# MRI

Bij een MRI-scan worden foto's gemaakt van doorsneden van het lichaam. Met een MRI-scan zijn bijvoorbeeld de hartspier, de kleppen of de grote slagaderen goed in beeld te brengen.

De MRI-scan werkt met sterke elektromagnetische straling. Deze straling is niet gevaarlijk. Er wordt geen röntgenstraling gebruikt. Met een MRI krijgt een arts informatie over eventuele aandoeningen en kan hij een behandeling adviseren.

## Wat ziet de arts?

De arts ziet met een MRI-scan beschadigingen en/of afwijkingen aan:

* organen (hersenen, hart, maag, lever, nieren, darmen)
* bloedvaten (dan heet het onderzoek een MRA-scan)
* botten
* spieren
* pezen
* zenuwen

## https://www.hartstichting.nl/system/rich/rich_files/rich_files/000/001/398/small/mri-hersen-2.jpg

## Het onderzoek

Een MRI werkt met magnetische straling. Bij dit onderzoek zijn daarom zijn metalen voorwerpen zoals brillen, sieraden, piercings, beugels en metalen gebitsprotheses niet toegestaan.

De patiënt moet stilliggen op een tafel die in de smalle tunnel geschoven wordt. Het deel van het lichaam dat gescand wordt ligt in het midden van de tunnel. Een MRI-onderzoek van het hart duurt meestal niet langer dan een uur.

Belangrijk om te weten is dat tijdens het onderzoek voortdurend harde ratelende geluiden te horen zijn. De patiënt krijgt een koptelefoon op om het geluid te dempen.

Na de MRI mag iemand meestal direct weer naar huis. De arts maakt een afspraak om de uitslag te bespreken.

## **Specifieke situaties**

Personen met een pacemaker of ICD mogen niet altijd in een MRI-scan. De sterke magneet kan pacemakers en ICD’s ontregelen. Er zijn ook MRI-veilige pacemakers en ICD's, maar nog niet veel mensen hebben die.

Ook als iemand een pacemaker of ICD heeft kan een MRI nodig zijn. Per patiënt en situatie wordt een zorgvuldige afweging gemaakt.

Overleg met de arts is belangrijk als iemand:

* last heeft van claustrofobie (angst voor kleine ruimtes)
* metalen voorwerpen in zijn lichaam heeft, zoals vaatclips of kunstkleppen
* zwanger is

In bovenstaande situaties beoordeelt de arts of een MRI veilig is. Als iemand erg angstig is wordt eventueel een rustgevend medicijn gegeven.

## **MRA-scan**

Een variant van MRI is MRA (Magnetic Resonance Angiography). Met deze methode onderzoekt de arts de aorta, de kransslagaders en overige (grote) bloedvaten in de borstkas. Met MRA kan de arts vernauwingen in de kransslagaders opsporen. Bij een MRA-scan wordt via een infuus contrastvloeistof toegediend.

## Onderzoek naar gebruik MRI bij diagnose hartinfarct

Martijn Smulders van het Maastricht UMC onderzoekt welke onderzoeken écht nodig zijn voor een snelle en juiste diagnose van een hartinfarct. Hij bekijkt of het zinvol is als artsen direct een MRI- of CT-scan maken als zij een hartinfarct vermoeden.

Een **MRI-scanner** is de benaming van een medisch apparaat voor [beeldvorming](https://nl.wikipedia.org/wiki/Beeldvormend_medisch_onderzoek) van het binnenste van het lichaam, zonder dat dit daarvoor hoeft te worden geopend.

De afkorting komt van [*magnetic resonance imaging*](https://nl.wikipedia.org/wiki/Magnetic_resonance_imaging), beeldvorming met magnetische resonantie. Een oudere naam is NMR-scanner, van *nuclear magnetic resonance*, oftewel [kernspinresonantie](https://nl.wikipedia.org/wiki/Kernspinresonantie). Deze term is in onbruik geraakt, omdat hij bij leken een (volledig onjuist) beeld van [kernreacties](https://nl.wikipedia.org/wiki/Kernreactie) en schadelijke [straling](https://nl.wikipedia.org/wiki/Straling) opriep. De eerste die zich realiseerde dat met NMR beelden van levend weefsel konden worden gemaakt was begin 1970 de Amerikaanse [biofysicus](https://nl.wikipedia.org/wiki/Biofysica) [Raymond Damadian](https://nl.wikipedia.org/wiki/Raymond_Damadian). Tegen 1977 kon hij een eerste (enorm groot) prototype laten zien. Daarna ging de ontwikkeling snel en ieder jaar worden er verbeteringen in de beeldvorming en verwerking aangebracht.

**Inhoud**

 [verbergen]

* [1 Uiterlijk](https://nl.wikipedia.org/wiki/MRI-scanner#Uiterlijk)
  + [1.1 Recente ontwikkelingen in modellen](https://nl.wikipedia.org/wiki/MRI-scanner#Recente_ontwikkelingen_in_modellen)
* [2 Werking](https://nl.wikipedia.org/wiki/MRI-scanner#Werking)
  + [2.1 Kernspin, gradiënt en puls](https://nl.wikipedia.org/wiki/MRI-scanner#Kernspin.2C_gradi.C3.ABnt_en_puls)
  + [2.2 T1 en T2](https://nl.wikipedia.org/wiki/MRI-scanner#T1_en_T2)
  + [2.3 Visualisatie en resolutie](https://nl.wikipedia.org/wiki/MRI-scanner#Visualisatie_en_resolutie)
  + [2.4 Contrastmiddelen](https://nl.wikipedia.org/wiki/MRI-scanner#Contrastmiddelen)
* [3 Beperkingen door het magneetveld](https://nl.wikipedia.org/wiki/MRI-scanner#Beperkingen_door_het_magneetveld)
* [4 MRI en CT](https://nl.wikipedia.org/wiki/MRI-scanner#MRI_en_CT)
* [5 Basissequenties](https://nl.wikipedia.org/wiki/MRI-scanner#Basissequenties)
* [6 Zie ook](https://nl.wikipedia.org/wiki/MRI-scanner#Zie_ook)
* [7 Externe links](https://nl.wikipedia.org/wiki/MRI-scanner#Externe_links)

