

MATERIALEN

NNH15

Je kookt in metalen pannen, niet in glazen schalen. Een diamant schittert mooier dan geslepen glas. Met gewapend beton kun je een langere brug zonder pijlers maken dan met gemetselde bakstenen.

Materialen zijn natuurlijke of gefabriceerde stoffen waarvan iets wordt gemaakt. In deze lessenserie kijken we naar het verband tussen de eigenschappen van materialen en de toepassingen waarvoor ze worden gebruikt.



In de kantlijn van de tekst staat af en toe dit pictogram. Dat geeft aan dat je op www.schoolsupport.nl/ninaweblinks een link naar een webpagina of andere informatie kunt vinden. De links op deze NiNaweblinks-pagina worden zoveel mogelijk up to date gehouden.

Colofon

Project	Nieuwe Natuurkunde
Auteur	Hans van Bommel
M.m.v.	Onne van Buuren, Rob van Haren, Kees de Lange
Vormgeving	Loran de Vries
Redactie	Harrie Eijkelhof, Koos Kortland, Guus Mulder, Maarten Pieters, Chris van Weert, Fleur Zeldenrust
Versie	mei 2012

Copyright

©Stichting natuurkunde.nl, Enschede 2012

Als uitzondering hierop is openbaarmaking of verveelvoudiging toegestaan

- voor eigen gebruik of voor gebruik in het eigen onderwijs aan leerlingen of studenten;
- als onderdeel van een ander werk, netwerk of website, tijdelijke of permanente reproductie, vertaald en/of bewerkt en/of verder ontwikkeld, voor al of niet commercieel hergebruik, mits hierbij voldaan is aan de volgende condities:

1. schriftelijke toestemming is verkregen van de Stichting natuurkunde.nl, met als contactadres de Nederlandse Natuurkundige Vereniging: verenigingsmanager@nnv.nl

2. bij hergebruik of verspreiding wordt door de gebruiker de bron correct vermeld, en de licentievoorwaarden van dit werk kenbaar gemaakt.

Voor zover de Stichting natuurkunde.nl gebruik maakt van extern materiaal heeft zij getracht toestemming te verkrijgen van eventuele rechthebbenden. Mocht u desondanks van mening zijn dat u rechten kunt laten gelden op materiaal dat in deze reeks is gebruikt dan wordt u verzocht contact op te nemen met: verenigingsmanager@nnv.nl.

Het lesmateriaal is met zorg samengesteld en getest. De Stichting natuurkunde.nl, resp. de auteurs aanvaarden geen enkele aansprakelijkheid voor onjuistheden en/of onvolledigheden in de modules, noch enige aansprakelijkheid voor enige schade, voortkomend uit het gebruik van deze modules.

INHOUDSOPGAVE

1	Material World	5
1.1	Inleiding	5
1.2	Enkele hoogtepunten uit de geschiedenis van materialen	6
1.3	Materiaal en materie	7
1.4	Vooruitblik	10
	Opgaven	11
2	Warmte doorlaten en vasthouden	13
2.1	Inleiding	13
2.2	Opwarmen	14
2.3	Dichtheid en soortelijke warmte	15
2.4	Warmtegeleiding	15
2.5	Tabelwaarden, lucht	18
2.6	Verbanden tussen materiaaleigenschappen	19
	Opgaven	22
3	Spiegeling en breking	26
3.1	Inleiding	26
3.2	Lichtbreking	26
3.3	Doorzichtig?	28
	Opgaven	30
4	Buigen of breken	34
4.1	Inleiding	34
4.2	Rekken en trekken	36
4.3	Trekken of duwen, buigen of barsten	39
	Opgaven	40
5	Macro-Micro-Nano	44
5.1	Inleiding	44
5.2	Model voor de opbouw van materialen	45
5.3	Verklaringen van warmteverschijnselen met modellen	47
5.4	Verklaringen van lichtverschijnselen met modellen	48
5.5	Verklaringen van krachtverschijnselen met modellen	48
	Opgaven	51
6	Orde in de chaos	53
6.1	Inleiding	53
6.2	Ordenen per toepassing	53
6.3	Ordenen per materiaal	54
	Opgaven	54
7	Nieuwe materialen	56
7.1	Een (literatuur)onderzoek doen	56
7.2	Biomaterialen	57
7.3	Zachte materialen: vloeibare kristallen	58
7.4	Smart materials	58
7.5	Chips	59
7.6	Coatings	59
7.7	Nieuwe materialen om je heen	60

GLOBALE OPBOUW VAN HET LESMATERIAAL

In het lesmateriaal is een aantal stijlen gebruikt. De *belangrijkste leerstof* is weergegeven in *blauwe* tekstvakken. De betekenis van de andere kleuren en stijlen is hieronder aangegeven.

In de **paarse** tekstvakken staan **theorieopdrachten** die essentiële stappen markeren in de lesstof. Ze dienen direct na het lezen van de tekst te worden gedaan. Deze opdrachten horen dus ook bij de tekst.

In het **blauwe** tekstvak ‘**Opgaven**’ staan de opgaven die je na het lezen van de tekst kan gaan maken

1 Material World

Wat weet je al van materialen?

Hoofdstukvraag	Waarvoor zijn materialen belangrijk?
-----------------------	---

Bij een coating (oppervlaktebehandeling) wordt een laagje van een stof op een andere stof aangebracht. Coatings bestaan al heel lang. Een zeer bekende coating is het chroomlaagje op het stuur van je fiets. De coatingstechniek die hiervoor gebruikt wordt heet 'galvaniseren'.

