

Wetenschappelijke doorbraken de klas in!

Kleding, Magneten en Protest

Sanne Dekker, Jan van Baren-Nawrocka & Miriam de Boer (redactie)

Hoofdstuk 3: Magneten



Sanne Dekker, Jan van Baren-Nawrocka & Miriam de Boer (redactie)

Colofon

Redactie: dr. Sanne Dekker, drs. Jan van Baren-Nawrocka & dr. Miriam de Boer

Opmaak: Jimmy Israël

Druk en afwerking: Zalsman B.V. Zwolle

Coverfoto's: Jimmy Israël, © WKRU

Eerste druk, januari 2019

ISBN: 978-90-818461-7-2

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



2019 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 De magie van magneten

In dit hoofdstuk beschrijven we een project onderzoekend leren met als thema 'Magneten'. Het thema is gebaseerd op het onderzoek van prof. dr. Alexey Kimel en zijn team naar het effect van licht op magneten. Het hoofdstuk bestaat uit twee delen. In paragraaf 3.1 leggen de onderzoekers uit hoe zij onderzoek hebben gedaan naar de eigenschappen van licht als elektromagnetische golf en hoe ze hebben ontdekt dat je met een zeer korte lichtflits de noord- en zuidpool van een magneet kunt omdraaien. 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 'verkenning') 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

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.
- 45. De leerlingen leren oplossingen voor technische problemen te ontwerpen, deze uit te voeren en te evalueren.

Radboud Science Team 'Magneten'

Het project 'Magneten' is in het schooljaar 2017-2018 ontwikkeld door een team van onderzoekers van de Radboud Universiteit, basisschoolleraars en het WKRU. Het Radboud Science Team 'Magneten' bestond uit de volgende personen:

Onderzoekers Radboud Universiteit

Prof. dr. Alexey Kimel (hoogleraar Ultrafast Spectroscopy of Correlated Materials), dr. Johan Mentink (universitair docent), ing. Albert van Etteger (technisch adviseur). Alle drie zijn werkzaam bij het Institute for Molecules and Materials van de Faculteit der Natuurwetenschappen, Wiskunde en Informatica.

Scholen

De Haafakkers in Heteren: Esther van de Pas, Silke Vermeulen (leraren)

De Lappendeken in De Steeg: Florentine Sallevelt, Ellen de Jonge, Marscha de Winther (leraren)

WKRU

Jan van Baren-Nawrocka (adviseur Wetenschapsonderwijs en projectleider), Miriam de Boer (projectleider), Doetie Talsma (projectmedewerker)

3.1 Onderzoek naar de magie van magneten

Prof. dr. Alexey Kimel

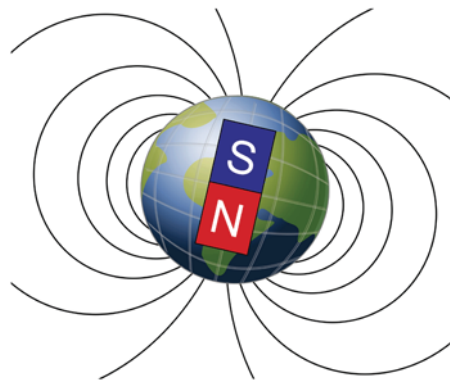
Inleiding

Magneten vind je overal en ze kennen vele toepassingen. In Shanghai rijden er treinen op grote magneten. In de bouw worden grote magneten gebruikt om hopen ijzerschroot mee te verplaatsen. Maar je vindt magneten ook veel dichterbij huis. Je vindt ze in de keuken op de koelkast en in het fornuis wanneer je op inductie kookt. Er zitten magneten in kinderspeelgoed, zoals bijvoorbeeld in speelgoedtreintjes die met magneten aan elkaar plakken en ook in uitwisbare tekenborden vind je magneten. Maar de meeste magneten vind je waarschijnlijk in de harde schijf van je computer, waar op zo'n twee biljoen kleine magneetjes informatie wordt weggeschreven. Bijna iedereen heeft dus biljoenen magneten in huis. Ons onderzoek gaat over de magie van magneten, over hoe je magnetisme met licht kunt waarnemen en over hoe je de magie van magneten kunt temmen met licht.

De magie van magneten

De onzichtbare en daardoor magische krachten van magneten werden al meer dan 3000 jaar geleden ontdekt. Volgens een legende ontdekten de oude Grieken dat in de regio die toen Magnesium heette (nu bevindt deze regio zich in Turkije) sommige stenen magnetisch kunnen zijn. Tot hun grote verbazing merkten ze dat hun schoenen aan de grond bleven vastplakken. Dit kwam omdat de regio zo rijk aan magneten was, dat zelfs stenen vaak magnetisch waren. Als er veel kleine magnetische steentjes in een zool van een schoen blijven zitten, kunnen deze stenen aangetrokken worden door magnetische stenen op de grond.

Magneten hebben een magnetisch veld. Binnen dit veld werkt de kracht van een magneet. Magneten kunnen andere magneten aantrekken of afstoten, wat betekent dat de magnetische kracht een richting heeft. Die richting zorgt ervoor dat elke magneet twee polen heeft: een noord- en een zuidpool. Als we twee magneten hebben, dan trekt de noordpool van een magneet de zuidpool van een andere magneet aan maar stoot een andere noordpool af. Een bekend voorbeeld van een magneet is het pijltje van een kompas. Een kompaspijltje werkt omdat ook de aarde een magneet is. De zuidpool van de aarde trekt de noordpool van het pijltje aan en stoot de zuidpool af. Daardoor draait het pijltje en stopt het als het met de zuidpool naar de noordpool van de aarde wijst.



Het magnetisch veld van de aarde (Door: Zureks)

Er zijn twee verschillende soorten magneten: permanente magneten zoals bijvoorbeeld de koelkastmagneet en de aarde, en impermanente magneten die we aan en uit kunnen zetten, zogenaamde elektromagneten. De eerste elektromagneet werd 150 jaar geleden gemaakt.



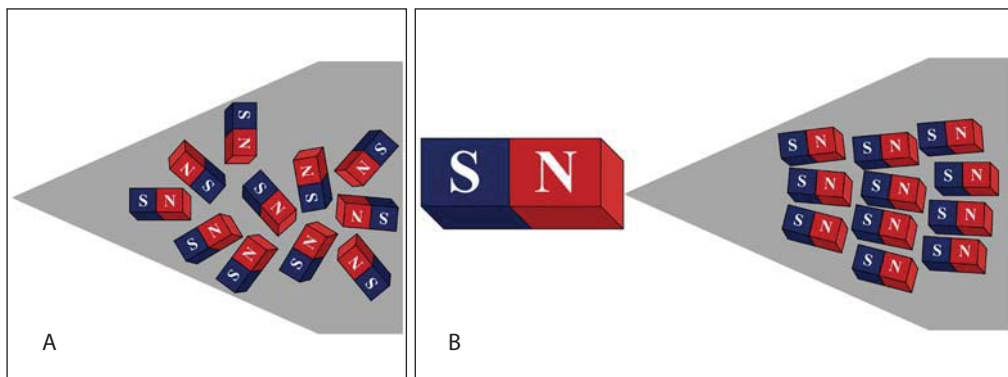
Prof. dr. Alexey Kimel

“Ik werd geboren in 1974 in Leningrad (Sovjet-Unie). Toen ik kind was, had ik geen plan om wetenschapper of hoogleraar te worden. Ik dacht meer aan beroepen zoals piloot, vliegtuigbouwer of misschien rechercheur. Mijn gedachten over toekomstige beroepen stonden helemaal los van het feit dat ik vanaf de eerste natuurkundeles op school helemaal gefascineerd raakte door deze wetenschap. Denken over de wetten van de natuur en het lezen van boeken over natuurkunde werd één van mijn hobby's. Na de middelbare school ging ik naar de Elektrotechnische Universiteit om elektronica te studeren. Ik weet niet meer waarom. Misschien omdat voor deze studie een goede kennis van natuurkunde heel belangrijk was of misschien omdat deze universiteit het dichtstbij was. Als afstudeerwerk deed ik experimenteel onderzoek naar licht en magneten. Dit was de eerste keer dat ik zelf zeer onafhankelijk onderzoek kon doen. Ik vond het veel leuker dan het leren vanuit een boek, daarom ging ik na mijn studie verder met onderzoek naar magneten en licht bij het loffe instituut in Leningrad. In 2002 ben ik gepromoveerd en kreeg ik het aanbod om als onderzoeker bij de Radboud Universiteit te komen werken. Toen ik naar Nijmegen ging, dacht ik nog een paar experimenten te doen, om daarna in het bedrijfsleven te gaan werken. Gelukkig waren de uitkomsten van deze experimenten zo baanbrekend dat er nog meer mensen in mijn onderzoek geïnteresseerd raakten. Ik deed dus altijd wat ik heel leuk vond en op een dag realiseerde ik me dat ik een wetenschapper ben.”

Zo'n impermanente magneet kan je heel gemakkelijk zelf maken met behulp van elektriciteit. Dat gaat als volgt. Door koperdraad om een spijker te winden maak je een spoel. De uiteinden van de draad sluit je aan op een batterij. Als er dan een elektrische stroom door het draadje loopt, wordt de spijker magnetisch (zie ook verkenningsactiviteit 5 'Zelf een elektromagneet maken'). Hoe sterker de elektrische stroom, hoe sterker de kracht van de magneet en hoe sterker andere magnetische voorwerpen worden aangetrokken. Als je de stroom uitzet, werkt de magneet niet meer: bij een elektromagneet betekent geen stroom, geen magnetisme. Wist je dat een van de sterkste elektromagneten ter wereld in Nijmegen staat (zie Achtergrondinformatie 'De sterkste elektromagneet ter wereld')?