**Uiterlijk[**[**bewerken**](https://nl.wikipedia.org/w/index.php?title=MRI-scanner&action=edit&section=1)**]**

Een traditionele MRI-scanner bestaat uit een beweegbare tafel waar de patiënt op plaatsneemt die nauwkeurig in een holle cilindrische magneet kan worden geschoven, waarvan het [magneetveld](https://nl.wikipedia.org/wiki/Magnetisme) (tussen 0,5 en 7 [tesla](https://nl.wikipedia.org/wiki/Tesla_(eenheid)) sterk) wordt opgewekt door [supergeleidende](https://nl.wikipedia.org/wiki/Supergeleiding) spoelen. De scanners van 7 tesla worden enkel gebruikt in (medische) onderzoekscentra. Het [LUMC](https://nl.wikipedia.org/wiki/Leids_Universitair_Medisch_Centrum) in Leiden en het [UMC](https://nl.wikipedia.org/wiki/Universitair_Medisch_Centrum_Utrecht) in Utrecht hebben zo'n scanner. Een MRI-scanner van 9,4 tesla werd in 2013 in een nieuw onderzoekscentrum van de [Universiteit Maastricht](https://nl.wikipedia.org/wiki/Universiteit_Maastricht) geplaatst.[[1]](https://nl.wikipedia.org/wiki/MRI-scanner#cite_note-1)

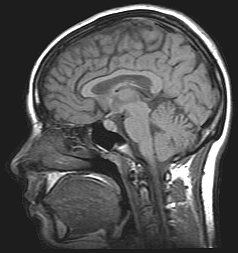
De spoelen moeten door vloeibaar [helium](https://nl.wikipedia.org/wiki/Helium) worden gekoeld en onder andere de apparatuur daarvoor maakt het apparaat nog steeds zo duur. Recente vooruitgang in de [vastestoffysica](https://nl.wikipedia.org/wiki/Vastestoffysica) heeft echter materialen opgeleverd die bij hogere temperaturen dan van vloeibaar helium ook supergeleiding vertonen. Deze kunnen gekoeld worden met het veel beter hanteerbare, en dus veel goedkopere, vloeibare [stikstof](https://nl.wikipedia.org/wiki/Stikstof_(element)). De verwachting is dat MRI-scanners een flink stuk goedkoper en kleiner kunnen worden en daardoor ook door kleinere ziekenhuizen en klinieken gebruikt zullen gaan worden.

**Recente ontwikkelingen in modellen[**[**bewerken**](https://nl.wikipedia.org/w/index.php?title=MRI-scanner&action=edit&section=2)**]**

Door recentelijke ontwikkelingen komen er naast de traditionele holle cilindrische systemen ook meer open systemen beschikbaar. Deze open systemen zijn vooral voor patiënten met [claustrofobie](https://nl.wikipedia.org/wiki/Claustrofobie) van belang: de patiënt ligt nog steeds, echter de cilinder is vervangen door twee platen die zich onder en boven de patiënt bevinden. Nog een stap verder gaan de systemen waarbij de patiënt, in plaats van in de traditionele, horizontaal liggende positie, ook verticaal (staand en zittend en alle posities daartussenin) gepositioneerd kan worden. Een dergelijk systeem stelt de [radioloog](https://nl.wikipedia.org/wiki/Radiologie) in staat om de patiënt te onderzoeken in een natuurlijker positie, waarbij het lichaam onderhevig is aan de normale dagelijkse omstandigheden onder invloed van de [zwaartekracht](https://nl.wikipedia.org/wiki/Zwaartekracht).

Verder kenmerkt zo'n systeem zich door een nog opener ervaring die patiënten hebben, doordat de patiënt zich in een natuurlijke verticale positie tussen twee wanden bevindt en daardoor een vrijwel onbelemmerd uitzicht heeft. Voor patiënten die claustrofobische aanleg blijken te hebben voor een traditioneel hollecilindermodel en ook voor patiënten met [obesitas](https://nl.wikipedia.org/wiki/Obesitas) (overgewicht) kunnen dergelijke open modellen uitkomst bieden.

**Werking[**[**bewerken**](https://nl.wikipedia.org/w/index.php?title=MRI-scanner&action=edit&section=3)**]**

[](https://commons.wikimedia.org/wiki/File:MRI_brain.jpg)

MRI-scan van de [hersenen](https://nl.wikipedia.org/wiki/Hersenen)

[](https://commons.wikimedia.org/wiki/File:User-FastFission-brain.gif)

Animatie van een [fMRI-scan](https://nl.wikipedia.org/wiki/Functionele_MRI). Horizontale doorsneden van de hersenen worden getoond, van boven naar beneden. De stip linksboven is een vitamine-E-pil, die tegen het hoofd geplakt was om links en rechts niet te verwisselen.

De MRI-scanner is gebaseerd op dezelfde technieken als de kernspinresonantie-[spectroscopie](https://nl.wikipedia.org/wiki/Spectroscopie) zoals die in de [chemische](https://nl.wikipedia.org/wiki/Scheikunde) [analyse](https://nl.wikipedia.org/wiki/Analytische_scheikunde) wordt gebruikt.

**Kernspin, gradiënt en puls[**[**bewerken**](https://nl.wikipedia.org/w/index.php?title=MRI-scanner&action=edit&section=4)**]**

De werking berust hierop dat [isotopen](https://nl.wikipedia.org/wiki/Isotoop) met een oneven aantal [kerndeeltjes](https://nl.wikipedia.org/wiki/Atoomkern), bijvoorbeeld [waterstof](https://nl.wikipedia.org/wiki/Waterstof_(element)) en [fosfor](https://nl.wikipedia.org/wiki/Fosfor), een magnetisch veld hebben. Dit minuscule magneetje - de *kernspin* - kan met een extern magneetveld mee, of tegen een extern magneetveld in werken. Dit is een [kwantumeffect](https://nl.wikipedia.org/wiki/Kwantumeffect), tussenstanden zijn niet mogelijk. Tussen deze twee toestanden bestaat een energieverschil, afhankelijk van de sterkte van het externe magneetveld.