Orbitaalopdracht: Materialen om je heen.

Neem het schema hieronder over in je schrift en vul het zoveel mogelijk aan. Denk daarbij aan het volgende:

- **Tien voorbeelden** van andere materialen.
- Maak ook zelf zoveel mogelijk extra voorbeelden.
- Vaak kan een materiaalsoort, zoals "metaal", weer onderverdeeld worden naar goed kan je bijvoorbeeld ook koper en aluminium plaatsen.
- Een ballonnenpe met een vooord als "balk" geeft een eigenschap van het materiaal, waarbij het geschikt is voor de toepassing. Verbind zoveel mogelijk begrippen op de manier zoals ze in je gedachten met elkaar verbonden zijn. Zo wordt dit een "mindmap" over materialen.

Formules - Dichtheid

Voor de dichtheid van een stof geldt:

$$\rho = \frac{m}{V}$$

Symbolen: ρ is de dichtheid in kg/m³, m is de massa in kg, en V is het volume in m³.

Het doel van een coating kan van alles zijn. Een paar voorbeelden zijn coatings tegen roesten van metalen en coatings tegen hinderlijke reflecties bij lenzen of zonnewerlen.

Practicum - Grenshoek

Bepaal de grenshoek van glas (als erop staat) met water, alcohol, olie, en andere vloeistoffen. Wat is de grenshoek van water met glas? Wat is de grenshoek van water met olie? Wat is de grenshoek van water met alcohol? Wat is de grenshoek van water met olie? Wat is de grenshoek van water met alcohol? Wat is de grenshoek van water met olie?

Belangrijke nieuwe **vergelijkingen** uit de natuurkunde zijn aangegeven in **blauwe** tekstvakken. Deze heb je nodig om rekenwerk mee te kunnen verrichten.

In de **grijze** tekstvakken staan de **practicumopdrachten**.

In het **blauwe** tekstvak ‘**Begrippen**’ staan belangrijkste termen uit de tekst.

Het doel van een coating kan van alles zijn. Een paar voorbeelden zijn coatings tegen roesten van metalen en coatings tegen hinderlijke reflecties bij lenzen of zonnewerlen.

Begrippen	Samenvatting
------------------	---------------------

Vaak en faseovergang: smelten, stollen, verdampen, **condensatie**, vriesen, rijzen; **Dichtheid**; **Trek**

- Uit de ongeveer honderd verschillende atoomsoorten kunnen onnoemerloze veel verschillende soorten moleculen worden gemaakt.
- In een **gas** zitten de deeltjes van een stof ver uit elkaar.
- In een **vloeistof** en in een **vaste stof** zitten ze dicht op elkaar.
- In een **vaste stof** hebben de moleculen vaste posities.

Opgaven

93 Vroeger en nu
a. Kijk nog eens naar je mindmap met materialen en toepassingen. Welke van de materialen bestonden in de Middeleeuwen nog niet?
c. Wat is het belangrijkste verschil in de productie van ijzer, glas en steen tussen 1800 en nu?

94 Lijploss
Hoe groot denk je dat de glanstende deeltjes in lijploss zijn?

95 Grafiekspiegel
Maak een verticaal container van je schrift met met heel dik potlood. Glanzend he? Zo ook het kunstwerk "grafiekspiegel" hiernaast. Het origineel kan je vinden op [Lag](#) of je kunt het in de elektronen in grafiek zien helemaal niet, enigzins, of heel goed kunnen bewegen (net zo goed als in metaal).

96 Barstend van spanning
Maak een vergelijking tussen de uitslag voor het zich uithouden van een barst in glas en de kerende $I = \sigma_k$.

97 Korrelzout
Veel materiaal vind je in de natuur in kristalvorm: de oppervlakken zijn vlakke stukjes die bepaalde hoeken met elkaar maken. Welke stukjes van de gegeven modellen vertaalt de mooie kristalvorm van bijvoorbeeld zoutkristallen?

In het **blauwe** tekstvak ‘**Samenvatting**’ staat de minimale kennis die je paraat moet hebben.

Opgaven staan bij elkaar aan het einde van een hoofdstuk. De opgaven zijn gegroepeerd per paragraaf.

Voorkennis

Je kent:

De volgende begrippen:

- warmtetransport door stroming, straling en geleiding
- atomaire opbouw van stoffen, de structuur van het atoom, bestaande uit een kern en elektronen,
- licht, breking en reflectie.
- fase, faseovergang, molecuul, atoom, kern, elektronen;
- dichtheid, massa, volume, temperatuur en druk met bijbehorende eenheid.
- De formule voor dichtheid $\rho = \frac{m}{V}$.
- het (kwalitatieve) verband tussen temperatuur en moleculaire beweging.

Wat weet je al van materialen?

Hoofdstukvraag	Waarvoor zijn materialen belangrijk?
-----------------------	---

1.1

Inleiding

In dit beginhoofdstuk ga je kijken welke materialen je zoal tegenkomt in het dagelijks leven. We vragen je ook je voor te stellen hoe dat vroeger was. Je zult zien dat je al heel wat weet over materialen.

Om je kennis op te frissen herhalen we ook een aantal begrippen uit de onderbouw, zoals het molecuulmodel van materie, de dichtheid en druk.

Aan het eind geven we een vooruitblik op de onderwerpen waar we in deze lessenserie dieper op in gaan.

Oriëntatieopdracht - Materialen om je heen

Neem het schema hieronder over in je schrift en vul het zoveel mogelijk aan.
Denk daarbij aan het volgende:

In de open vakjes komen andere materialen.