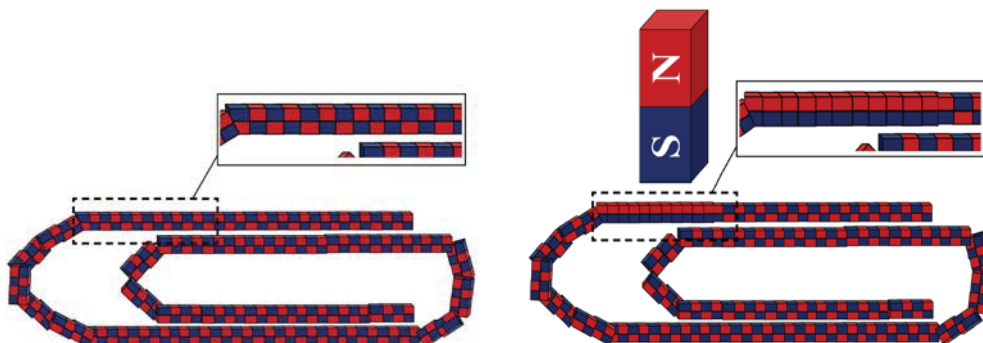
Het is mogelijk om magneten meer magnetisch te maken en om de polen van een magneet om te draaien. Dit betekent dat de polen wisselen: de noordpool wordt dan de zuidpool, en de zuidpool de noordpool. Permanente magneten kun je meer magnetisch maken door een zwakkere magneet in het magnetisch veld van een sterke magneet te houden. Om bijvoorbeeld een ijzeren naald, die eerst geen andere ijzeren voorwerpen aantrok, magnetischer te maken, wrijf je deze heel vaak (ongeveer 20x) in dezelfde richting over een magneet. De naald neemt dan de eigenschappen van de magneet over. Dit komt doordat de naald eigenlijk uit allemaal heel kleine deelmagneetjes (domeinen) bestaat. De polen van de domeinen in de naald wijzen normaal gesproken allemaal een andere kant op (zie afbeelding A). Door de naald over de magneet te wrijven of een sterke magneet in de buurt te houden, komen alle noordpolen dezelfde kant op te staan. Daardoor wordt de naald zelf ook magnetischer (zie afbeelding B).

Magneten



Het effect van een magnetisch veld op andere magneten (Door: Alexey Kimel)

De draaiing van de polen van magneetdomeinen kun je ook terugzien wanneer je bijvoorbeeld een ijzeren paperclip met een magneet aantrekt. Normaal gesproken wijzen de polen van de magneetdomeinen allemaal een andere kant op en is de paperclip niet magnetisch (zie linker afbeelding). Door het veld van de magneet in de buurt van de paperclip te houden, komen alle noordpolen van de magneetdomeinen in de paperclip dezelfde kant op te staan: daardoor wordt de paperclip aangetrokken door de sterkere magneet (zie rechter afbeelding).



Voorbeeld van magnetische domeinen in een paperclip (Door: Alexey Kimel)

Door een zeer sterke magneet tegen een zwakkere magneet te houden, kun je de polen van de gehele zwakkere magneet doen wisselen. Dan zijn er zoveel kleine deelmagneetjes van richting gewisseld, dat de magneet in zijn totaliteit van polen verandert.

Bij de elektromagneet veranderen de polen van richting als we de richting van de stroom veranderen. Dit principe wordt bijvoorbeeld gebruikt in de computer om informatie weg te schrijven op een harde schijf (zie Achtergrondinformatie 'Elektromagneten in de computer'). Hoe groter het verschil tussen de sterktes van de magneten, hoe sneller de ompoling gebeurt. In harde schijven bijvoorbeeld, worden magneten binnen 1 biljoenste seconde omgepoold.

Magnetisme detecteren met behulp van licht

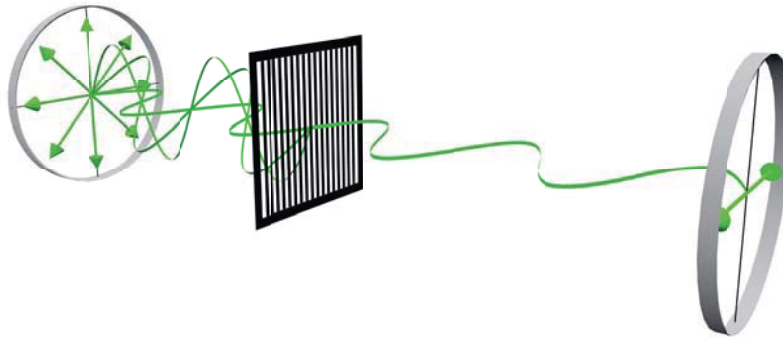
Ook licht heeft magnetische kracht. We kunnen licht daardoor gebruiken om magnetische domeinen te detecteren. Daarmee kunnen we magnetisme zichtbaar maken. Om dit te snappen, is kennis nodig van de eigenschappen van licht, polarisatie van licht en het Faraday effect.

Eigenschappen van licht

Licht is een elektromagnetische golf. Zoals een golf in het water een voortplanting is van trillingen in het water, is een elektromagnetische golf een voortplanting van trillingen van elektrische en magnetische velden. Een lichtbundel van de zon of van een lamp bestaat uit heel veel verschillende lichtstralen. Het magnetisch veld van elke lichtstraal trilt een eigen richting op. Daardoor heeft het magnetisch veld van de totale bundel geen duidelijke voorkeursrichting. We noemen dit licht on gepolariseerd.

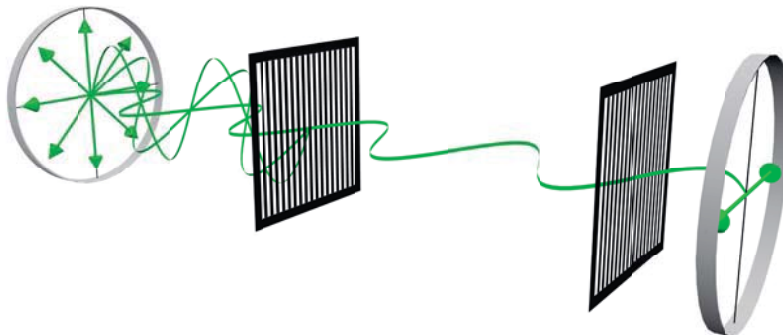
Polarisatie van licht

Van ongepolariseerd licht kunnen we gepolariseerd licht maken. Er zijn materialen die alleen licht met een bepaalde voorkeursrichting van het magnetisch veld van licht doorlaten. Dat materiaal noemen we een "polarisatiefilter". Polarisatiefilters worden bijvoorbeeld gebruikt in zonnebrillen en fotocamera's om de verstrooiing van licht te verkleinen. Als we ongepolariseerd licht door een polarisatiefilter sturen, dan krijgen we na het filter alleen gepolariseerd licht: licht met een voorkeursrichting.



Het effect van een verticaal polarisatiefilter op ongepolariseerd licht: na het filter krijgen we gepolariseerd licht met de horizontale voorkeursrichting van het magnetisch veld (Door: Saliba Barsaume)

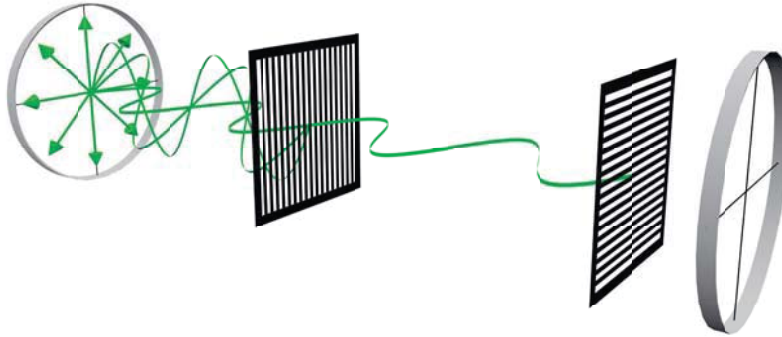
Hoe de verandering van de voorkeursrichting van het magnetisch veld van licht werkt, kunnen we goed zichtbaar maken met twee polarisatiefilters. Stel dat het eerste filter alleen maar licht met een horizontaal magnetisch veld doorlaat. Dat betekent dat al het andere licht niet door het filter komt. We kunnen het tweede filter zo plaatsen dat het ook alleen licht doorlaat met een horizontaal magnetisch veld. Dan krijgen we na het tweede filter evenveel licht als na het eerste filter, immers, de twee polarisatiefilters filteren op precies dezelfde manier.



Het effect van twee dezelfde polarisatiefilters op ongepolariseerd licht: het tweede filter laat evenveel licht door als het eerste filter (Door: Saliba Barsaume)

Magneten

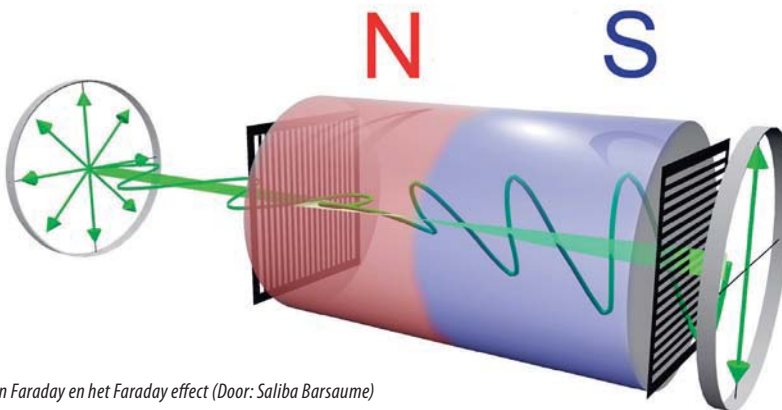
Maar we kunnen het tweede filter ook zo draaien dat het alleen licht met verticale voorkeursrichting doorlaat. Omdat er dan helemaal geen licht met verticale voorkeursrichting meer is, wordt het na het tweede filter donker. Dit komt omdat het licht met verticale polarisatie al door het eerste filter werd tegengehouden.



Het effect van twee verschillende polarisatiefilters op ongepolariseerd licht: na het tweede filter wordt het donker omdat alleen licht met een horizontale voorkeursrichting door het eerste filter wordt doorgelaten en dit licht vervolgens door het tweede filter wordt tegengehouden (Door: Saliba Barsaume)

Faraday effect

Doordat licht een elektromagnetische golf is, kan licht ook beïnvloed worden door magneten. In een experiment door Michael Faraday, een natuurkundige uit de 19de eeuw, werd zichtbaar dat magneten de voorkeursrichting van het magnetisch veld van licht draaien. Door een magneet tussen twee polarisatiefilters te plaatsen, kon hij zichtbaar maken dat de magneet de richting van de lichtgolven beïnvloedt. Hij gebruikte een vergelijkbare opstelling als hierboven beschreven.