Wordt de kern nu blootgesteld aan een puls [elektromagnetische straling](https://nl.wikipedia.org/wiki/Elektromagnetische_straling) met precies de goede energie (bij MRI-scanners zijn dat radiogolven), dan kan de spin daardoor omklappen. De zo 'aangeslagen' kern valt na een tijdje weer terug in de grondtoestand onder het uitzenden van een [foton](https://nl.wikipedia.org/wiki/Foton). Door een [gradiënt](https://nl.wikipedia.org/wiki/Gradi%C3%ABnt_(wiskunde)) in de sterkte van het magneetveld te maken, de waterstofkernen aan te slaan en dan te meten hoeveel straling van verschillende golflengten terugkomt van de terugvallende spins is te weten te komen op welke plaats hoeveel waterstofkernen zitten. De enorme hoeveelheid metingen wordt in een [computer](https://nl.wikipedia.org/wiki/Computer) verwerkt tot een 3-dimensionaal plaatje dat bijvoorbeeld het waterstofgehalte van de weefsels van de patiënt aangeeft. Aangezien allerlei soorten weefsel verschillende waterstofdichtheden hebben kunnen dan details van de anatomie worden waargenomen. [Bloed](https://nl.wikipedia.org/wiki/Bloed) is bijvoorbeeld te onderscheiden van [vet](https://nl.wikipedia.org/wiki/Vet) en van [orgaanweefsel](https://nl.wikipedia.org/wiki/Orgaanweefsel).

**T1 en T2[**[**bewerken**](https://nl.wikipedia.org/w/index.php?title=MRI-scanner&action=edit&section=5)**]**

Er zijn ook andere weefseleigenschappen waarvan een plaatje te maken is. Zo is de tijd te meten waarin de longitudinale spincomponent voor 63% herstelt, de zogenaamde T1. Deze is afhankelijk van de snelheid waarmee de waterstofkernen in het weefsel hun spinenergie afstaan in de vorm van warmte. Tevens is de tijd die het duurt voordat de transversale component voor 63% vervalt te meten (T2). Op T1-gewogen opnamen geeft vetweefsel een hoog signaal waardoor het in wit op het beeld zichtbaar is. Bij een T2-opname geven vocht en vloeistoffen een hoog signaal. Een T1- of T2-gewogen afbeelding wordt vervaardigd door de echotijd en repetitietijd in te stellen.

**Visualisatie en resolutie[**[**bewerken**](https://nl.wikipedia.org/w/index.php?title=MRI-scanner&action=edit&section=6)**]**

Om het resultaat te visualiseren wordt de scan door de computer meestal als een aantal 'plakjes' van het lichaam of het hoofd gepresenteerd, die naar keuze in de drie anatomische vlakken ([sagittaal](https://nl.wikipedia.org/wiki/Sagittaal), [transversaal](https://nl.wikipedia.org/wiki/Transversaal), [coronaal](https://nl.wikipedia.org/wiki/Coronaal)) kunnen worden bekeken. Vaak kan zelfs elk mogelijk vlak onder willekeurige hoek gekozen worden - de gegevens kunnen door een snelle computer op iedere gewenste manier worden gepresenteerd, de enige beperkende factor is de benodigde rekentijd. Ook driedimensionale weergaven van bepaalde structuren in een bepaalde lichtval behoren tot de mogelijkheden, zolang er maar een manier bestaat om met behulp van de software te onderscheiden welke [voxel](https://nl.wikipedia.org/wiki/Voxel) tot de structuur behoort en welke niet. De software-ontwikkeling is daarom onverbrekelijk verbonden met die van de andere technieken.

Met moderne MRI-scanners is het [oplossend vermogen](https://nl.wikipedia.org/wiki/Resolutie_(digitale_beeldverwerking)) ongeveer 0,3 millimeter (2005).

**Contrastmiddelen[**[**bewerken**](https://nl.wikipedia.org/w/index.php?title=MRI-scanner&action=edit&section=7)**]**

Om het contrast van de MRI-scans te verhogen kan men een [contrastmiddel](https://nl.wikipedia.org/wiki/Contrastmiddel) in de bloedstroom injecteren. Om een artrogram van bijvoorbeeld de schouder, heup of pols te maken wordt dit contrastmiddel verdund in het gewricht geïnjecteerd. Contrastmiddelen voor MRI zijn meestal [gadoliniumverbindingen](https://nl.wikipedia.org/wiki/Gadolinium), die [paramagnetische](https://nl.wikipedia.org/wiki/Paramagnetisme) eigenschappen hebben. Voorbeelden zijn: gadoterate meglumine (Gd-DOTA, merknaam: Dotarem), [gadopentetaatdimeglumine](https://nl.wikipedia.org/w/index.php?title=Gadopentetaatdimeglumine&action=edit&redlink=1) (Gd-DTPA, merknaam: Magnevist), [gadoxetaat](https://nl.wikipedia.org/wiki/Gadoxetaat) (Gd-EOB-DTPA, merknaam: Primovist) en [gadobutrol](https://nl.wikipedia.org/wiki/Gadobutrol) (Gd-BT-DO3A, merknaam: Gadovist). De gadoliniumverbindingen kunnen echter moeilijk uitgescheiden worden bij patiënten met een nierstoornis en in ernstige gevallen kan het nodig zijn om ze te verwijderen door middel van [hemodialyse](https://nl.wikipedia.org/wiki/Dialyse). Bij patiënten met een ernstige nierinsufficiëntie kunnen bepaalde soorten gadoliniumhoudende contrastmiddelen ook een toxische reactie ([nefrogene systemische fibrose](https://nl.wikipedia.org/wiki/Nefrogene_systemische_fibrose)) veroorzaken. Tot nu toe lijken de minder stabiele verbindingen (non-ionisch, lineair) de boosdoeners te zijn. Sommige contrastmiddelen kunnen ook [allergische reacties](https://nl.wikipedia.org/wiki/Allergie) veroorzaken.