Maak ook zelf zoveel mogelijk extra vakjes.

Vaak kan een materiaalsoort, zoals ‘metaal’, weer onderverdeeld worden: naast goud kun je bijvoorbeeld ook koper en aluminium plaatsen.

Woorden zonder vakje zijn toepassingen.

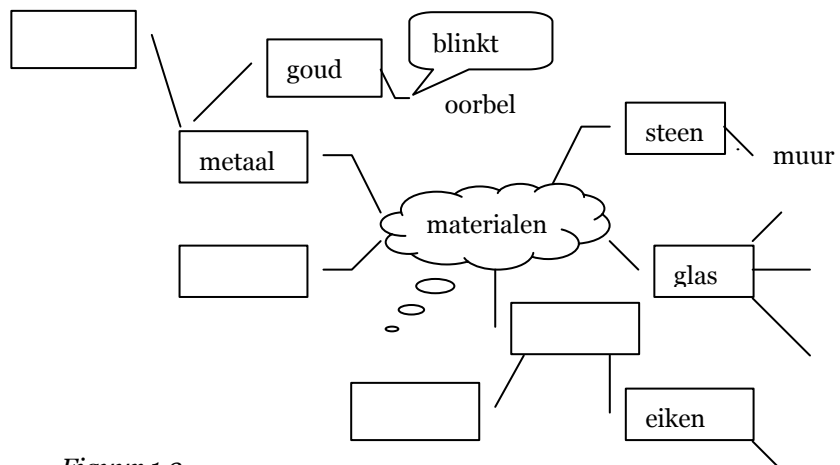
Een ballonnetje met een woord als 'blinkt' geeft een eigenschap van het materiaal, waardoor het geschikt is voor de toepassing. Verbind zoveel mogelijk begrippen op de manier zoals ze in je gedachten met elkaar verbonden zijn. Zo wordt dit een 'mindmap' over materialen.



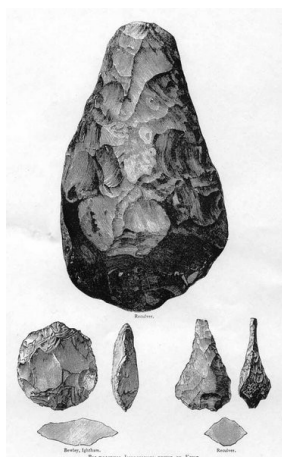
Figuur 1.1



Figuur 1.2



Figuur 1.3



Figuur 1.4



Figuur 1.5



Figuur 1.6

De oudste periode in de geschiedenis van de mens is naar een materiaal genoemd. Deze 'steentijd' duurde tot ongeveer 5000 jaar geleden. Werktuigen werden van steen gemaakt. Natuurlijk werden ook andere materialen gebruikt, bijvoorbeeld voor kleding. In de meeste gevallen is daar weinig van overgebleven. Toch weten we er wel iets van. In de vroege steentijd droegen men dierenvelen, aan het eind kwamen geweven stoffen op. Die stoffen werden gemaakt van plantaardige vezels zoals katoen en dierlijke vezels zoals wol.

Tienduizenden jaren geleden begon men te jagen met pijl en boog. De boog was gemaakt van hout en de pees van plantaardige vezels of pezen van dieren. Schrijven doe je ook op materiaal dat van vezels is gemaakt. In Egypte werd 5000 jaar geleden voor het eerst op papyrus geschreven. De grondstof was een soort riet. In de tweede eeuw voor Christus bedacht de koning van Pergamon in het huidige Turkije een manier om uit huiden materiaal te maken om op te schrijven. We noemen dat perkament. In China ontstond iets na het jaar 0 het papier. Papier wordt gemaakt uit houtvezels, of uit vlas. Vezels hebben nog veel meer toepassingen, zoals touw dat van hennepvezels wordt gemaakt. Vroeger werden vioolsnaren van schapendarmen gemaakt.

De 'brons tijd' duurde van 3000 voor Christus tot ongeveer 800 voor Christus. Brons bestaat voor het grootste deel uit koper, de kleine hoeveelheid tin die er in zit maakt het materiaal veel harder dan zuiver koper. Daardoor is het geschikter voor werktuigen en voor wapens.

Om ijzer te bewerken heb je een hogere temperatuur en dus betere ovens nodig dan voor brons. Rond 800 voor Christus kreeg men die techniek onder de knie. Toen begon de 'ijzertijd'. Het kostte wel heel veel moeite om de juiste hardheid te krijgen: om onzuiverheden te verwijderen moest hard op het hete, maar niet gesmolten ijzer worden geslagen. Dit smeden werd gedaan door een smid. Ruim honderd jaar geleden had elk dorp nog zijn eigen smederij, waar onder andere hoefijzers werden gemaakt. Staal, dat is ijzer met koolstof erdoor, bestaat pas zo'n tweehonderd jaar. Aluminium, een heel licht metaal, wordt pas sinds eind negentiende eeuw gebruikt. Titanium, dat licht en sterk is, wordt pas enkele tientallen jaren toegepast, bijvoorbeeld in brillmonturen en in protheses.

Glazen beeldjes werden al zesduizend jaar geleden gemaakt, maar vensterglas werd tweeduizend jaar geleden voor het eerst gebruikt bij de Romeinen. Het duurde nog heel lang voordat stenen huizen met glazen ramen in onze omgeving gewoon werden, in de late Middeleeuwen hadden vooral kerken glas-in-loodramen. De ramen van huizen waren nog met gordijnen afgedekte gaten.