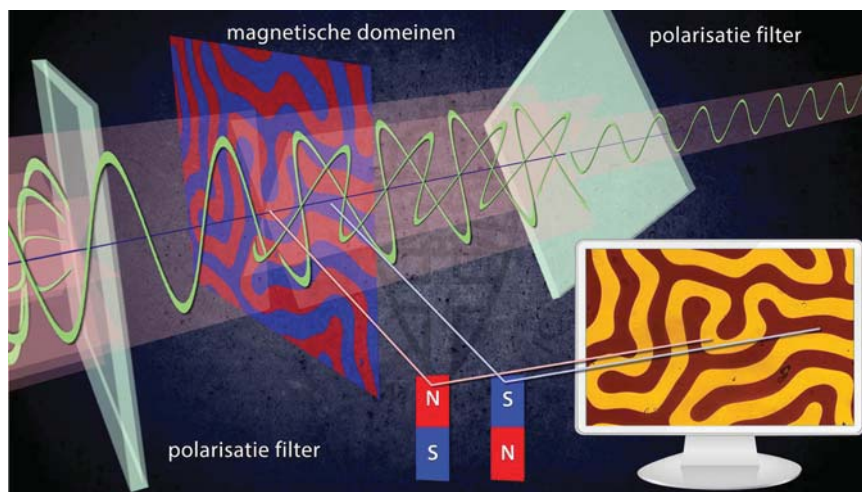
De opstelling van Faraday en het Faraday effect (Door: Saliba Barsaume)

Hij stuurde een lichtstraal door twee polarisatiefilters: één filter dat licht doorliet met verticaal magnetisch veld en één dat licht doorliet met horizontaal magnetisch veld. Zoals hierboven uitgelegd, zou je verwachten dat er geen licht door het tweede filter komt. Maar als het licht tussen het eerste en het tweede filter door een magneet gaat, dan komt er wel licht door het tweede filter. Dit betekent dat de voorkeursrichting van het licht is gedraaid. Bovendien werd duidelijk dat als het licht door de magneet beweegt van de noord- naar de zuidpool, de voorkeursrichting van het magnetisch veld met de klok meedraait. Gaat licht van de zuidpool naar de noordpool, dan draait de voorkeursrichting van het licht tegen de klok in. Licht kan dus de kracht van magneten zichtbaar maken. Dit principe noemen we het Faraday effect. Dit kunnen we gebruiken om de polen van een magneet te zien en daarmee kunnen we magnetische materialen beter snappen.

Magnetische domeinen zichtbaar maken

Met behulp van het Faraday effect kunnen we laten zien dat magneten als het ware uit meerdere piepkleine magneten bestaan, waarvan een deel noord-zuid is georiënteerd en een deel zuid-noord. Deze piepkleine magneten noemen we domeinen, die we eerder noemden met betrekking tot het magnetischer maken van de naald, de aantrekking van de paperclip tot de magneet en het ompolen van gehele magneten. Elk domein draait de polarisatie van het licht. Een domein met de noordpool omhoog draait de voorkeursrichting met de klok mee, een domein met de noordpool omlaag draait tegen de klok in. Om dit zichtbaar te maken, nemen we een microscoop.

Onder de microscoop maken we een opstelling zoals we die hierboven hebben beschreven: we plaatsen een magneet tussen twee polarisatiefilters en richten een lamp op de polarisatiefilters. Na het eerste polarisatiefilter en de magneet ontstaan nu lichtgolven met twee verschillende voorkeursrichtingen: de ene richting wordt bepaald door domeinen die noord-zuid georiënteerd zijn, de andere door domeinen die zuid-noord georiënteerd zijn. Nu draaien we de tweede filter zo, zodat lichtgolven met één van de twee voorkeursrichtingen niet meer zichtbaar zijn. Hierdoor zien we hoe de domeinen over de magneet verdeeld zijn: de domeinen met de noordpool omhoog zien we als lichte gebieden en de domeinen met de noordpool omlaag als donkere gebieden (zie afbeelding en filmpje op de site [•](#)).



Het Faraday effect en hoe we magnetische domeinen zichtbaar kunnen maken (Door: Roman Shantyr)

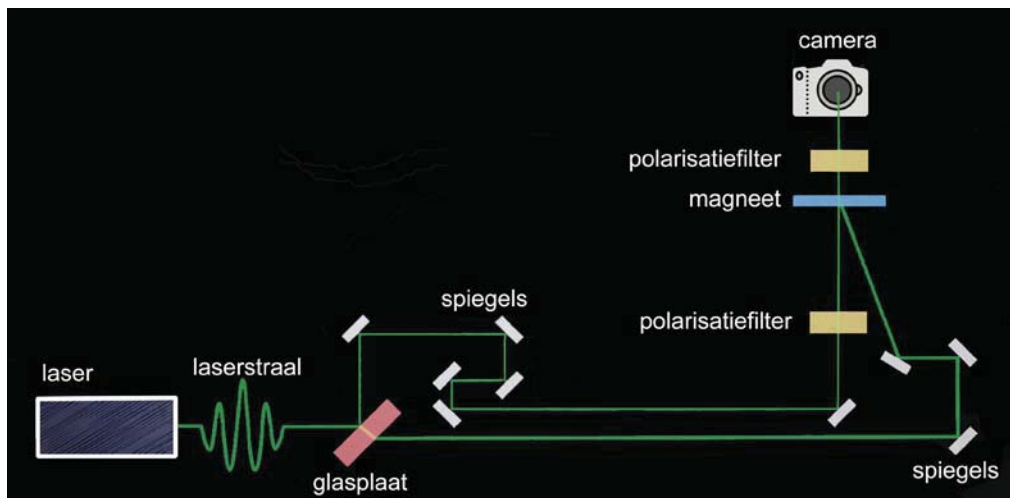
Magneten

Ons onderzoek: magneten ompolen met behulp van licht

Tot voor kort dachten wetenschappers dat je magneten alleen kon ompolen met behulp van andere (elektro)magneten. Magneten ompolen met licht werd als een droom beschouwd, iets dat alleen in een fantasiewereld bestaat, net zoals een lichtzwaard uit de serie Star Wars. In ons onderzoek hebben we ontdekt dat het magnetisch veld van licht niet alleen beïnvloed kan worden door magneten, maar dat het ook omgekeerd geldt: licht kan ook magneten manipuleren. Onder invloed van een lichtflits met laserlicht (een zogenaamde lichtpuls) die tien keer korter is dan een miljoenste deel van een miljoenste seconde kunnen we de magische kracht van magneten uitschakelen of omdraaien. Deze bevinding kan grote voordelen hebben voor bijvoorbeeld dataopslag: met behulp van licht kunnen we informatie vijftig keer sneller opslaan dan in het huidige magnetische geheugen van computers en we gebruiken daarvoor vijf miljoen keer minder energie.

Hoe het precies kan dat je met licht magneten zo snel kunt ompolen kan niet verklaard worden met de huidige natuurkundige theorieën van magnetisme. Eerder was het namelijk nog niet mogelijk om magneten bloot te stellen aan zulke korte lichtpulsen. Wij polen magneten met behulp van lichtpulsen namelijk binnen twintig picoseconde om (1 picoseconde is een miljoenste deel van een miljoenste seconde, oftewel 0,000000000001 seconde), terwijl de huidige theorieën van magnetisme zijn gebaseerd op processen die trager zijn dan honderd picoseconden. Op een veel kortere tijdschaal, dus met veel snellere lichtpulsen, is het nog totaal onbekend wat er precies met magneten gebeurt. Met onze experimenten kunnen we nu onderzoeken hoe dat zit.

Voor de experimenten gebruiken we de onderstaande opstelling. We nemen een laser die elke milliseconde flitst. Elke laserflits delen we in twee delen met behulp van een stukje glas. Het eerste en sterkste deel (dikke lijn) gaat door het glas heen en wordt later gebruikt om de magneten aan te slaan. Dit zet het proces van het ompolen in gang. Het tweede en zwakste deel (dunne lijn) dat door het glas wordt weerkaatst, wordt gebruikt als een flits van onze fotocamera om het proces van ompolen mee te registeren.



Een schematische tekening van de experimentele opstelling (Door: Roman Shantyr)

Met behulp van het Faraday effect kunnen we op de foto een noord- en zuidpool van een magneet herkennen. De magneet in onze opstelling is namelijk, net zoals omschreven in de paragraaf 'Magnetische domeinen zichtbaar maken', geplaatst tussen twee polarisatiefilters zodat we met behulp van de zwakste flits de richting van de polen van de magneet kunnen waarnemen. Met behulp van spiegels (witte rechthoeken) kunnen we de afstand die de beide delen van de flits afleggen variëren en daarmee de tijd tussen beide veranderen. Op deze manier kunnen we de toestand van de magneet op verschillende momenten fotograferen. Alle momentopnames samen vormen een filmpje dat laat zien wat er precies over de tijd met de magneet gebeurt nadat hij is aangeslagen totdat hij is omgepoold. We betreden nu echt terra incognita, het onbekende land, van de moderne natuurkunde.

Maatschappelijke relevantie van het onderzoek

Iedereen wil een snellere computer hebben en niet alleen voor spelletjes en Facebook. Als computers heel snel zouden zijn, kunnen ze in de toekomst veel nauwkeuriger het weer voorspellen, kan een auto (zonder een chauffeur) rijden, kunnen ziekten in een heel vroeg stadium worden ontdekt en zullen heel veel dingen mogelijk worden die we ons nu nog niet kunnen voorstellen. Kortom, betrouwbare, goedkope en snelle dataopslag is voor de economie van de eenentwintigste eeuw wat olie was voor de vorige. De snelheid waarmee een computer informatie kan verwerken, hangt in grote mate af van de snelheid van de harde schijf en dat hangt weer af van de snelheid waarmee de biljoenen magneetjes in de harde schijf omgepoold kunnen worden. Onze manier om magneten met licht om te polen is zo snel dat harde schijven daarmee minstens vijftig keer sneller en veel energiezuiniger kunnen worden dan voorheen.

Magnetische opslag is goedkoop en betrouwbaar, alleen zorgt de snel toenemende vraag naar opslagcapaciteit in de cloud (al ons Facebook- en WhatsApp-verkeer bijvoorbeeld) ervoor dat datacenters oververhit raken en er veel energie nodig is om hun processoren te koelen. Nu al gebruiken datacentra meer dan vijf procent van de totale hoeveelheid elektrische energie wereldwijd. De nieuwste methode om data op te slaan (de *Heat Assisted Magnetic Recording of HAMR*) zal dat probleem niet oplossen. Deze techniek gebruikt juist extra warmte door verwarming met een laser en een magnetisch veld van een elektromagneet. Supersnelle magnetische opslag zonder hitte te produceren en zonder elektromagneten te gebruiken, bijvoorbeeld met behulp van korte laserflitsen, is dan ook een grote uitdaging voor fundamenteel en toegepast magnetismeonderzoek.