**Beperkingen door het magneetveld[**[**bewerken**](https://nl.wikipedia.org/w/index.php?title=MRI-scanner&action=edit&section=8)**]**

[](https://commons.wikimedia.org/wiki/File:DIN_4844-2_D-P011.svg)

Veelvoorkomend veiligheidssymbool

[](https://commons.wikimedia.org/wiki/File:20151214_Waarschuwingstekst_MRI-scanner_UMCG_Groningen_NL.jpg)

Waarschuwingstekst bij een MRI-scanner in het [UMCG](https://nl.wikipedia.org/wiki/Universitair_Medisch_Centrum_Groningen) (2015)

Bij een MRI-scan mag beslist geen [ferrometaal](https://nl.wikipedia.org/wiki/Ferrometaal) aanwezig zijn. Dat geldt zelfs voor [make-up](https://nl.wikipedia.org/wiki/Make-up), waarin vaak metaaldeeltjes zitten. Kleding met [ritssluitingen](https://nl.wikipedia.org/wiki/Ritssluiting) en metalen knopen moet worden uitgetrokken. Gouden sieraden en gouden tanden zijn geen probleem.

De patiënt krijgt een drukknop in zijn hand waarmee hij om hulp kan roepen. Deze werkt met luchtdruk: het is geen elektrische drukknop maar een knijpballetje. Hij krijgt een koptelefoon zodat hij tijdens het onderzoek naar muziek kan luisteren. Deze is met een slang verbonden met een luidsprekertje dat elders is opgesteld.

De aanwezigheid van sommige metalen voorwerpen in het lichaam van patiënten (onder andere [endoprothesen](https://nl.wikipedia.org/wiki/Heupimplantaat), [pacemakers](https://nl.wikipedia.org/wiki/Pacemaker), [spiraaltjes](https://nl.wikipedia.org/wiki/Spiraaltje), neurostimulatoren, insulinepompen, intraoculaire metaaldeeltjes, metalen kunsthartkleppen en [cochleaire implantaten](https://nl.wikipedia.org/wiki/Cochleair_implantaat)[[2]](https://nl.wikipedia.org/wiki/MRI-scanner#cite_note-2)) kan, afhankelijk van de sterkte van het magnetische veld van het MRI-apparaat, een [contra-indicatie](https://nl.wikipedia.org/wiki/Contra-indicatie) zijn voor het uitvoeren van het MRI-onderzoek, omdat het plaatsen van deze voorwerpen in een magnetisch veld een gevaar kan opleveren voor de patiënt. Dit geldt vooral voor [ferromagnetische](https://nl.wikipedia.org/wiki/Ferromagnetisme) materialen. Er zijn gevallen bekend van patiënten met metalen clips op slagaders van de hersenen waarbij tijdens een MRI-onderzoek de clips losschoten en letsel aan de hersenen toebrachten. Moderne implanteerbare clips en andere voorwerpen zijn om deze reden in het algemeen niet gevoelig meer voor magneetvelden (worden veelal gemaakt van [titanium](https://nl.wikipedia.org/wiki/Titanium)) maar kunnen soms nog wel de beeldvorming bij MRI verstoren. Normaal gesproken ligt hierbij de grens bij het jaar [1990](https://nl.wikipedia.org/wiki/1990): ferromagnetische clips die hiervoor intracranieel zijn aangebracht of die minder dan vijf weken voor het onderzoek zijn geplaatst vormen een absolute contra-indicatie voor het vervaardigen van een MRI. Ook bij een zwangerschapsduur korter dan twaalf weken wordt meestal geen MRI vervaardigd. Oude [tatoeages](https://nl.wikipedia.org/wiki/Tatoeage) (die door het magneetveld kunnen vervloeien) en claustrofobie vormen relatieve contra-indicaties.

**MRI en CT[**[**bewerken**](https://nl.wikipedia.org/w/index.php?title=MRI-scanner&action=edit&section=9)**]**

Hoewel de beelden van een MRI-onderzoek in eerste instantie lijken op die van een [CT-scanner](https://nl.wikipedia.org/wiki/Computertomografie) zijn er toch grote verschillen. Een CT-scanner meet absorptie van [röntgenstraling](https://nl.wikipedia.org/wiki/R%C3%B6ntgenstraling), vooral het dichte calcium in botten valt daardoor sterk op. Een MRI-scanner meet het voorkomen van één element, vaak is dat waterstof. Een MRI-scanner stelt de patiënt niet bloot aan de ioniserende straling van CT-scanners. Er zijn wel andere gevaren, zoals het eerder genoemde sterke magnetisme. Bij specifieke instellingen kan door het gebruik van de radiogolven de temperatuur in de patiënt wat oplopen. De scanner lijkt dan op een zeer groot uitgevallen [magnetron](https://nl.wikipedia.org/wiki/Magnetron_(oven)). Er zit voldoende beveiliging op de scanners om de opwarming minimaal te houden. Als er zich toch metalen voorwerpen in of op de patiënt bevinden, dan kunnen deze, bij specifieke instellingen van de scanner, wel nare brandwonden veroorzaken.

CT en MRI vullen elkaar aan, ze kunnen elkaar niet compleet vervangen.

Medische toepassing: MRI

Onderwerp: trilling en golf, licht, elektromagnetisch spectrum, radioactiviteit, atoomfysica, kernfysica, elektrische stroom, elektrisch veld en magnetisch veld, biofysica, quantummechanica

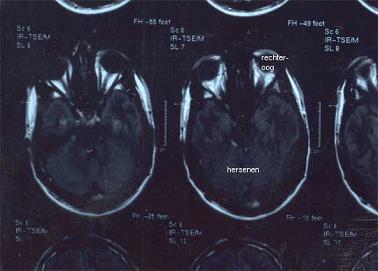
MRI staat voor magnetic resonance imaging. Zoals de naam ons al duidelijk maakt, kun je met MRI afbeeldingen maken met behulp van magnetische resonantie. Deze afbeeldingen kunnen van verschillende delen van het lichaam gemaakt worden, bijvoorbeeld de hersenen of de longen. Er hoeft dus niet in het lichaam gesneden te worden. Dat is belangrijk bij deze methode. De MRI wordt bijvoorbeeld gebruikt om kankercellen op te sporen. De techniek van de MRI is gebaseerd op de eigenschap van een deeltje in de kern (nucleus) van het waterstofatoom. Een proton is namelijk gevoelig voor magnetische velden.

