek' door Jos Marell
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? + didactisch hoofdstuk: 'Creatief denken stimuleren' door David van der Kooij en Femke van Os
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 + didactisch hoofdstuk: 'Dialogische gesprekken voeren: Hoe doe je dat?' door dr. Chiel van der Veen
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? + didactisch hoofdstuk: 'Vragen wat je echt wilt weten' door dr. Harry Stokhof
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? + didactisch hoofdstuk: 'Nieuwsgierig door observeren' door WKRU
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 zintuigelijke waarnemingen + didactisch hoofdstuk: 'Begeleiden vanuit een groeimindset' door WKRU

Boek 1 tot en met 5 zijn niet meer als fysiek exemplaar te bestellen. Deze edities zijn nog wel als digitale uitgave te raadplegen via www.wetenschapdeklasin.nl.

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 © 2023 WKRU. Deze foto's mogen wel worden gebruikt in een integrale kopie van minimaal twee pagina's.

Hoofdstuk 1: Taal en W&T

- Schematische weergave van de definitie van Wetenschap en technologie (bron: Van Graft, M., & Klein Tank, M. (2018). *Wetenschap en technologie in het basis- en speciaal onderwijs. Richtinggevend leerplankader bij het leergebied Oriëntatie op jezelf en de wereld*. Enschede: SLO) 11
- Cover boek: Hotze, A. (2022). *Wetenschap en technologie in de klas: Handvatten voor een succesvolle uitvoering*. Uitgeverij Pica 18

Hoofdstuk 2: Koning

- Koningin Juliana op de fiets, CC0 Eric Koch voor Anefo (bron: Nationaal Archief) 24
- Voorblad van de Nederlandse grondwet, publiek domein (bron: Nationaal Archief) 26
- Prins Willem-Alexander plant eerste koningslinde, CC BY-NC 2.0 Roel Wijnants (bron: Flickr.com) 27
- Staatsieportret koninklijk gezin, door Patrick van Emst, © RVD 28
- Aankomst Prins van Oranje in Scheveningen, door Johannes Jacobus Mesker, © Collectie Marinemuseum Den Helder 29
- Minister-president Rutte op bezoek bij koning Willem-Alexander en koningin Maxima, CC-BY-2.0 Minister-president Rutte (bron: Flickr.com) 30
- Cover boek: *De Koning en de monarchie. Toekomstbestendig?*, CC0 Hans Peters en Sander Peters, samengesteld uit: 32
 - Portret koning Willem I, publiek domein, Joseph Paelinck (bron: Rijksmuseum)
 - Staatsieportret koning Willem-Alexander, door Martijn Beekman, © RVD

Hoofdstuk 3: Kinderen redden?

- Zendingskaart van Nederlands Oost-Indië en Suriname, door Annéus Marinus Brouwer. Universiteitsbibliotheek Vrije Universiteit, LL.03763gk 56
- Leerlingen Vincentius-gesticht in studiezaal. Collectie KDC, AFBK-3c00887 (ALFO-296) 57
- Misdienaars op trappen van de kerk. Collectie KDC, AFBK-3c890 (ALFO-296) 58
- Groepsfoto van het Vincentius-gesticht. Collectie KDC, AFBK-3c00878 (ALFO-296) 59
- Ansichtkaart zuster. Collectie KDC, AFBK-6a3001 60
- Artikel over katholieke meisjes, in *Annalen van O.L. Vrouw van het Heilig Hart*, Tilburg Missiehuis (bron: Delpher) 61
- Eerste klas van Hollands Inlandse school. Collectie KDC, AFBK-3c01321 (ALFO-319) 63
- Drie meisjes bedanken voor ingekomen giften, in *St. Claverbond* (jaargang 34, 1922), Centrale Drukkerij Nijmegen (bron: Delpher) 64

Hoofdstuk 4: Magnetische knopen

• Google Data Center, Council Bluffs Iowa, CC BY 2.0 Chad Davis (bron: Flickr.com)	91
• Magnetische bits 0 en 1, CC BY-NC-SA 4.0 Johan Mentink en Naomi Mentink	92
• Drie magneten van groot naar klein, CC BY-NC-SA 4.0 Johan Mentink en Naomi Mentink	92
• Skyrmion, CC BY-NC-SA 4.0 Johan Mentink en Naomi Mentink	93
• Ontstaan van een skyrmion, CC BY-NC-SA 4.0 Johan Mentink en Naomi Mentink	94
• Stabiele en instabiele slinger, CC BY-NC-SA 4.0 Johan Mentink en Naomi Mentink	96
• Datacentrum 'Hollandse Amazone', CC BY-NC-SA 4.0 Jimmy Israël	100
• LEGO-onderdelen, CC BY-NC-SA 4.0 WKRU	113

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

Jaarlijkse activiteiten WKRU

Het Wetenskapsknooppunt Radboud Universiteit (WKRU) organiseert terugkerende evenementen en activiteiten op het gebied van wetenschapsonderwijs voor professionals in het basisonderwijs en onderzoekers van de Radboud Universiteit en het Radboudumc. Het creëren van een onderzoekende houding bij basisschoolleerlingen staat hierbij centraal.

Radboud Science Teams

Elk jaar werken drie Radboud Science Teams, gevormd uit toponderzoekers en leraren, aan lessen voor het basisonderwijs met onderzoekende activiteiten rond een wetenschappelijk thema. De activiteiten die hieruit ontstaan vormen een goede basis voor leerlingen om zelf onderzoek te doen. De lessen verschijnen jaarlijks in de boekenreeks *Wetenschappelijke doorbraken de klas in!* en op de bijbehorende website www.wetenschapdeklasin.nl



Winterschool

Jaarlijks organiseert het WKRU eind januari een professionaliseringsdag voor leerkrachten op het gebied van wetenschapsonderwijs. Via lezingen en workshops maken deelnemers kennis met onderzoek van wetenschappers vanuit verschillende vakgebieden in de universiteit en krijgen zij concrete activiteiten mee om het onderzoek in de klas te behandelen. Daarnaast zijn er workshops over het begeleiden van leerlingen bij onderzoeksvaardigheden.



Onderzoeker in de klas

In hun eigen klaslokaal raken leerlingen geïnspireerd door een onderzoeker van de Radboud Universiteit of het Radboudumc. Samen verkennen zij het onderzoeksthema van de onderzoeker in een leuke, interactieve en informatieve les. De onderzoekers worden bij het maken van hun les begeleid door het WKRU.



Professionalisering van leerkrachten

Het WKRU heeft jarenlange ervaring bij het ondersteunen van leraren bij de ontwikkeling van onderzoeksvaardigheden en stimuleren van een onderzoekende houding van leerlingen. Op basis hiervan kunnen wij professionalisering op maat verzorgen. Dit kan in de vorm van een of meer workshops voor het hele team tot individuele begeleiding in de klas.



Kijk voor meer informatie over deze activiteiten op onze website: www.wkru.nl