In de bouw was de ontwikkeling van gewapend beton belangrijk. De Romeinen hadden al een soort beton, maar eind negentiende eeuw maakte men voor het eerst beton versterkt met stalen staven. De bouw van wolkenkrabbers begon niet lang daarna.

In de laatste tweehonderd jaar zijn verschillende nieuwe materialen ontwikkeld. Rubber bestond al wel langer, maar pas vanaf 1839, toen het 'vulkaniseren' werd ontdekt, kan het goed bewerkt worden, bijvoorbeeld voor fietsbanden. Kunststoffen kwamen in de twintigste eeuw op. Nylon is in 1930 ontdekt. De belangrijkste ontwikkeling van daarna is de ontwikkeling van halfgeleiders. Halverwege de twintigste eeuw werden deze ontdekt. Ze vormen de basis voor de elektronische industrie. Ook de vloeibare kristallen in LCD-schermen zijn iets van de laatste halve eeuw.

Aantal jaar geleden
1
10
100
1000
10000
100000

Figuur 1.7

Opgaven
Je kunt opgaven 1 t/m 3 doen.

Opdracht - Een logaritmische geschiedenis

In figuur 1.7 zie je een tijdsbalk. Die willen we gebruiken om de tijdstippen uit de tekst uit paragraaf 1.1 in te vullen. We hebben een **logaritmische schaal** genomen. Dat betekent dat elke keer dat iets 10 keer langer geleden is, het één centimeter lager op de schaal komt.

- Leg uit dat dit met de gegevens uit deze tekst handiger is dan een gewone schaal, waarbij elke duizend jaar één centimeter zou zijn.
- Neem de tijdsbalk over en plaats alle in de tekst genoemde materialen bij de juiste periode.

1.3

Materiaal en materie

Bij materialen denken de meeste mensen in de eerste plaats aan vaste stoffen. Het grootste deel van deze lessenserie gaat daar ook over. Je kunt je afvragen of je vloeistoffen en gassen ook materialen moet noemen. Toch gaan we daar ook op in. Want als je een overzicht hebt van hoe het zit met gassen en vloeistoffen begrijp je ook vaste stoffen beter. Veel in deze paragraaf is een herhaling van wat je in de onderbouw al hebt geleerd over materie. We herhalen hier ook de begrippen **dichtheid** en **druk**.

De mensheid denkt al duizenden jaren na over de vraag waar materie uit bestaat. Pas ruim honderd jaar weten we iets over de kleinste bestanddelen, de atomen. Aan de beroemde Nobelprijswinnaar in de natuurkunde, Richard Feynman, werd gevraagd: “Als alle kennis van de mensheid verloren zou gaan, maar je mocht één zin doorgeven aan volgende generaties, wat zou je dan zeggen?”. Zijn antwoord was:

“All things are made of atoms - little particles that move around in perpetual motion, attracting each other when they are a little distance apart, but repelling upon being squeezed into one another.”

(“Alles is opgebouwd uit atomen – kleine deeltjes in eeuwigdurende beweging, die elkaar aantrekken als ze op korte afstand van elkaar zijn, maar die elkaar afstoten als je ze tegen elkaar aan drukt.”)

Er bestaan ongeveer 100 verschillende soorten atomen. Die atomen vormen samen onvoorstelbaar veel verschillende soorten moleculen. Alle stoffen zijn opgebouwd uit atomen, vaak weer gecombineerd in moleculen. We zeggen ook dat stoffen zijn opgebouwd uit deeltjes, en laten dan in het midden of het atomen of moleculen zijn.

De meeste stoffen kunnen in drie **fasen** voorkomen: **gasvormig**, **vloeibaar** en **vast**. De meeste stoffen kunnen van fase veranderen. Een vaste stof kan **smelten**, een vloeistof kan **stollen** of **verdampen**, een gas kan **condenseren**. Maar vaste stoffen kunnen ook rechtstreeks gasvormig worden. Dat heet **sublimeren**. Omgekeerd kunnen gassen vast worden. Dat heet **rijpen**.

In welke fase een stof zich bevindt hangt af van de beweging van de deeltjes en van de aantrekkende krachten. Naarmate de temperatuur hoger is bewegen de deeltjes sneller. De beweging wint het dan van de aantrekkingskracht. Materie is dan gasvormig. Als de temperatuur daalt, krijgt de aantrekkingskracht meer invloed en gaan de deeltjes dichter bij elkaar zitten. Materie is dan vloeibaar. Als het nog kouder wordt, wordt de materie vast. We bekijken de eigenschappen van die fasen.



Figuur 1.8

Gassen

Kinderen denken soms dat lucht ‘niks’ is. Maar als je bedenkt hoe een stormwind voelt, dan weet je dat er echt iets tegen je aan botst. Een kubieke meter gewone lucht van 20 °C bij een gewone luchtdruk heeft een massa van ongeveer 1,3 kilogram.

In de onderbouw ben je het begrip dichtheid tegen gekomen.

Formules – Dichtheid

Voor de dichtheid van een stof geldt:

$$\rho = \frac{m}{V}$$

Symbolen: ρ is de dichtheid in kg/m³, m is de massa in kg, en V is het volume in m³.

De dichtheid van lucht bij 20 °C bij een gewone luchtdruk is dus:

$$\rho = m/V = 1,3 \text{ kg/m}^3.$$

Gassen kunnen **druk** uitoefenen. Die druk is het gevolg van botsingen van de moleculen. Als de temperatuur stijgt, gaan de moleculen sneller bewegen. Als ze dan niet meer ruimte krijgen zal de druk stijgen.