Een klassieke harde schijf (Foto: Eric Gaba)

Magneten

Onderzoek naar magneten

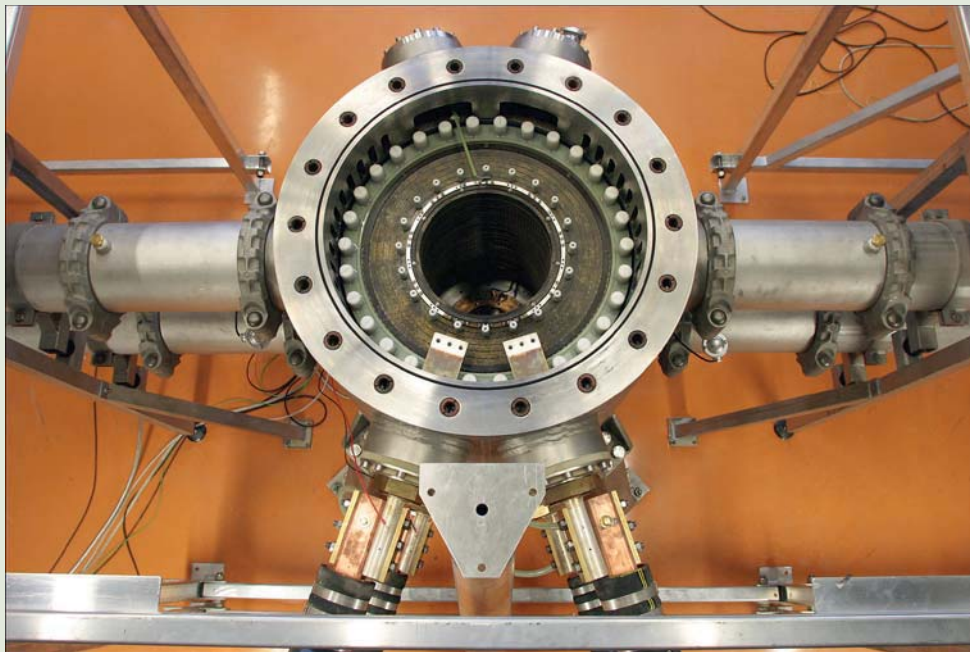
In onderstaand kader geeft prof. dr. Alexey Kimel een voorbeeld van hoe hij met zijn team onderzoek heeft gedaan naar magnetisme. Hij beschrijft zijn onderzoeksvraag, de manier waarop hij deze vraag probeerde te beantwoorden, de resultaten die het onderzoek opleverde en de vervolgvragen die het onderzoek opriep. Hiermee willen we het verband laten zien tussen de aanpak van een onderzoeker en die van de leerlingen.

Onderzoeksvraag	Kunnen we licht gebruiken om magneten om te polen?
Onderzoeksaanpak	We bouwden een opstelling met een laser, een glasplaat, spiegels, polarisatiefilters, een magneet en een camera. Met behulp van de glasplaat splitsten we de laserstraal in twee delen; de ene straal gebruikten we om het ompolen in gang te zetten, de andere diende als lichtflits voor de camera, om zo foto's te kunnen maken van wat er met de polen van de magneet gebeurt.
Resultaten	We hebben ontdekt dat je met een lichtstraal de kleine delen waaruit een magneet bestaat kunt ompolen, maar we kunnen nog niet uitleggen hoe dit komt. We willen de natuurkundige wetten kunnen opstellen waarmee we de grenzen van de snelheid van het ompolen van magneten kunnen vaststellen.
Wat betekenen deze resultaten voor het dagelijks leven van kinderen?	We kunnen deze kennis gebruiken om ultrasnelle en superzuinige computers te maken.
Vervolg vragen	Nast magneten kunnen we ook zogenaamde ferro-elektrische en multiferroïsche materialen gebruiken om informatie op te slaan. Ferro-elektrische materialen zijn materialen waar we een elektrisch veld omheen kunnen creëren. De richting van zo'n elektrisch veld kan veranderd worden door het aanleggen van een elektrische spanning op het materiaal. Materialen die tegelijk ferro-elektrisch en magnetisch zijn noemen we multiferroïcs. We willen graag onderzoeken hoe snel we informatie op dit soort materialen kunnen opslaan.

ACHTERGRONDINFORMATIE

De sterkste elektromagneet ter wereld

De Radboud Universiteit heeft een aantal van de sterkste elektromagneten ter wereld. Deze staan in het *High Field Magnet Laboratory (HFML)*. Het veld van deze magneet is zo sterk dat het een kikker kan laten zweven! De magneet gebruikt veel elektriciteit: zijn verbruik is gelijk aan het elektriciteitsgebruik van 10.000 huishoudens. Doordat het om zulke sterke elektrische stromen gaat, wordt de elektromagneet heel heet. Om de magneet af te koelen stroomt er koud water doorheen. Het water loopt door de elektromagneet met een snelheid van ongeveer honderd kilometer per seconde zodat per seconde ongeveer 140 liter water wordt verbruikt. Met deze supersterke elektromagneet wordt onderzoek gedaan naar nieuwe materialen voor toekomstige technologie, zoals supergeleiders, magneten voor superzuinige dataopslag en grafeen.



Een van de magneten in het HFML laboratorium (Foto: Dick van Aalst)

Elektromagneten in de computer

Als we snappen wat magneten zijn en hoe elektromagneten werken, kunnen we ook snappen hoe het geheugen van onze computers werkt. Computers communiceren via een taal die slechts uit twee tekens bestaat. Deze tekens zijn "0" en "1" en we noemen deze tekens bits. Het geheugen van een computer bestaat uit biljoenen bits en elke bit is een magneetje. Een magneetje met een noordpool omhoog staat voor "1" en een magneetje met de noordpool omlaag staat voor "0". Als we in plaats van een "0" een "1" willen opslaan, dan gebruiken we een elektromagneet. We brengen dan de elektromagneet tegen een magneetje aan en doen de stroom aan zodat de polen in de magnetische bit van richting veranderen ("ompolen"). In het magnetische geheugen van een computer zitten ongeveer 2 biljoen magneetjes. Om informatie weg te schrijven, moeten die magneetjes zeer snel "omgepooled" kunnen worden. Dat wordt nu gedaan met behulp van een elektromagneet en dat duurt ongeveer een nanoseconde (een miljardste seconde, oftewel 0,000000001 seconde).

Magneten

Verder lezen, kijken en luisteren

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

Video's WKRU

- Videoportret Alexey Kimel bij uitreiking Radboud Science Awards 2017
- Lezing voor kinderen door Alexey Kimel bij uitreiking Radboud Science Awards 2017
- Lezing voor leraren door Alexey Kimel bij de Winterschool 2018

Kracht van magneten

- Schooltv-aflevering over magnetisme en maken van elektromagneet: <https://www.schooltv.nl/video/magneten-hoe-werken-ze-eigenlijk/>
- Willem Wever over magnetisme en een bezoek aan het magnetenlab in Nijmegen in 2011: https://willemwever.kro-ncrv.nl/vraag_antwoord/wetenschap-techniek/hoe-werkt-een-kompas-0
- Instructie over het tekenen van veldlijnen: https://www.youtube.com/watch?v=okCkw_MkAcc
- Schooltv-aflevering over magnetisme, proefjes en toepassing van magneten: <https://www.schooltv.nl/video/full-proof-magneten/>
- Schooltv-aflevering over magnetisme, werking en ontdekking van magneten: <https://www.schooltv.nl/video/een-magneet-ijzer-met-aantrekkingskracht/>
- WikiKids pagina over magnetisme en de supersterke magneet in Nijmegen: <https://wikikids.nl/Magneet>
- Filmpje over de supersterke magneet in Nijmegen: <https://www.youtube.com/watch?v=P0ADWq8nDYw>

Magnetisme en licht

- Filmpje van de onderzoekers over de relaties tussen magnetisme en licht: <https://youtu.be/X8P0CeTLINA>

3.2 Onderzoek naar magneten de klas in!

Radboud Science Team 'Magneten'

Deze paragraaf beschrijft hoe je in de klas een project onderzoekend leren kunt opzetten bij het thema 'Magneten'. Je vindt hier diverse activiteiten voor de introductie en verkenning van het project. Deze activiteiten zijn als eerste uitgevoerd bij basisschool De Haafakkers in Heteren en basisschool De Lappendeken in De Steeg.

Alle activiteiten samen geven een beeld van het onderzoek naar magnetisme dat in de voorgaande paragraaf staat beschreven. De relatie tussen de activiteiten en het thema 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.



Stap 1. Introductie

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

INTRODUCTIEACTIVITEIT: SPEEDDATE MET MATERIELEN

Leerlingen gaan in groepjes langs allerlei dagelijkse voorwerpen met magneten en (her)ontdekken zo de vele toepassingen van magneten in het dagelijks leven.

Doelen

- Leerlingen worden nieuwsgierig naar het thema 'Magneten'.
- Leerlingen worden zich bewust van de vele toepassingen van magneten om ons heen.

Duur

15 minuten

Werkvorm

In viertallen

Benodigdheden

- Diverse voorwerpen waarin magneten zitten, bijvoorbeeld: muziekdoosje, vishengelspel, tekenbord, treintjes, magneetletters, magnetische 'boontjes', magnetische schroevendraaier met schroeven, hoesjes van tablet/telefoon
- Timer/stopwatch
- Theedoeken
- Werkblad 'Speeddate met materialen'

Vorbereiding

Zet de spullen voor deze activiteit klaar als de leerlingen niet in het lokaal zijn. Leg ieder voorwerp onder een theedoek en zorg ervoor dat de groepjes makkelijk tussen de voorwerpen kunnen wisselen. De speeddate kan gemakkelijk rommelig worden dus denk goed na over de afstand tussen de voorwerpen. Zorg dat de leerlingen alleen het voorwerp onder de theedoek kunnen zien en niet de voorwerpen die ondertussen door een ander groepje worden bekeken. Maar maak de afstand tussen de voorwerpen ook niet te groot: de leerlingen moeten straks binnen 30 seconden de voorwerpen kunnen bekijken en kunnen wisselen.

Activiteit

Vertel de leerlingen dat ze gaan kennismaken met verschillende materialen door middel van een speeddate. Belangrijk is om het woord 'magneten' niet te laten vallen, aangezien ze moeten raden dat dat de overeenkomst tussen de voorwerpen is. De groepjes rouleren langs alle tafels waar een voorwerp klaarligt en ontdekken kort wat er onder de doek ligt. Houd de tijd bij met een timer: elke dertig seconden wisselen ze van voorwerp. Geef de leerlingen na afloop het werkblad en laat ze in hun groepje invullen wat ze zijn tegengekomen en wat de overeenkomst tussen de voorwerpen is.

Afronding

Bespreek de opdracht klassikaal na. Wat was de overeenkomst tussen de materialen? Wat vonden de leerlingen ervan? Vertel dat 'Magneten' het onderzoeksthema voor de komende periode zal zijn en dat de leerlingen ook zelf onderzoek gaan doen naar magneten.

Verbinding met het thema

Tijdens deze activiteit maken leerlingen kennis met de brede toepassing van magnetisme. Dit doen ze door magneten als het ware te herontdekken in alledaagse voorwerpen.