De MRI heeft raakvlakken met het thema supergeleiding: [Themapagina supergeleiding.](http://www.natuurkunde.nl/artikelen/view.do?supportId=168165)

Omdat bij onderzoek van weefsel in bepaalde gevallen gebruik wordt gemaak van radioactieve contrastvloeistof is ook een bezoek aan de [themapagina kernfysica/radioactiviteit](http://www.natuurkunde.nl/artikelen/view.do?supportId=312675) zinvol.

Jij bestaat voor 63% uit waterstofatoom

Het menselijk lichaam bestaat voor het grootste gedeelte uit vet en water. Vet- en watermoleculen bevatten waterstofatomen. Jouw lichaam bestaat ongeveer voor 63% uit waterstofatomen. Omdat het waterstofatoom alleen een proton in de kern heeft zitten, is dit atoom bijzonder geschikt om te bekijken met de MRI-techniek.

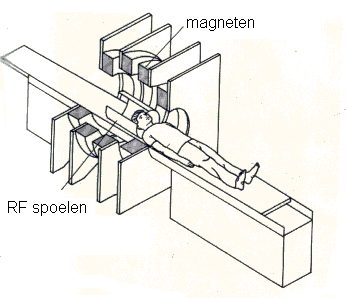


Hierboven is een MRI-scan van het menselijk hoofd te zien.

De MRI nader bekeken

Waaruit bestaat een MRI-scanner dan precies? Hij bestaat voor een groot deel uit een aantal spoelen. De buitenste spoel is een gelijkspanningsspoel (DC-spoel). Deze spoel zorgt ervoor dat er een sterk homogeen magnetisch veld in het apparaat heerst. Om dit sterke veld (1,5 T is gangbaar) te ontwikkelen is een groot elektrisch vermogen nodig. De DC-spoelen worden daarom op een temperatuur van 4K gehouden, zodat ze supergeleidend zijn.

Het meten zelf gebeurt door een andere spoel. Dit is een RF spoel die met een frequentie aangestuurd wordt in het gebied van de radiofrequentie (grofweg tussen de 15 MHz en de 80 MHz).



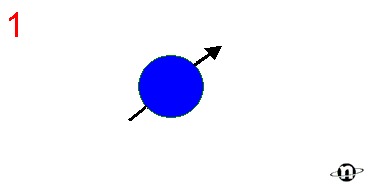
Een gangbare opstelling van een MRI. Bron: Physics for scientists and engineers, Prentice Hall Int.

Een MRI-scanner heeft ten slotte nog een aantal shielding-spoelen. Door deze spoelen loopt de stroom in de andere richting. De shieldingspoelen hebben een speciaal doel. In verband met veiligheid compenseren ze het magneetveld dat buiten het apparaat opgewekt wordt.

Theorie van de MRI

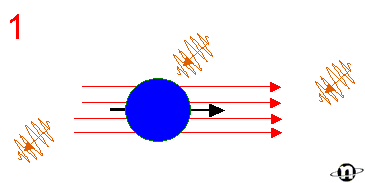
Hoe worden nu de beelden met een MRI-scanner gemaakt? Plaatsen waar veel waterstofatomen voorkomen geven op de foto een afwijkend beeld. We leggen uit hoe een MRI-scanner die waterstofatomen kan detecteren.

Protonen kunnen beïnvloed worden door magnetische velden. Net als de magneetnaald van een kompas richt een proton zich naar een magnetisch veld. Waterstofatomen hebben in de kern slechts één proton en komen in het hele lichaam voor. Dat maakt waterstof zo geschikt voor de MRI. De protonen zullen zich door hun magnetische eigenschappen richten naar een extern magnetisch veld. Deze toestand wordt "spin up" genoemd. Zie figuur 1.



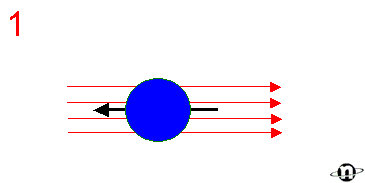
Figuur 3. Een proton richt zich naar een magneetveld. Het bevindt zich in de laagste energietoestand 'Spin up'

Onder invloed van fotonen - uitgezonden door de RF-spoel met radiofrequentie - kan deze energietoestand veranderen. Opgewekt door de RF-spoel kan een foton het proton naar de Spin down toestand brengen. Dit wordt de resonantiefrequentie genoemd. De frequentie waarbij dit gebeurt is afhankelijk van de grootte van het magneetveld en van het atoom waar het proton deel van uitmaakt. Zie figuur 4.



Figuur 4. Onder invloed van een invallend foton richt het proton zich tegen het veld. Het bevindt zich dan in de hogere energietoestand 'Spin down'.

Als je de stroom door de RF-spoel uitzet, zullen de protonen weer terugvallen naar hun oude toestand. Bij dit terugvallen komt de opgenomen energie in vorm van "dipool"-straling vrij. Ook de energietoestanden van deze dipoolstraling blijken gekwantiseerd, net als de energietoestanden van de elektronen in het model van Bohr. Dus geldt dat de vrijgekomen energie gelijk is aan: ΔE=hf. Zie figuur 3.



Figuur 5. Het RF-veld is uitgeschakeld en er vallen geen fotonen meer in. Het proton zal vanzelf weer terugvallen naar de laagste energietoestand. Daarbij wordt een foton uitgezonden. Deze straling wordt 'dipoolstraling' genoemd

Detectie en beeldvorming

De frequentie waarbij de protonen beïnvloed kunnen worden, hangt af van de sterkte van het magneetveld. Met een extra spoel (gradiëntspoel) kan de sterkte van het magneetveld lokaal beïnvloed worden. Men kan vervolgens vaststellen waar de dipoolstraling vandaan komt. De uitgezonden dipoolstraling wordt opgevangen op detectoren. Met behulp van een computer wordt het signaal van de detectoren omgezet in een plaatje (zowel tweedimensionale als driedimensionale plaatjes zijn mogelijk).