Lucht kun je samenpersen, bijvoorbeeld met een fietspomp. De dichtheid wordt daarbij groter. De druk in de band wordt dan ook groter. De moleculen zitten in een kleinere ruimte, en zullen vaker tegen de wanden botsen.

Samendrukbaarheid is een eigenschap van alle gassen. Je kunt gassen samenpersen omdat in een gas de moleculen ver uit elkaar zitten.

We hebben het gehad over druk zonder precies te zeggen wat er mee bedoeld wordt. Waarschijnlijk ken je het begrip nog uit de onderbouw:

Formules – Druk, kracht per oppervlak

De definitie van de druk is “kracht gedeeld door oppervlak”:

$$p = \frac{F}{A}$$

Symbolen: p is hierin de druk in Pascal (Pa), F is de kracht in Newton (N) en A is het oppervlak waarop de kracht uitgeoefend wordt in vierkante meter (m²).

1 Pa is dus 1 N/m².

Als je de druk en het oppervlak weet, kun je de kracht uitrekenen met de omgekeerde formule:

$$F = p \cdot A$$

Vloeistoffen



Figuur 1.9

Als je een gas afkoelt, bereik je een punt waarbij de moleculen zo langzaam bewegen dat de aantrekkingskrachten tussen de moleculen het gaan winnen. Het gas condenseert en wordt vloeibaar. Een vloeistof kun je niet samensperren. Als je er op duwt blijft het hetzelfde volume innemen. Je kunt er wel met je hand doorheen bewegen en een vloeistof kan wel de vorm aannemen van het bakje waarin het zit. Dit komt doordat de moleculen weliswaar dicht op elkaar zitten, maar wel langs elkaar heen kunnen bewegen.

Een auto rijdt op de vloeistof benzine. In de motor wordt ervoor gezorgd dat de vloeistof fijn verdeeld wordt, in heel kleine druppeltjes. Dan is het oppervlak waar de reactie met zuurstof moet plaatsvinden groter. In een vlam, bijvoorbeeld van een kaars, is het zelfs zo dat het *lijkt* alsof het vloeibare kaarsvet brandt, maar het is in feite gasvormig kaarsvet. De hitte laat het kaarsvet verdampen en het gasvormige kaarsvet brandt, dit is de vlam.

Vaste stoffen



Figuur 1.10

Waterdamp, water en ijs zijn respectievelijk de gasfase, de vloeibare fase en de vaste fase van dezelfde stof. De deeltjes veranderen niet bij een faseovergang. In waterdamp bewegen de watermoleculen ver van elkaar. In water bewegen ze langs elkaar heen maar zitten ze wel dicht op elkaar. Als je water afkoelt, worden de aantrekkingskrachten tussen de moleculen nog meer de baas, de moleculen bewegen niet meer langs elkaar heen. Ze trillen nog wel op hun eigen plek, maar ze verwisselen niet meer van positie.

Daardoor heeft een vaste stof stevigheid. Alleen van ijs kun je iets bouwen, niet van water of van waterdamp. Met materiaal bedoelen we vooral een bouw materiaal, zoals het ijs van een iglo. En dat gaan we onderzoeken: hoe stevig het is, hoe goed het de warmte binnenhoudt en waarom het er wit uitziet. De koepelvorm zullen we trouwens ook nog tegenkomen.

Temperatuur

Temperatuur is gekoppeld aan **beweging van deeltjes**. Maar dan moet er een laagst mogelijke temperatuur bestaan: als alle deeltjes stilstaan. Die temperatuur bestaat inderdaad, bij $-273\text{ }^{\circ}\text{C}$ ligt het absolute nulpunt.

Het is handiger om te werken met een temperatuurschaal waarbij nul ook werkelijk nul is. Daarom is de Kelvinschaal ingevoerd. De stapgrootte op de Kelvinschaal is even groot als de stapgrootte op de Celsiuschaal, maar het nulpunt ligt bij het absolute nulpunt. We noemen de temperatuur in Kelvin de **absolute temperatuur**.

Formules – Absolute temperatuur

Met behulp van onderstaande vergelijking kunnen Celsius- en absolute temperatuur naar elkaar omgerekend worden.

$$T_K = T_C + 273 \text{ of } T_C = T_K - 273$$

Symbolen: T_K is de (absolute) temperatuur in Kelvin (K), T_C is de (Celsius) temperatuur in graden Celsius.

Opgaven

Je kunt opgaven 4 t/m 14 doen.

1.4

In tabellenboeken zoals BINAS wordt meestal gewerkt met de absolute temperatuur. Voor verschillen in temperatuur maakt het niet uit met welke van de twee eenheden je werkt.

Vooruitblik

Je hebt nu een beeld van wat me met ‘materialen’ bedoelen. Op een aantal aspecten gaan we in deze lessenserie dieper in. Daarbij komen steeds de genoemde materialen als glas, steen, metaal, natuurlijke vezels en kunststoffen langs.

In drie hoofdstukken bekijken we hoe verschillende materialen verschillend reageren als ze worden verwarmd, als ze met licht worden beschenen, en als er een kracht op werkt. Van deze verschillen wordt gebruik gemaakt bij het bouwen van huizen. In en op het menselijk lichaam worden ook materialen gebruikt, voor kleding, brillen, beugels, sieraden, vullingen en bij sommige mensen voor protheses. Er zijn ook toepassingen in de sport en in de kunst. We kijken steeds naar het verband tussen de eigenschappen van materialen en de toepassingen.