Tip

Het is mogelijk dat het 'speeddate'-onderdeel wat onrustig verloopt. Belangrijk is om goed aan te geven hoe de leerlingen moeten wisselen en dat de theedoek weer over het materiaal moet liggen voor het volgende groepje.



Leerlingen van De Lappendeken hebben speeddates met magneten



Stap 2. Verkennen

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 onderverdelen van het hoofdthema in subthema's kan leerlingen helpen om bij stap 3 een onderzoeksvraag te formuleren. Subthema's geven meer houvast, omdat ze vaak minder abstract zijn dan het hoofdthema. Bovendien zorgt het 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:

- Kracht van magneten
- Elektromagnetisme
- Magnetisme en licht

ACTIVITEIT 1: DE MAGNETISCHE SPEURTOCHT

De leerlingen trekken met een magneet de school in om te testen welke voorwerpen magnetisch zijn en welke niet.

Subthema

Kracht van magneten

Doel

De leerlingen ontdekken welke materialen wel en niet worden aangetrokken tot een magneet.

Duur

20 minuten

Werkvorm

In twee- of drietallen

Benodigheden

Per groepje:

- Werkblad 'Wat is magnetisch?' 
- Een magneet



Leerlingen van De Haafakkers onderzoeken of de balustrade magnetisch is en noteren het resultaat

Magneten

Activiteit

Geef de groepjes de opdracht om uit te zoeken welke voorwerpen in de school aangetrokken worden door een magneet (we zeggen dan dat deze magnetisch is). Ze gebruiken daarbij het werkblad . Vertel de leerlingen dat de zoektocht als volgt moet gaan: als ze een voorwerp hebben gevonden waarvan ze willen testen of het magnetisch is of niet, voorspellen ze eerst of het voorwerp aangetrokken zal worden door de magneet of niet. Die voorspelling schrijven ze op het werkblad. Daarna testen ze of het voorwerp inderdaad magnetisch is door hun magneet erbij te houden. Ook het resultaat schrijven ze op het werkblad. Na twintig minuten komen de groepjes weer terug naar de klas en worden alle antwoorden verzameld.

Afronding

Verdeel het bord in twee delen. Schrijf aan de ene kant 'magnetisch' en aan de andere kant 'niet magnetisch' en schrijf klassikaal alle uitkomsten op het bord. Bekijk de inventarisatie: van welke materialen zijn de magnetische voorwerpen gemaakt? En van welke materialen zijn de niet-magnetische voorwerpen gemaakt? Welke conclusies kunnen de leerlingen daaruit trekken? Waren er voorwerpen waarvan je ten de verwachtingen van de leerlingen in magnetisch, of juist niet?

Verbinding met het thema

Tijdens deze activiteit ontdekken de leerlingen welke materialen magnetisch zijn en welke niet. Zo komen erachter dat materialen waar ijzer in zit magnetisch zijn.

ACTIVITEIT 2: DE KRACHT VAN MAGNETEN TESTEN

Leerlingen onderzoeken eerst spelenderwijs en vervolgens meer gestructureerd een aantal eigenschappen van magneten.

Subthema

Kracht van magneten

Doelen

- De leerlingen leren dat de kracht van het aantrekken en afstoten tussen twee magnetische voorwerpen magnetisme is.
- De leerlingen leren dat niet alle magneten even sterk zijn.

Duur

45 minuten

Werkvorm

In twee- of drietallen

Benodigdheden

Per groepje:

- Een aantal magneten van verschillende vormen, groottes en sterktes
- Verschillende magnetische materialen (materialen die door een magneet worden aangetrokken), waaronder in ieder geval een aantal paperclips, verder bijvoorbeeld jampotdeksels, schroefjes etc.
- Verschillende niet-magnetische materialen zoals papier, karton, plastic, plexiglas, blik, aluminium, etc.
- Liniaal
- Papier om aantekeningen te maken
- Voor ronde 2: Werkblad A 'De sterkste magneet' en/of werkblad B 'De kracht van magneten blokkeren' ②
- Voor ronde 2: Tekening proefopstelling ②

Activiteit

De activiteit vindt plaats in twee ronden. In de eerste ronde krijgen de leerlingen de kans om aan te rommelen en de materialen te ontdekken. In de tweede ronde onderzoeken ze de materialen op een gestructureerde manier.

Ronde 1: Geef ieder groepje een aantal verschillende magneten en 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 hoe sterk de verschillende magneten zijn, wat ze aantrekken en wat niet, of ze elkaar aantrekken, of twee magneten samen even sterk zijn als de som van de aparte magneten, etc. Bespreek deze ronde kort na: wat hebben de leerlingen ontdekt?

Magneten

Ronde 2: In de tweede ronde gaan de groepjes systematisch te werk met het werkblad . Met werkblad A beantwoorden leerlingen de vraag: 'Welke magneet is het sterkst?'; en met werkblad B 'Welk materiaal houdt de kracht van een magneet het beste tegen?'. Je kunt de hele klas beide vragen laten beantwoorden; of ervoor kiezen om de ene helft van de klas werkblad A te geven; en de andere helft werkblad B.

Geef de groepjes het werkblad en de materialen die ze willen gebruiken. Bij werkblad A heeft het groepje drie verschillende magneten en een paperclip nodig. Bij werkblad B heeft het groepje één magneet en drie verschillende materialen nodig.

Nadat ze de voorbereidingen hebben ingevuld op het werkblad, laat je de proefopstelling zien op het bord  en vraag je de leerlingen om deze na te maken. De bedoeling is dat leerlingen een potloodstreepje zetten bij de 0 van de liniaal. Aan het andere uiteinde van de liniaal leggen ze een magneet. Ze meten de sterkte van de magneet door deze langs de liniaal te schuiven en te kijken vanaf welke afstand de paperclip begint te bewegen. Op die afstand zetten ze een streepje op het papier.



Leerlingen van De Haafakkers onderzoeken de kracht van een bordmagneet

Om te testen hoe het materiaal de kracht van de magneet beïnvloedt, houden ze het materiaal tegen de magneet aan. Dan schuiven ze de magneet en het materiaal langs de liniaal en kijken bij welke afstand de paperclip begint te bewegen.

Laat de leerlingen alle gemeten afstanden opschrijven in de tabel en met de gegevens een staafdiagram maken. Wat is hun antwoord op hun onderzoeksvraag?

Afronding

Elk groepje presenteert hun resultaten. Kunnen jullie voor de hele klas bepalen welke magneet het sterkste is en welk materiaal het beste de kracht van een magneet tegenhoudt? Zit daarbij verschil tussen magnetische en niet-magnetische materialen? Zijn er groepjes die nog andere bijzondere dingen hebben ontdekt? Hoe zou je die kunnen verklaren?

Verbinding met het thema

Tijdens deze activiteit maken leerlingen kennis met de kracht van magneten. Ze leren dat magneten verschillende sterktes kunnen hebben. Wist je dat aan de Radboud Universiteit in Nijmegen één van de sterkste magneten ter wereld staat? (zie Achtergrondinformatie 'De sterkste elektromagneet ter wereld')

Magneten

ACTIVITEIT 3: ONZICHTBARE KRACHTEN ZICHTBAAR MAKEN

Leerlingen bestuderen de krachtlijnen van magneten door middel van een demonstratie met ijzervijlsel.

Subthema

Kracht van magneten

Doelen

- De leerlingen ontdekken dat een magneet twee polen heeft.
- De leerlingen leren dat deze polen de noord- en de zuidpool worden genoemd.
- De leerlingen ontdekken dat de noordpool de zuidpool aantrekt en dat twee dezelfde polen elkaar afstoten.
- De leerlingen ontdekken hoe onzichtbare krachtlijnen zichtbaar kunnen worden gemaakt met behulp van ijzervijlsel.
- De leerlingen leren dat deze krachtlijnen “veldlijnen” worden genoemd en kunnen deze tekenen.

Duur

20 minuten

Werkvorm

Klassikaal en in tweetallen

Benodigdheden

- Filmpje over hoe magneten werken (tot 1m59s) [🔗](#)
- Een demonstratieset met ijzervijlsel (online te bestellen [🔗](#))
- Twee of drie sterke magneten in de vorm van een staaf of in de vorm van een hoefijzer



Een staafmagneet (Foto: Aney; links) en een hoefijzermagneet (Foto: Zureks; rechts)

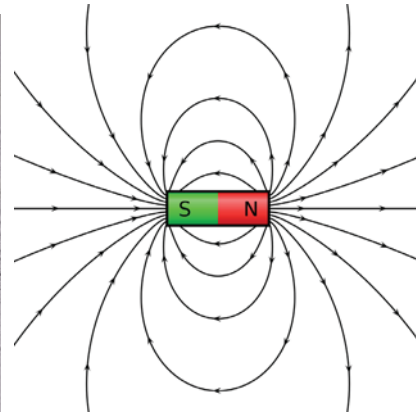
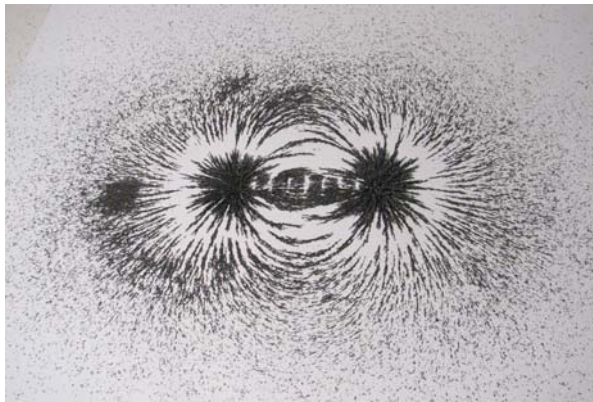
Per leerling:

- Magneet
- Tekenpapier en potlood

Activiteit

Laat ieder tweetal eerst een tijdje hun twee magneten onderzoeken. Wat gebeurt er als je de magneten naar elkaar toebrengt? Wanneer stoten de magneten elkaar af en wanneer trekken ze elkaar aan? Vanaf welke afstand werkt dit aantrekken en afstoten? Bekijk vervolgens klassikaal het filmpje over hoe magneten werken tot 1m59s [🔗](#). Kijk niet verder, want anders verlap je al iets wat bij activiteit 5 'Zelf een elektromagneet maken' naar voren komt.

Demonstreer nu hoe je de kracht van magneten zichtbaar kunt maken met veldlijnen, door een magneet onder de demonstratieset te houden. Het kan even duren voor de veldlijnen verschijnen, het helpt om af en toe tegen de demonstratieset aan te tikken. Zorg dat alle leerlingen kunnen zien hoe het ijzervijlsel is veranderd. Laat de leerlingen tekenen wat ze hebben gezien: hoe lopen de veldlijnen?