Om nog betere beelden te verkrijgen, kun je ook contrastvloeistoffen/gassen toevoegen. Je kunt namelijk met behulp van de vloeistof lokaal het magnetisch veld veranderen. Verschillende soorten weefsels zullen hierdoor een ander signaal geven. Een voorbeeld van zo’n contrastvloeistof is 129Xenon, waarmee opvallend duidelijke beelden kunnen worden gemaakt van longen en bloedvaten.

Gerelateerde opgaven

Icon opdracht

* [](http://www.natuurkunde.nl/opdrachten/1612/mri-warmteontwikkeling)

MRI, warmteontwikkeling

Wordt de MRI-scanner heet?

* [](http://www.natuurkunde.nl/opdrachten/1128/mri-magneetvelden-en-supergeleiding)

MRI, magneetvelden en supergeleiding

Natuurkunde in het ziekenhuis.

* [](http://www.natuurkunde.nl/opdrachten/841/mri-het-waterstofatoom)

MRI, het waterstofatoom

Waterstofatomen voor medische doeleinden.

Gerelateerde artikelen

Icon opdracht

* [](http://www.natuurkunde.nl/artikelen/387/nobelprijs-2003-natuurkunde-supergeleiding)

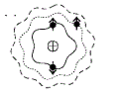
Nobelprijs 2003 Natuurkunde. Supergeleiding.

Wat was in 2003 het belangrijkste natuurkunde-o...

* [](http://www.natuurkunde.nl/artikelen/1075/nobelprijs-2003-geneeskunde-mri)

Nobelprijs 2003 Geneeskunde. MRI.

Nobelprijs geneeskunde voor combi tussen natuur...

* [](http://www.natuurkunde.nl/artikelen/614/supergeleiding-hoe-werkt-dat)

Supergeleiding, hoe werkt dat?

Stroom zonder weerstand, kan dat?

Robert Bos

Kijk ook eens op onze andere websites: [Logo science space](http://www.sciencespace.nl/)    [Logo mijnscheikunde](http://www.mijnscheikunde.nl/)    [Logo exactwatjezoekt](http://www.exactwatjezoekt.nl/)

[Logo](http://www.natuurkunde.nl/)[[Nieuwsbrief icon](http://www.natuurkunde.nl/aanmelden-nieuwsbrief)Meld je aan voor de nieuwsbrief!](http://www.natuurkunde.nl/aanmelden-nieuwsbrief)

* [Home](http://www.natuurkunde.nl/)
* [Artikelen](http://www.natuurkunde.nl/artikelen)
* [Opgaven](http://www.natuurkunde.nl/opdrachten)
* [Examen](http://www.natuurkunde.nl/examen)
  + [[Icon rect](http://www.natuurkunde.nl/examenopgaven-havo)Examenopgaven HAVO](http://www.natuurkunde.nl/examenopgaven-havo)
  + [[Icon rect](http://www.natuurkunde.nl/examenopgaven-vwo)Examenopgaven VWO](http://www.natuurkunde.nl/examenopgaven-vwo)
* [Films](http://www.natuurkunde.nl/filmpjes)
* [Vraagbaak](http://www.natuurkunde.nl/vraagbaak)
* [Over ons](http://www.natuurkunde.nl/over-ons)
  + [[Icon rect](http://www.natuurkunde.nl/over-ons)Over ons](http://www.natuurkunde.nl/over-ons)
  + [[Icon rect](http://www.natuurkunde.nl/comit-van-aanbeveling)Comité van Aanbeveling](http://www.natuurkunde.nl/comit-van-aanbeveling)
  + [[Icon rect](http://www.natuurkunde.nl/copyright)Copyright](http://www.natuurkunde.nl/copyright)
  + [[Icon rect](http://www.natuurkunde.nl/cookies)Cookies](http://www.natuurkunde.nl/cookies)
  + [[Icon rect](http://www.natuurkunde.nl/disclaimer)Disclaimer](http://www.natuurkunde.nl/disclaimer)
  + [[Icon rect](http://www.natuurkunde.nl/instructie-voor-auteurs)Instructie voor auteurs](http://www.natuurkunde.nl/instructie-voor-auteurs)
  + [[Icon rect](http://www.natuurkunde.nl/sponsoren)Sponsoren](http://www.natuurkunde.nl/sponsoren)
* [Links](http://www.natuurkunde.nl/links)

[Facebook](https://www.facebook.com/sciencespace)[Twitter](https://twitter.com/sciencespacenl)

Bovenkant formulier





Onderkant formulier

Bovenkant formulier





Onderkant formulier

[[Icon up](http://www.natuurkunde.nl/artikelen?page=1)Overzicht](http://www.natuurkunde.nl/artikelen?page=1)

Supergeleiding, hoe werkt dat?

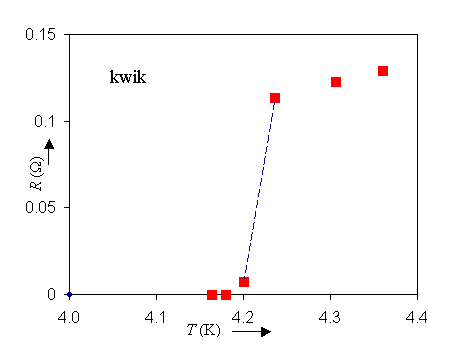
Onderwerp: atoomfysica, elektrische stroom, elektrisch veld en magnetisch veld

In 1911 deed de Nederlander Heike Kamerlingh Onnes een zeer merkwaardige ontdekking. Hij merkte dat de elektrische weerstand van een beetje kwik daalde als het werd afgekoeld. Tot zover geen verrassingen. Echter toen hij dit kwik afkoelde tot minder dan 4.2 Kelvin, merkte hij dat de weerstand plotseling totaal verdween. Met andere woorden, wekte men een stroom op in een elektrische stroomkring bestaande uit kwik dat kouder is dan 4.2 K dan zou deze stroom voor eeuwig blijven bestaan.