Daarna gaan we binnen in de materialen kijken. Wat we dan weten over de eigenschappen op het gebied van warmte, licht en kracht, geeft ons aanwijzingen over de opbouw. Er zijn ook nieuwe meettechnieken, waardoor we veel te weten zijn gekomen over de structuur. Dat is niet alleen leuk om te weten, het maakt het ook mogelijk steeds betere materialen te maken. Aan het eind zetten we alles op een rijtje en kijken we terug.

Begrippen

Fase
Faseovergang
Smelten
Stollen
Verdampen
Condenseren
Sublimeren
Rijpen
Dichtheid
Druk
Moleculaire beweging
Absolute temperatuur

Samenvatting

- Uit de ongeveer honderd verschillende atoomsoorten kunnen onvoorstelbaar veel verschillende soorten moleculen worden gemaakt.
- In een **gas** zitten de deeltjes van een stof ver uit elkaar.
- In een **vloeistof** en in een vaste stof zitten ze dicht op elkaar.
- In een **vaste stof** hebben de deeltjes vaste posities.
- Hoe hoger de temperatuur van een stof, hoe hoger de snelheid van de deeltjes.
- Temperatuur wordt gemeten in Kelvin (K). Kelvins en graden Celsius reken je in elkaar om met:

$$T_K = T_C + 273$$

- De formule voor **dichtheid** $\rho = \frac{m}{V}$.
- De formule voor **druk** $p = \frac{F}{A}$

Opgaven

1 Vroeger en nu

- Kijk nog eens naar je mindmap met materialen en toepassingen. Welke van de materialen bestonden in de Middeleeuwen nog niet?
- Wat is het belangrijkste verschil in de productie van ijzer, glas en steen tussen 1900 en nu?

2 Eigenschappen

Noem zoveel mogelijk eigenschappen van materialen die met warmte te maken hebben. Doe hetzelfde voor licht en voor kracht.

3 Gevoelswaarde van materialen

Materialen hebben ook een gevoelswaarde. Welke omschrijving past bij een inrichting van een huis met veel glas en aluminium? En hoe omschrijf je de sfeer bij een huis met veel hout?

4 Luchtig klaslokaal

Bereken hoeveel kilogram lucht er ongeveer in een klaslokaal zit.

5 Lichte auto's, zware luchten

De dichtheid van benzine is $0,81 \text{ kg/L}$. Een auto rijdt 1 op 16. Volgens een onderzoek stoot hij $0,18 \text{ kilogram CO}_2$ (koolstofdioxide) per kilometer uit.

- Bereken hoeveel kilogram benzine per kilometer rijden wordt verbrand. Het aantal kilogram CO_2 dat wordt uitgestoten is dus groter dan het aantal kilogram benzine dat wordt verbrand.
- Waar komt die extra massa vandaan?

6 Zwembad

Als je zou gaan zwemmen in pure benzine, is dat net zo moeilijk als zwemmen in water met 20 % van je eigen massa extra op je rug gebonden. Aan welke eigenschap van benzine ligt dit?

7 Faseovergangen

- Welke faseovergang heeft plaatsgevonden bij de foto links? Als je hondenpoep ruikt komen er moleculen in je neus.
- Welke faseovergang vindt plaats in een hondendrol?



Figuur 1.11



Figuur 1.12

8 Papier

a. Bepaal de dichtheid van papier. Gebruik daarvoor een pak printerpapier en bepaal de massa en het volume.

Printerpapier is vaak zogenaamd '80-gramspapier'. Dit betekent dat een vierkante meter van dit papier een massa heeft van 80 gram. De eenheid is dus g/m^2 . Verder moet je weten dat een vel A0 papier een oppervlakte heeft van één vierkante meter, een vel A1 is de helft daarvan, A2 daar weer de helft van, enzovoorts.

b. Bereken de massa van een vel A4.

c. Bereken ook de massa van een pak van 500 vel A4 en ga na of dat klopt met de meting van de massa in opgave a.

9 Goud

Leg uit dat de dichtheid iets zegt over de waarde van een gouden sieraad.

10 Wintersport

Op een persoon werkt de zwaartekracht. De kracht waarmee hij op zijn ondergrond drukt, is even groot. Vergelijk de druk die hij op de ondergrond uitoefent als hij loopt, skiet en schaatst.

11 Wind

Vul de juiste woorden in. De wind waait tegen een grote ruit. De druk is vrij ...**a**..., maar omdat de oppervlakte ...**b**... is, is de kracht op de ruit best...**c**....

12 Bal

Een bal komt tegen een ruit. De kracht is ongeveer tweeduizend newton. De kracht wordt verdeeld over 20 vierkante centimeter. Bereken de druk op de ruit.

13 Drukke trein

Een trein is 100 m lang. Hij oefent een kracht van een miljoen newton uit op de rails. Stel dat er geen bielzen zouden zijn. Alle kracht komt dan op de stalen rails, die elk 8 centimeter breed zijn.

a. Bereken de druk op de rails.

Deze druk is te groot voor de ondergrond. Daarom rusten de rails op bielzen. Daarvan is er één per meter, en elke biels is 4 meter lang en dertig centimeter breed. De massa van de rails en de bielzen is veel kleiner dan de massa van de trein.

b. Bereken de druk die de trein op de grond onder de bielzen uitoefent.

14 Temperatuur

a. Hoeveel graden Celsius is 293 K?

b. Hoeveel Kelvin is $-70\text{ }^{\circ}\text{C}$?

c. Binnen is het $20\text{ }^{\circ}\text{C}$, buiten is het $12\text{ }^{\circ}\text{C}$. Bereken het temperatuurverschil in Kelvin.