Veldlijnen op een foto (Foto: Windel Oskay; links) en op een schematische tekening (Door: Geek3; rechts)

Vraag vervolgens wat de leerlingen verwachten dat er met de veldlijnen gebeurt als je niet één maar meerdere magneten onder het ijzervijlsel houdt. Voer dit experiment vervolgens uit en laat de leerlingen een nieuwe tekening met veldlijnen maken.

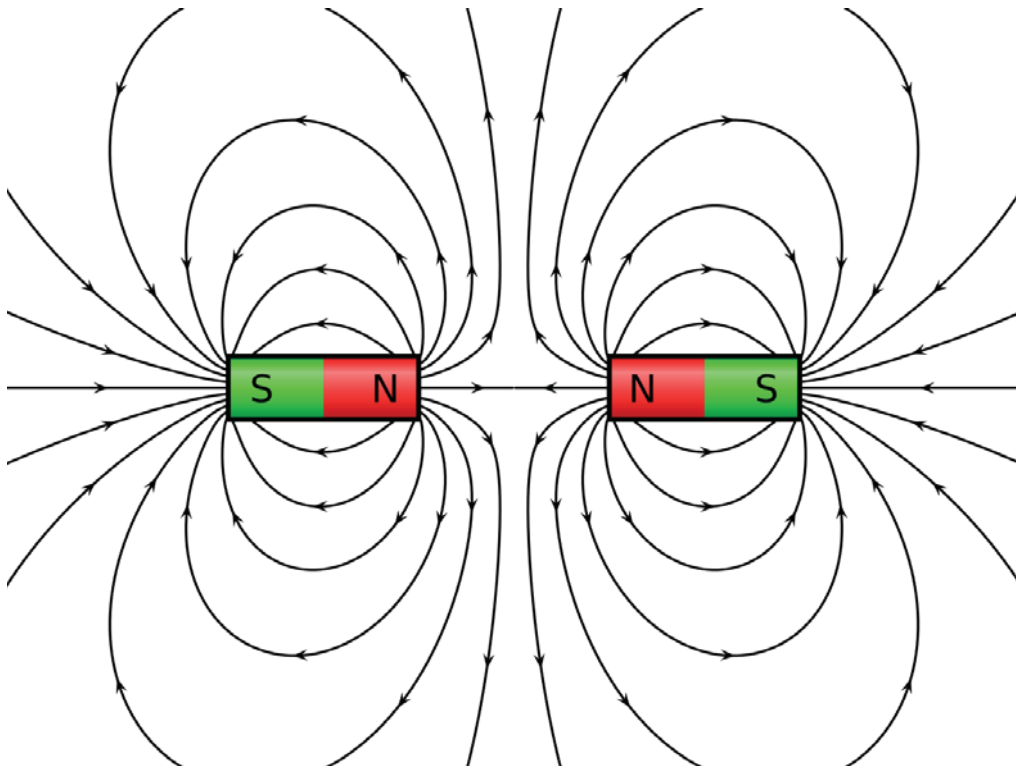
Afronding

Bespreek de activiteit klassikaal na. Wat hebben de leerlingen gezien?

Verbinding met het thema

De onderzoekers maken in hun onderzoek, net zoals in deze activiteit, de onzichtbare krachten van magneten zichtbaar. Deze zogenaamde veldlijnen die tussen de noord- en de zuidpool van magneten lopen, worden zichtbaar gemaakt met behulp van ijzervijlsel. Dit werkt als volgt: het ijzervijlsel is zelf ook magnetisch. Als het ijzervijlsel in de buurt van de magneet komt, draaien de polen in de stukjes ijzervijlsel zo om dat ze in de krachtlijnen/veldlijnen van de magneet komen te liggen.

Magneten



Schematische tekening van veldlijnen bij twee magneten die elkaar afstoten (Door: Geek3)

Tip

Soms worden de veldlijnen niet goed zichtbaar met de demonstratieset. De kans dat het goed zichtbaar wordt, is groter als je het experiment met los ijzervijlsel uitvoert. Let dan goed op:

1. IJzervijlsel is zeer fijn en kan gemakkelijk aan vingers blijven plakken. Laat de leerlingen het ijzervijlsel niet aanraken of er zelf experimenten mee doen. Was je handen heel goed en wrijf niet in je ogen nadat je de demonstratie hebt gegeven.
2. Het ijzervijlsel mag de magneet niet direct raken, dan krijg je het vijlsel niet meer van de magneet af. Zorg ervoor dat er altijd iets (bijv. papier of een plexiglasplaatje) tussen het vijlsel en de magneet zit.

Los ijzervijlsel kun je online bestellen. 🔄 Vouw een bakje van een vel papier door de randen ongeveer 2 cm om te vouwen en deze goed vast te plakken met plakband. Strooi er voorzichtig ongeveer een eetlepel ijzervijlsel in. Let er goed op dat er geen ijzervijlsel uit het bakje kan lekken.

ACTIVITEIT 4: ZELF EEN KOMPAS MAKEN

Leerlingen ontdekken hoe een kompas werkt door er zelf een te maken.

Subthema

Kracht van magneten

Doelen

- De leerlingen leren een toepassing van magneten, namelijk dat je ze kunt gebruiken om te navigeren.
- De leerlingen leren dat magneten verschillende sterktes kunnen hebben.
- De leerlingen leren hoe een kompas werkt.
- De leerlingen maken zelf een kompas.

Duur

45 minuten

Werkvorm

In twee- of drietallen

Benodigdheden

- Aantal goed werkende kompassen om te rouleren (online te bestellen )

Per groepje:

- Plastic bakje
- Naald
- Magneet
- Eén of meerdere van de volgende materialen: een (platte) kurk, stukje piepschuim, boomblad of stukje aluminiumfolie
- Werkblad 'Zelf een kompas maken' 
- Instructieblad 'Zo maak je een kompas' 

Voorbereiding

Lees het instructieblad  om te ontdekken hoe je een kompas maakt.

Activiteit

Laat eerst een kompas aan de leerlingen zien en vraag hen wat ze al weten over dit voorwerp. Vul de kennis zelf nog niet aan, het doel is voorkennis activeren. Vervolgens nodig je de groepjes uit zelf een kompas te maken. Laat ze eerst zelf aanrommelen en ontdekken hoe ze van de materialen een kompas kunnen maken. Als groepjes er niet uitkomen, kun je ze op weg helpen met vragen zoals: wat weten jullie over hoe een kompas werkt? Zou je de naald magnetisch kunnen maken? Wat zou je met het piepschuim moeten doen? Leerlingen kunnen ook bij andere groepjes gaan kijken. Groepjes die te lang of te vaak vastlopen kun je het instructieblad  geven. Als je ziet dat een tweetal een werkend kompas heeft gemaakt, geef je ze het werkblad  dat ze, met behulp van een gekocht kompas, invullen.

Magneten

Afronding

Bespreek de activiteit klassikaal na. Hoe hebben de leerlingen het kompas gemaakt? Hoe denken ze dat het kompas werkt? Wezen alle kompassen dezelfde kant op? Hoe zou het komen dat niet alle naalden precies naar het noorden wijzen (komt dat door verschillend materiaalgebruik, hoe goed het gelukt is om de naald magnetischer te maken, ...)?

Verbinding met het thema

Tijdens deze activiteit leer je waarvoor je magneten kunt gebruiken. Eén van de manieren waarop magnetisme wordt toegepast is bij het navigeren met een kompas. Daarbij wordt gebruik gemaakt van het feit dat de aarde zelf ook een grote magneet is. Het ijzer van de naald in het kompas is gevoelig voor de magnetische kracht van de aarde. De toepassing van magneten die de onderzoekers bekijken, is hoe je met behulp van heel kleine magneten informatie op kan slaan op de computer.

Tips

- Daag de leerlingen extra uit door ieder groepje alle materialen waarop je de naald kunt bevestigen (een kurk, stukje piepschuim, boomblad en een stukje aluminiumfolie) aan te reiken. Leerlingen hebben dan nog iets meer uitdaging en kunnen bovendien binnen hun groepje de verschillende materialen met elkaar vergelijken.
- Als de kompassen niet naar het noorden wijzen, controleer dan of er bijvoorbeeld geen grote ijzeren buizen in de buurt zijn die de werking van het kompas kunnen verstoren.



Leerlingen van De Lappendeken testen hun zelfgemaakte kompas

ACTIVITEIT 5: ZELF EEN ELEKTROMAGNEET MAKEN

De leerlingen maken zelf een elektromagneet.

Subthema

Elektromagnetisme

Doelen

- De leerlingen leren hoe ze een elektromagneet kunnen maken.
- De leerlingen leren dat er permanente magneten zijn en dat er magneten zijn die afhankelijk zijn van stroom.

Duur

45-60 minuten

Werkvorm

In tweetallen

Benodigdheden

Per tweetal:

- Een D-batterij (1.5V)
- Ongeveer 1 meter geïsoleerd koperdraad, 0,25mm in dikte (online te bestellen, zie [🔗](#))
- Striptang
- Grote spijker
- Plakband of isolatietape
- Paperclip
- Stopwatch
- Bakje van plastic of hout
- Instructieblad 'Elektromagneet maken' [🔗](#)

Voorbereiding

Lees het instructieblad [🔗](#) om te ontdekken hoe je een elektromagneet maakt en probeer deze opdracht eerst zelf uit.

Activiteit

Geef elk tweetal een bakje met materialen. Vertel de leerlingen dat waar elektriciteit is, magnetisme is en andersom. Daarom kun je met behulp van stroom een magneet maken, een zogenaamde elektromagneet. Vraag de leerlingen met de materialen die ze voor zich zien hun eigen elektromagneet te maken. Laat hen eerst zelf aanrrommelen en onderzoeken hoe dit moet. Als je ziet dat de ze er niet uitkomen, kun je waar nodig bijsturen door hen bijvoorbeeld te vragen wat de functie van de verschillende materialen is. Daarbij is de batterij de stroombron, de koperdraad de geleider waardoor de stroom van de batterij loopt en de spijker is het materiaal dat magnetisch wordt gemaakt. Groepjes die te lang of te vaak vastlopen kun je het instructieblad geven. Als de elektromagneet gemaakt is, kunnen de leerlingen testen of deze werkt en wat hij aantrekt. De leerlingen meten dit door te kijken of de spijker een paperclip aantrekt. Ze kunnen eventueel met een stopwatch timen hoe lang de paperclip aan de magneet blijft hangen. Ook kunnen ze meten vanaf welke afstand de

Magneten

paperclip wordt aangetrokken. Waarschuw de leerlingen wel dat de batterij na 1 à 2 minuten leeg is waarna de magneet het niet meer doet. Laat hen dus weten dat ze hun test snel moeten uitvoeren. Waarschuw de leerlingen ook dat de spijker warm kan worden zodat ze zich niet verbranden!