Samengevat

Het fenomeen van het verdwijnen van de elektrische weerstand van een materiaal word aangeduid met de term supergeleiding. Na de ontdekking van Onnes is er veel onderzoek gedaan naar supergeleiding. Al snel werd duidelijk dat dit fenomeen zich ook bij andere materialen voordeed. De temperatuur waarbij een bepaalde stof supergeleidend wordt, noemt men ook wel de kritische temperatuur (Tc). Pas in 1956 is er een sluitende theorie gevonden dat de supergeleiding verklaarde (BCS-theorie). Er zijn koperverbindingen ontdekt die al bij hogere temperatuur supergeleidende eigenschappeen vertonen. Daarover zijn nog veel vragen. De zoektocht gaat door.

Deze pagina is een onderdeel van het thema "supergeleiding". Het thema supergeleiding omvat artikelen, interviews, uitleg, sommetjes. De schrijvers van de thema gaan in op de natuurkunde achter dit verschijnsel maar geven ook ruimschoots de aandacht aan de bijdrage die supergeleidende materialen leveren aan de techniek en de gezondheidszorg. Er wordt een beeld geschetst van een onderzoeksgroep die werkt aan supergeleiders. Het totale overzicht vind je [hier.](http://www.natuurkunde.nl/artikelen/view.do?supportId=168165)

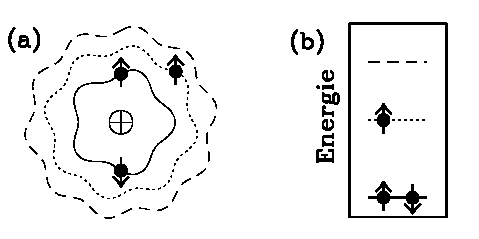


Figuur 1. De elektrische weerstand van kwik wordt nul onder een bepaalde temperatuur. Deze overgang treedt plotseling op bij 4,2 Â°C. Dit verschijnsel werd het eerst waargenomen onder leiding van de Nederlander Heike Kamerlingh Onnes.

Energiehuishouding door elektronen

Hoe ontstaat supergeleiding nou? Daarvoor moeten we eerst wat vertellen over de energiehuishouding van elektronen in metalen. Elektronen rond een atoom kunnen niet iedere willekeurige hoeveelheid energie hebben. Ze hebben bepaalde discrete energiewaardes, de zogenaamde energietoestanden.   
Naast een bepaalde energie hebben de elektronen ook een zogenaamde spin. Een spin is een bepaalde rotatie om zijn eigen as. Maar ook hier blijkt dat alleen een beperkt aantal spins mogelijk is. Een spin omhoog en een spin omlaag zijn de enige mogelijkheden (zie ook figuur 2).

*Het Pauli-verbod.* Niet ieder willekeurig elektron kan zich in iedere energietoestand begeven. In één energietoestand mogen zich geen elektronen met een gelijke spin bevinden (het zogenaamde Pauli-verbod). Indien een metaal wordt afgekoeld, zullen de elektronen terugzakken naar steeds lagere energietoestanden. Hierbij volgen ze dus de regels van het Pauli-verbod. Dat betekent dat alleen een elektron met een spin omhoog en een elektron met een spin omlaag zich in dezelfde energietoestand kunnen bevinden. Wat is dus de laagste energetische toestand van de elektronen? Dat is een toestand waarbij laag voor laag de laagste energetische toestanden zijn volgestapeld met paren van elektronen met ongelijke spin.



Figuur 2. a.Elektronen kunnen zich slechts in bepaalde energietoestanden bevinden. Dit wordt ook goed beschreven door het model van Bohr en de hypothese van Broglie.

*De Broglie hypotese.* Broglie beschouwde het elektron als staande golf. Dit wordt ook wel het 'golf-deeltje dualisme' genoemd. De gehele quantummechanica is gebaseerd op dit principe. Er kunnen geen twee elektronen met gelijke spin in een gelijke energietoestand zijn. De elektronen worden als het ware gestapeld. Te beginnen bij de plaatsen met het laagste energieniveau. Wil je meer weten over de elektronconfiguratie van een atoom of molecuul? Kijk dan eens op de volgende pagina van [wikipedia.org.](http://nl.wikipedia.org/wiki/Tabel_van_Mendeljeev/Grafische_aanduiding_van_de_elektronenconfiguratie)

In metalen zijn de atomen gerangschikt in een rooster. Daarbij zijn de elektronen, die zich vrij kunnen bewegen, de ladingsdragers. Gaat er een stroom lopen door een metaal, dan wil dat zeggen dat de elektronen zich verplaatsen door het rooster. Hierbij worden ze gehinderd door de metaalatomen. Door botsingen met deze atomen verliezen de elektronen energie en zo ontstaat er elektrische weerstand.

|  |
| --- |
|  |
| Figuur 3. In deze animatie is te zien dat vrije elektronen in een geleider gehinderd worden door het rooster. |

De botsingen zijn niet elastisch en dus komt er warmte vrij. Aan dit verschijnsel kun je veel plezier beleven. Denk maar aan de de warmteontwikkeling in een elctrisch kacheltje. In sommige toepassingen is deze warmteontwikkeling echter zeer ongewenst .

Twee voorbeelden waar warmteontwikkeling gewoon energieverlies betekent en bovendien technische problemen veroorzaakt zijn MRI en de zweeftrein. Zie "gerelateerde artikelen" bovenaan.

Cooperparen

Onder deze kritische temperatuur gaan de twee elektronen in dezelfde energetische toestand paren vormen. Daardoor wordt de energie per elektron nog verder verlaagd. Deze paren die zo gevormd zijn heten Cooperparen.  
Bij een stof onder de kritische temperatuur zijn de ladingsdragers dus niet de afzonderlijke elektronen, maar de Cooperparen (met een lading 2e-). De afstand tussen de twee elektronen van een Cooperpaar is echter relatief groot. Hierdoor is het voor een Cooperpaar als geheel erg moeilijk om te botsen met een enkel atoom. Dit gebeurt dus ook zeer weinig. De paren kunnen ongehinderd voortbewegen door de stof. Daardoor is ook de elektrische weerstand verdwenen. Mensen die geïnteresseerd zijn in de exacte manier waarop Cooperparen ontstaan, moedigen wij aan om de literatuurverwijzingen te raadplegen.