2 Warmte doorlaten en vasthouden

Materialen nemen warmte op, materialen laten warmte door

Hoofdstukvragen	Welke stoffen warmen snel op en welke langzaam? Welke materialen isoleren goed en welke slecht?
-----------------	---

2.1

Inleiding



Figuur 2.1

Als je olijfolie in een pannetje verwarmt, dan wordt de olijfolie snel heet. Bij water gaat dat minder snel. Om dezelfde temperatuur te bereiken moet je meer energie in het water stoppen dan in de olijfolie.

Als je hete soep in een metalen pan laat staan, dan koelt de soep sneller af dan wanneer je de soep in een aardewerken schaal doet. Het metaal laat de warmte beter door dan het aardewerk.

We bekijken deze twee eigenschappen van materialen: hoeveel energie het kost om ze op te warmen en hoe gemakkelijk ze warmte doorlaten.

Bij het bouwen van een huis wordt hier bijvoorbeeld rekening mee gehouden. Het bespaart energie als er zo min mogelijk warmte door de muren, ruiten en het dak naar buiten verdwijnt. Twee andere voorbeelden: in de winter mag kleding niet veel warmte doorlaten, maar de bodem van een fluitketel moet warmte juist zo goed mogelijk doorlaten.

Voorlopig kijken we bij het verwarmen nog niet naar fase-overgangen. We laten stoffen dus niet smelten of verdampen.

Oriëntatieopdracht - Kun je het al bedenken?

Bedenk welke woorden op de opengelaten plaatsen moeten staan.

Een patiënt vraagt bij de huisarts om nieuwe oordruppels. “Maar u heeft toch vorige week nog een nieuw flesje gekregen?”, zegt de huisarts. “Dat is ontploft. Ik vind die koude oordruppels vervelend in mijn oor. Toen wilde ik het flesje opwarmen in de magnetron. Binnen de kortste keren knapte het en toen was alles verdampt.”

Je ziet hier dat een ...a... hoeveelheid van een stof ...b... opwarmt. Als je naar een heel grote hoeveelheid stof kijkt, dan warmt die juist ...c... op. Dat zie je bij de zee in de ...d.... Die blijft nog lang ...e... en dat zorgt ervoor dat het in Nederland nooit echt heet wordt. Niet alleen de grote hoeveelheid water in de zee zorgt dat de opwarming ...f... gaat, ook het feit dat de stof water is: voor geen enkele vloeistof heb je zoveel energie nodig om een massa van één ...g... één ...h... op te warmen, als voor water.

Binnen in huis houdt de verwarming de ...i... constant op 20 °C. Hoeveel warmte je huis dan afgeeft aan de omgeving, hangt van een aantal factoren af.

Als het buiten toevallig ...j... is, dan geeft het huis géén warmte af en neemt het ook geen warmte op van buiten. Hoe ...k... het buiten is, hoe meer warmte het huis afgeeft. Het ...l... is dus de eerste factor.

Verder geeft een kasteel meer warmte af dan een rijtjeshuis. De ...m... van de muren en ramen is ...n... bij het kasteel. Dat is de tweede factor.

De derde factor hangt af van de bouw...o... . Een geheel gouden paleis is niet warm te houden.

2.2 Opwarmen

Als je een stof wilt opwarmen, dan hangt de hoeveelheid energie die je nodig hebt af van drie dingen:

- Met hoeveel graden je de temperatuur wilt verhogen.
- Hoeveel kilogram van de stof je hebt.
- Welke stof het is.

Je hebt natuurlijk meer energie nodig als je een hoeveelheid water van 20 °C tot 60 °C verwarmt dan als je dezelfde hoeveelheid van 20 °C tot 30 °C verwarmt.

Als het water goed geïsoleerd is, maakt het voor de energie niet uit of je van 20 °C tot 60 °C verwarmt of dat je van 30 °C tot 70 °C verwarmt. Het gaat om het verschil tussen de begintemperatuur en de eindtemperatuur. Dit verschil noemen we ΔT , dat spreek je uit als ‘delta T’. De betekenis van de Griekse hoofdletter Δ (Delta) is in formules altijd “het verschil in...”. ΔT betekent dus “het verschil in T”. Als formule: $\Delta T = T_{\text{eind}} - T_{\text{begin}}$.

Als je 10 kilogram water wilt verwarmen heb je natuurlijk 10 keer zoveel energie nodig als wanneer je 1 kilogram water evenveel graden wilt verwarmen. De hoeveelheid energie is dus evenredig met de massa m .

Hoeveel energie je nodig hebt om één kilogram met één Kelvin (of graad Celsius) te verwarmen, hangt van de stof af. Deze hoeveelheid noemen we de **soortelijke warmte** c . We kunnen nu hiervoor een formule opstellen.

Formules – Soortelijke warmte

Bij het verwarmen van een vaste stof of vloeistof geldt:

$$Q = c \cdot m \cdot \Delta T$$

Symbolen: Q is de toegevoegde warmte in Joule (J), c is de soortelijke warmte in Joule per kilogram per Kelvin ($\text{J kg}^{-1} \text{K}^{-1}$) en ΔT is de temperatuurverandering in Kelvin (K).

Als een kilogram water op hetzelfde vuur langzamer opwarmt dan een kilogram olijfolie, dan betekent dit dus dat de soortelijke warmte van water groter is dan die van olijfolie.