Afronding

Bespreek klassikaal na hoe de leerlingen de elektromagneet hebben gemaakt. Hebben ze nog opvallende dingen ontdekt?

Verbinding met het thema

Er zijn magneten die hun magnetische eigenschappen altijd behouden (permanente magneten) zoals de koelkastmagneet en de aarde en impermanente magneten zoals de elektromagneet die de leerlingen in deze activiteit hebben gemaakt. Deze elektromagneten vind je overal, ze worden bijvoorbeeld gebruikt om zwaar ijzer mee te verplaatsen of je vindt ze in de harde schijf van je computer waar ze worden gebruikt om informatie op te slaan.

Tip

Een D-batterij is na 1 à 2 minuten leeg. Hoe dunner het koperdraad, hoe minder snel de batterij leegloopt.



Leerlingen van De Lappendeken bespreken hoe ze van de gegeven materialen een elektromagneet kunnen maken

ACTIVITEIT 6: POLARISATIE VAN LICHT

Leerlingen ontdekken hoe je licht kunt filteren, hoe je de richting van licht kunt veranderen en hoe je de kracht van magneten kunt veranderen en zichtbaar maakt met licht.

Subthema

Magnetisme en licht

Doelen

- Leerlingen leren dat licht uit heel veel verschillende golven bestaat, die allemaal een andere kant opgaan.
- Leerlingen leren dat ze golven met een bepaalde richting uit het licht kunnen filteren met een polarisatiefilter.
- Leerlingen leren dat licht magnetische kracht heeft.
- Leerlingen leren dat je met licht de kracht van magneten kunt waarnemen omdat magnetisme de richting van licht kan veranderen.
- Leerlingen leren dat je met licht de eigenschappen van magneten kunt beïnvloeden: je kunt met licht de polen van magneten omdraaien (ompolen).

Duur

45 minuten

Werkvorm

In drietallen

Benodigdheden

- Filmpje over de relatie tussen magnetisme en licht 

Per groepje:

- LED zaklamp
- Stukje klei
- Vel wit papier
- 2 polarisatiefilters van 5x5 cm (online te bestellen . 1 A4 is genoeg voor ongeveer 12 stukjes = 6 groepjes)
- Stukje glas van 5x5 cm
- Stukje cellofaan van 5x5 cm (te verkrijgen bij de bloemist) in een kartonnen raampje geplakt
- Werkblad 'Stappenplan polarisatie van licht' 

Vorbereiding

Maak met behulp van karton de raampjes waarachter je het cellofaan plakt. Lees de paragrafen 'Magnetisme detecteren met licht' en 'Ons onderzoek: magneten ompolen met licht' in dit hoofdstuk en bekijk het filmpje over de relatie tussen magnetisme en licht  zodat je goed kunt uitleggen wat er met het licht gebeurt en wat de verbinding is tussen deze activiteit en het onderzoek van de onderzoeksgroep van prof. dr. Alexey Kimel.

Magneten

Activiteit

Met het stappenplan op het werkblad kunnen de groepjes zelf diverse experimenten uitvoeren. In experiment 1 maken ze een proefopstelling met twee polarisatiefilters, een zaklamp en een vel papier. Het vel papier is het scherm waarop het licht wordt geprojecteerd. Vervolgens draaien ze één van de twee filters en bekijken ze het effect. In experiment 2 onderzoeken ze wat er gebeurt als je een stukje glas tussen de filters plaatst. In experiment 3 onderzoeken ze wat er gebeurt als je een stukje cellofaan tussen de filters zet, en wat er gebeurt als je het cellofaan draait.



Leerlingen van De Lappendeken bespreken hoe ze van de gegeven materialen een elektromagneet kunnen maken

Na elk experiment schrijven ze hun bevindingen en verklaringen op. Bespreek deze klassikaal na. Je kunt hiervoor de informatie en afbeeldingen gebruiken uit de paragraaf 'Magnetisme detecteren met licht'. Je kunt zien dat het cellofaan het licht van richting doet veranderen, net zoals de magneet in de Faraday opstelling. Het cellofaan wordt gebruikt omdat de ombuiging van licht door magneten niet goed waarneembaar is met het blote oog.

Afronding

Ter afronding kun je samen met de leerlingen het filmpje bekijken waarin de link wordt gelegd tussen magneten en licht [🔗](#). Hierin wordt het principe nogmaals uitgelegd. Bovendien wordt in dit filmpje uitgelegd hoe je met behulp van licht de eigenschappen van magneten kunt veranderen (magnetten ompolen).

Verbinding met het thema

Magnetisme kan zichtbaar worden gemaakt met licht. Uit ons onderzoek blijkt dat je met licht ook de eigenschappen van magneten kunt veranderen. Met licht kun je namelijk de polen van de magneten omdraaien, het zogenaamde ompolen, waarbij de zuidpool van de magneet de noordpool

wordt en andersom. Deze bevinding is een echte doorbraak, omdat natuurkundigen niet hadden gedacht dat dit mogelijk was en de huidige bekende natuurkundige wetten niet kunnen verklaren hoe dit kan.

Tip

Je kunt ook iets anders dan glas of cellofaan tussen de twee polarisatiefilters plaatsen, bijvoorbeeld een plastic zakje of een brillenglas. Wat zie je gebeuren? Hoe komt dat?



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

Hieronder staan drie voorbeelden van onderzoek dat is bedacht en uitgevoerd door leerlingen van De Haafakkers in Heteren of De Lappendeken in De Steeg. Deze voorbeelden geven een beeld van de soort vragen die leerlingen over het thema 'Magneten' zouden kunnen stellen en hoe dat onderzocht kan worden.

Kun je een elektromagneet maken met behulp van water in een rietje?

Subthema: Elektromagnetisme

De leerlingen van De Lappendeken wisten dat water geleid. Zou het ook mogelijk zijn om een deel van het koperdraad, dat fungeert als geleider, te vervangen door water dat in een rietje zit? Eerst bedachten de leerlingen een manier om ervoor te zorgen dat het water in het rietje bleef zitten. Ze vulden het rietje met water, vouwden de uiteinden om en nieten die vast. Vervolgens werd het rietje met plakband aan het koperdraad vastgemaakt. Hun zelfgemaakte elektromagneet trok een spijker aan, waaruit de leerlingen concludeerden dat het mogelijk is om een elektromagneet te maken met behulp van water. Wat hen bij dit onderzoek opviel is dat het water in het rietje warm werd en dat je wel een vrij sterke batterij nodig was om de elektromagneet te laten werken.

Beïnvloedt welke batterij je gebruikt hoe je elektromagneet werkt?

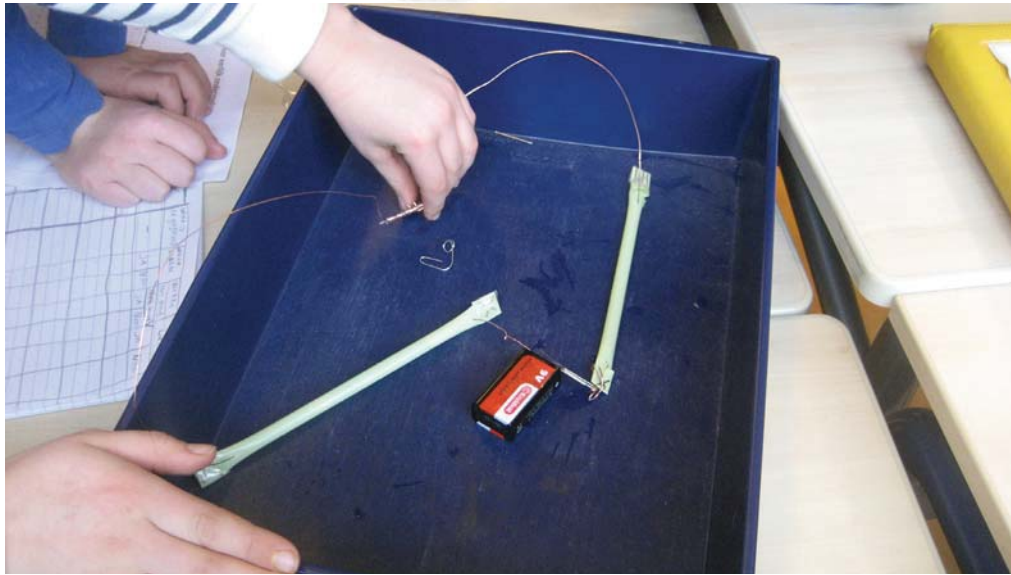
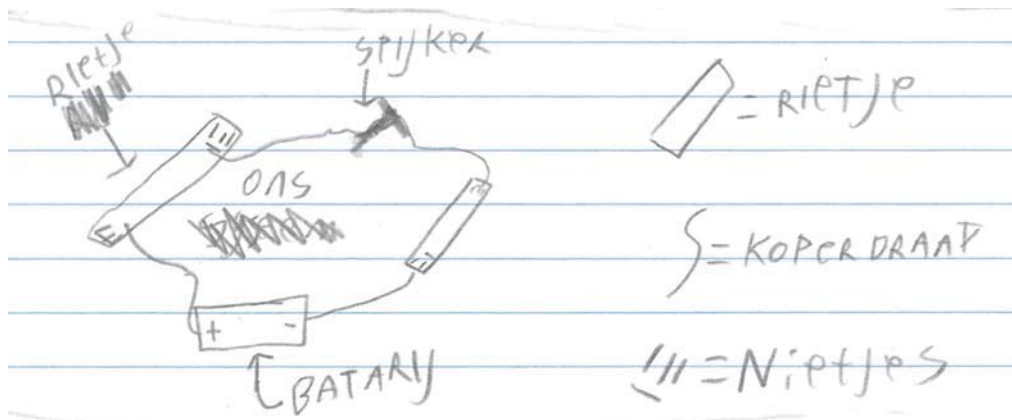
Subthema: Elektromagnetisme

Om deze vraag te beantwoorden gebruikten leerlingen van De Lappendeken drie verschillende batterijen. Met elk van deze batterijen bouwden ze een elektromagneet. Om te weten te komen hoe goed de batterij werkte, onderzochten ze hoeveel paperclips de elektromagneet aantrok en voor hoe lang. Ze ontdekten niet alleen dat er variatie zat in hoe sterk de elektromagneet was (hoeveel paperclips hij kon aantrekken), maar ook dat een elektromagneet gebouwd met sommige batterijen ineens heel veel stroom afgeeft (voor een korte periode worden veel paperclips aangetrokken) en dan snel leeg is of dat deze juist heel geleidelijk heel constant dezelfde hoeveelheid stroom afgeeft (voor een lange periode worden weinig paperclips aangetrokken).