*Literatuurverwijzing:* M. Cyrot en D. Pavuna, Introduction to superconductivity and high-Tc materials, World Scientific, 1991. M. Tinkham, Introduction to superconductivity, McGraw-Hill, 1996.

Meissnereffect

Een zeer belangrijk gevolg van supergeleiding is het Meissnereffect. Stel je brengt een geleider (zoals een metaal) in een magneetveld. Dan zal in deze geleider een stroom geïnduceerd worden, die op zijn beurt weer een magneetveld oproept. Het blijkt dat dit geïnduceerde magneetveld tegengesteld van richting is aan het externe magneetveld (wet van Lenz).   
ls deze geleider nu echter geen gewone geleider maar een supergeleider is, zal de geïnduceerde stroom geen elektrische weerstand ondervinden. Het is dus mogelijk voor deze supergeleider om een intern magneetveld te creëeren dat even groot is als het externe magneetveld. Het gevolg is dat magnetische veldlijnen van een extern magneetveld een supergeleidende stof nooit kunnen penetreren. Dit effect is vernoemd naar zijn ontdekker Walther Meissner (1882-1974).

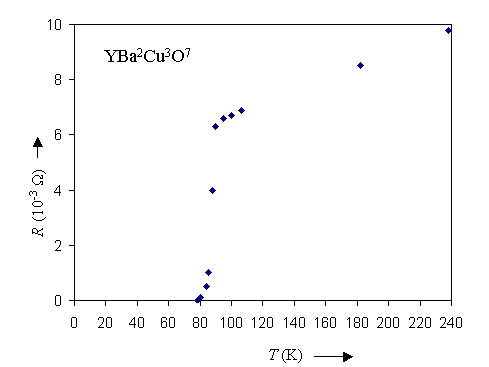
*De proef.* Een vaak gebruikte demonstratie van het Meisnereffect - in combinatie met een hoge-Tc supergeleider - is de proef waarin men een klein magneetje in de lucht laat zweven. De proef gaat als volgt. Neem een stukje hoge-Tc supergeleidend materiaal, met een kritische temperatuur boven het kookpunt van stikstof. Leg dit materiaal in een open piepschuimen bakje. Vervolgens giet je er vloeibaar stikstof over. Dan is dit materiaal supergeleidend gemaakt. Als je nu een klein stukje magnetisch materiaal boven de supergeleider brengt, induceert dit magneetje een magneetveld in de supergeleider. Dat magneetveld stoot het magneetje zelf af. Als het magneetje niet te groot is, kan deze afstotende kracht de zwaartekracht overwinnen. Zo kun je het magneetje laten zweven!

|  |
| --- |
|  |
| Figuur 4. Het Meissnereffect in beeld gebracht |

Het blijkt wel dat dit effect niet onbegrensd is. Als het externe magneetveld namelijk groot genoeg is, kan het de Cooperparen verbreken. Daarmee is het ook gedaan met de supergeleiding en het Meissnereffect. Deze grenssterkte van het magnetische veld wordt het kritische veld (Bc) genoemd. Deze waarde ligt hoger, wanneer de supergeleider verder onder de kritische temperatuur ligt. Bc is dus temperatuursafhankelijk.

Hoge-Tc supergeleiders

Sinds de ontdekking van de supergeleiding heeft men grote mogelijkheden gezien voor de toepassing ervan. Denk aan stroomkabels waarbij geen verliezen meer optreden, enorm sterke elektromagneten voor bijvoorbeeld zweeftreinen etc. Het grote probleem is echter dat de kritische temperatuur zeer laag ligt. Voor kwik heeft men bijvoorbeeld vloeibaar helium nodig om het te koelen. Dit is extreem duur en kost meer dan het op zal leveren. Men is dus op zoek naar stoffen die supergeleidend worden bij veel minder lage temperaturen.   
In 1986 ontdekten Bednorz en Müller, onderzoekers van IBM, dat verschillende koper oxiden ook supergeleidende eigenschappen hebben. Het grote verschil is echter dat de kritische temperatuur van deze stoffen veel hoger liggen dan die van andere supergeleiders. De stof Tl2Ca2Ba2Cu3O10 heeft bijvoorbeeld een kritische temperatuur van 125 K.



Figuur 5. YBa2Cu3O7 is een voorbeeld van een koperlegering die supergeleidend wordt bij "hoge" temperaturen. Supergeleiding bij kamertemperatuur is nog lang geen realiteit.

Opeens kwamen de dagelijkse toepassingen een stuk dichterbij. Ook momenteel wordt er nog zeer veel onderzoek verricht, met name op het gebied van de hoge-Tc supergeleiders. Er is echter nog geen sluitende verklaring gevonden voor het supergeleidende gedrag van deze stoffen.

* [](http://www.natuurkunde.nl/artikelen/387/nobelprijs-2003-natuurkunde-supergeleiding)

Nobelprijs 2003 Natuurkunde. Supergeleiding.

Wat was in 2003 het belangrijkste natuurkunde-o...

* [](http://www.natuurkunde.nl/artikelen/1075/nobelprijs-2003-geneeskunde-mri)

Nobelprijs 2003 Geneeskunde. MRI.

Nobelprijs geneeskunde voor combi tussen natuur...

Benno Aalderink

Al op de middelbare school had ik veel interesse in de natuurkunde. Met name de practica vond ik erg leuk. Het is dus niet gek dat ik uiteindelijk koos om Technische Natuurkunde te gaan studeren in Enschede. In deze studie wordt theorie erg goed afgewisseld met de praktijk in de vorm van practica. Ik heb dan ook nooit spijt gehad van mijn keuze. Begin 2003 ben ik afgestudeerd in de richting Systeem en regeltechniek binnen Technische Natuurkunde. Ondertussen werk ik alweer ruim een jaar voor het Nederlands Instituut voor Metaal Research. Daar doe ik als promovendus onderzoek naar het lassen van aluminium met behulp van lasers. In mijn vrije tijd mag ik graag zwemmen en ook ben ik vaak in de bioscoop te vinden.