Hoeveel magneten blijven er aan ijzerdraad hangen als we er water, zand, stenen of modder overheen gieten?

Subthema: Kracht van magneten

Een onderzoeksgroepje van basisschool De Haafakkers heeft gemeten hoeveel magneten er aan een ijzerdraad blijven hangen als je een liter/kilo water, zand, steen of modder met een maatbeker over de draad giet. Ze ontdekten dat het met modder het meest makkelijk was om de magneten van de draad af te stoten. Hun verklaring was dat dit kwam omdat modder het zwaarst is en de kans dat je een magneet mist kleiner is dan wanneer je dit met stenen doet. De leerlingen leerden veel over hoe je eerlijk onderzoek kunt doen. Je hebt bijvoorbeeld geen eerlijk onderzoek als je water, zand of stenen met een verschillend tempo over de magneten heen giet. Als je bijvoorbeeld het water en de stenen er heel langzaam overheen giet, en het zand heel snel, dan weet je niet of je meer magneten van de draad afstoot doordat het materiaal waarmee je giet anders is of dat het tempo waarmee je dit doet anders is.



Boven een tekening door de leerlingen en onder een foto van de proefopstelling

Wetenschapsknooppunt Radboud Universiteit

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

Expertise

De expertise van het WKRU ligt op het gebied van onderzoekend leren: een didactiek die een onderzoekende houding stimuleert. Het WKRU ontwikkelt voorbeeldprojecten, materialen en hulpmiddelen die leraren kunnen inzetten in hun klas om onderzoekend leren vorm te geven. Deze materialen zijn beschikbaar via www.wetenschapdeklasin.nl. De kennis en ervaring van het WKRU op het gebied van onderzoekend leren blijft zich continu ontwikkelen. Dit gebeurt op basis van inzichten uit de literatuur, ervaringen in de klas, eigen onderzoek en uitwisseling met collega-onderzoekers in het vakgebied. Naast deze boekenreeks publiceert het WKRU ook regelmatig in vaktijdschriften en wetenschappelijke tijdschriften. Een overzicht van alle artikelen van het WKRU is te vinden op onze websites.

Activiteiten

Het WKRU biedt verschillende activiteiten aan voor leraren (in opleiding), scholen en onderzoekers. Elk jaar ontwikkelen drie Radboud Science Teams, bestaande uit onderzoekers, leraren en pabo-studenten, onder leiding van het WKRU een project onderzoekend leren over een actueel wetenschappelijk thema. De opbrengsten hiervan 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 op het gebied 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.

Sponsors

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

www.wkru.nl

www.wetenschapdeklasin.nl



@wkru1



<http://Inked.in/WKRU1>

Over de boekenreeks

De boekenreeks *Wetenschappelijke doorbraken de klas in!* is een initiatief van het Wetenschapsknooppunt Radboud Universiteit (WKRU). Met deze boeken wil het WKRU (aankomend) leraren en leerlingen uit de bovenbouw van het basisonderwijs kennis laten maken met toponderzoek van de Radboud Universiteit. Het gaat daarbij om wetenschap in de volle breedte, dus alfa-, bèta-, gamma- en medisch-onderzoek. De boeken zijn bedoeld om ideeën te geven hoe leraren, volgens de didactiek van onderzoekend leren, met wetenschappelijke thema's aan de slag kunnen in de klas. De boeken geven houvast bij het vormgeven van een project en kunnen een bron van inspiratie zijn voor leraren die wetenschap de klas in willen brengen.

Wetenschappelijke thema's de klas in

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

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

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

Aan het eind van het schooljaar beschrijven de onderzoekers de inhoudelijke achtergrond van het 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 nieuwste boek wordt elk jaar in januari gepresenteerd op de Winterschool.

Leidraad onderzoekend leren

Bij deze 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 diverse materialen, werkbladen en filmpjes te vinden zijn. Daarnaast bevat de website veel informatie over onderzoekend leren, 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 8 (2019)

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 (2018)

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 (2017)

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

+ een didactisch hoofdstuk: 'Begeleiden vanuit een groeimindset'

Boek 5 (2016)

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 (2015)

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 (2014)

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 (2013)

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 (2012)

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 Wetenschappsknooppunt Radboud Universiteit ©WKRU 2019. Deze foto's mogen wel worden gebruikt in een integrale kopie van minimaal twee pagina's.

Foto's op de volgende pagina's zijn gemaakt door Jimmy Israel. Deze foto's zijn eigendom van het WKRU: 8, 10, 13, 15, 16, 18, 33, 36, 39, 41, 43, 45, 49, 54, 69, 71, 74, 80, 82, 84, 87, 88, 108, 110, 113, 114, 115, 116, 118, 120

Hoofdstuk 2: Kleding

- Japanse aankleedpop van eind 19e eeuw, publiek domein (bron: commons.wikimedia.org) 20
- Anneke Smelik, CC BY-NC-SA 4.0 WKRU 21
- Mode in Nederland rond 1600, door Albert Kretschmer en Dr. Carl Rohrbach, 1882, publiek domein (bron: commons.wikimedia.org) 21
- Jurk van Viktor&Rolf. Viktor&Rolf, The Chainsaw Massacre, Cutting Edge Couture, ready-to-wear collection, SS 2010. Installation view of Viktor&Rolf: Fashion Artists 25 Years at Kunsthall Rotterdam (2018). Photo: Team Peter Stigter. Han Nefkens Foundation / promised gift to Museum Boijmans Van Beuningen. 21
- Gothic kleding, CC BY-SA 2.0 FR Rama (bron: commons.wikimedia.org) 23
- Omen, een van de serie Exactitudes portretten, © 2014 Ari Versluis en Ellie Uyttenbroek 24
- Sweatshop in Mumbai, CC BY-SA 2.0 M M (bron: commons.wikimedia.org) 25
- Het verven van leer, CC BY-SA 4.0 Fbrandao.1963 (bron: commons.wikimedia.org) 26
- Kunstwerk van Banksy, foto: CC BY-NC-SA 2.0 Duncan Hull (bron: flickr.com) 27
- Cover boek 'Delft blue to denim blue', © 2017 Uitgeverij J.B.Tauris & Co. Ltd: London | New York 29
- Koppel dat van kleding wisselt, © 2013 Hana Pesut 30
- Verdeling van de opbrengsten van een t-shirt, CC BY-NC-SA 4.0 WKRU, aangepast van: CC BY-SA 4.0 Clean Clothes Campaign 47

Hoofdstuk 3: Magneten

- Magnetisch veld van de aarde, door Zureks, publiek domein (bron: commons.wikimedia.org) 56
- Alexey Kimel, CC BY-NC-SA 4.0 WKRU 57
- Effect van een magnetisch veld, CC BY-NC-SA 4.0 Alexey Kimel 58
- Magnetische domeinen, CC BY-NC-SA 4.0 Alexey Kimel 58
- Effect van een verticaal polarisatiefilter, CC BY-NC-SA 4.0 Saliba Barsaume 59
- Effect van twee dezelfde polarisatiefilters, CC BY-NC-SA 4.0 Saliba Barsaume 59
- Effect van twee verschillende polarisatiefilters, CC BY-NC-SA 4.0 Saliba Barsaume 60
- Faraday effect, CC BY-NC-SA 4.0 Saliba Barsaume 60
- Magnetische domeinen zichtbaar maken, CC BY-NC-SA 4.0 Roman Shantyr 61
- De experimentele opstelling, CC BY-NC-SA 4.0 Roman Shantyr 62
- Klassieke harde schijf, CC BY-SA 3.0 Eric Gaba (bron: commons.wikimedia.org) 63
- Magneet in het HFML laboratorium, Foto: Dick van Aalst (2017) 65

• Staafmagneet, CC BY-SA 3.0 Aney (bron: commons.wikimedia.org)	76
• Hoefijzermagneet, Zureks, publiek domein (bron: commons.wikimedia.org)	76
• Veldlijnen op een foto, CC BY 2.0 Windell Oskay (bron: flickr.com)	77
• Veldlijnen op een schematische tekening, CC BY-SA 3.0 Geek3 (bron: commons.wikimedia.org)	77
• Veldlijnen bij twee magneten, CC BY-SA 3.0 Geek3 (bron: commons.wikimedia.org)	78

Hoofdstuk 4: Protest

• Kunstprotest tijdens de G20, CC BY-SA 4.0 Frank Schwichtenberg (bron: commons.wikimedia.org)	90
• Rellen tijdens de G20, CC BY-SA 2.0 Montecruz Foto (bron: flickr.com)	90
• Agnes Akkerman, CC BY-NC-SA 4.0 WKRU	91
• De Arabische Lente, CC BY-NC-SA 4.0 WKRU, aangepast van: Arab Spring and Regional Conflict Map, door Ian Remsen, publiek domein (bron: commons.wikimedia.org)	91
• De verspreiding van protest bij fastfoodrestaurants, CC BY-NC-SA 4.0 WKRU, aangepast van: Map of USA, CC BY-SA 3.0 Eric Pierce (bron: commons.wikimedia.org)	92
• Congres van FNV bondgenoten, CC BY 2.0 FNV Bondgenoten (bron: flickr.com)	93
• Protesten rond 'The fight for 15' (linksboven), CC BY-SA 2.0 The All-Nite Images (bron: commons.wikimedia.org)	94
• Protesten rond 'The fight for 15' (rechtsboven), CC BY-NC 2.0 SEIU Local 99 Education Workers United's Photostream (bron: flickr.com)	94
• Protesten rond 'The fight for 15' (linksonder), CC BY 2.0 Fibonacci Blue (bron: flickr.com)	94
• Protesten rond 'The fight for 15' (rechtsonder), CC BY-SA 2.0 The All-Nite Images (bron: commons.wikimedia.org)	94
• Verlies van vriendschappen door stakingen, CC BY-NC-SA 4.0 WKRU, samengesteld uit: -Man, door Otovect-Media, publiek domein (bron: pixabay.com) -Vrouw, door OpenClipart-Vectors, publiek domein (bron: pixabay.com) -Stakingsbordje, CC BY-SA 2.0 The All-Nite Images (bron: commons.wikimedia.org)	95
• Stakende leraar, © 2017 Michiel van Nieuwstadt	97
• Begin van een netwerkgraaf, CC BY-NC-SA 4.0 WKRU	106

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

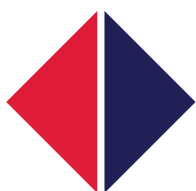
Sponsoren

Radboud Universiteit



Radboudumc

Hogeschool



van Arnhem en Nijmegen