Een voorbeeld: om 1 kg water 1 K (of 1 °C) te verwarmen heb je $4,18 \times 10^3$ J (= 4,18 kJ) nodig. De soortelijke warmte c van water is dus $4,18 \times 10^3$ J kg^{-1} K⁻¹ (of 4,18 kJ kg^{-1} K⁻¹).

Andersom komt er evenveel warmte vrij als 1 kg water 1 K afkoelt.

2.3

Dichtheid en soortelijke warmte

In de formule $Q = c \cdot m \cdot \Delta T$ is alleen de soortelijke warmte c een eigenschap van de stof, Q , m en ΔT zijn dat niet. Eerder in deze lessenserie hebben we het al over een andere stoffeigenschap gehad, namelijk dichtheid. We gaan nu bekijken of er een verband bestaat tussen deze twee stoffeigenschappen.

Hiernaast zie je een tabel met gegevens van metalen. Bij de dichtheid staat het aantal kilogram per kubieke decimeter. Bij de soortelijke warmte het aantal kilojoule per kilogram per graad Celsius.

Opdracht - Een grafiek van soortelijke warmte tegen dichtheid

Maak een grafiek waarin je horizontaal de dichtheid uitzet en verticaal de soortelijke warmte. Elk metaal krijgt een punt in de grafiek. Zet de namen van de metalen bij de punten.

Welke conclusie kun je trekken?

Op de reden waarom dit verband er is, komen we terug in het hoofdstuk Macro-Micro-Nano, waarin we naar de bouwstenen van stoffen gaan kijken.

naam	ρ kg/dm^3	c $kJ \cdot kg^{-1} \cdot K^{-1}$
Aluminium	2,70	0,88
Beryllium	1,85	1,8
Bismut	9,80	0,12
Cadmium	8,65	0,234
Calcium	1,55	0,65
Chroom	7,19	0,45
Goud	19,3	0,129
Kalium	0,86	0,745
Kobalt	8,9	0,42
Koper	8,96	0,378
Kwik	13,55	0,14
Lood	11,3	0,128
Magnesium	1,74	1,026
Molybdeen	10,2	0,26
Natrium	0,97	1,23
Nikkel	8,90	0,46
Platina	21,5	0,133
Tantaal	16,7	0,14
Tin	7,31	0,22
Uraan	19,1	0,116
Wolfraam	19,3	0,135
IJzer	7,87	0,46
Zilver	10,5	0,24
Zink	7,2	0,386

Figuur 2.2

Opgaven

Je kunt opgaven 15 t/m 19 doen.

2.4

Warmtegeleiding

Warmte kan op drie manieren verdwijnen uit een ruimte.

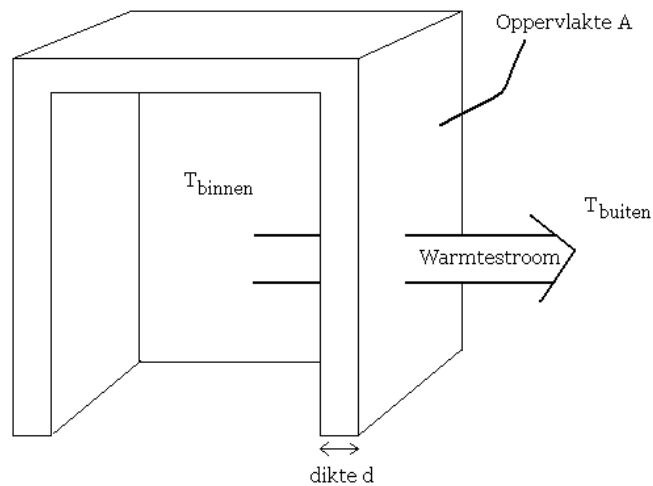
- Door een open deur verdwijnt warmte door stroming. De lucht beweegt dan zelf, en neemt de warmte mee.
- De bovenkant van een metalen theelepeltje dat je in de hete thee zet, wordt ook heet. Het metaal beweegt zelf niet. Dit heet geleiding.
- De derde manier is door straling. Hiervoor is helemaal geen stof nodig, een heet voorwerp kan door straling ook warmte door een luchtledige ruimte sturen.

Dat warmte op deze drie manieren kan verdwijnen uit een huis, en ook uit een bakje met heet water, maakt het lastig om apart naar het effect van warmtegeleiding te kijken. Toch willen we dat. We willen weten welke materialen goed de warmte geleiden, en welke slecht. Die laatste zijn geschikt als **isolatiemateriaal**.

We gaan bekijken welke materialen goed en welke slecht warmte doorlaten. Als we materialen willen vergelijken, moeten we eerst nagaan waar het allemaal van afhangt hoeveel warmte er per seconde door een wand stroomt. Dat hangt niet alleen af van het materiaal van de wand. Stel je de situatie voor zoals in figuur 2.4.



Figuur 2.3



Figuur 2.4



Figuur 2.5

Er is een binnenruimte met een hoge temperatuur. Buiten de ruimte is het kouder. Het temperatuurverschil tussen binnen en buiten noemen we ΔT .

Ook hier geeft Δ een verschil aan, maar nu tussen binnen en buiten: $\Delta T = T_{\text{binnen}} - T_{\text{buiten}}$.

De totale oppervlakte van de wand, in vierkante meter, noemen we A .

De dikte van de wanden, d , is ook belangrijk. Meestal zal de dikte een aantal centimeter zijn, maar we nemen de meter als eenheid. Dus als de dikte 1 cm is, rekenen we met $d = 0,01$ m.

En dan hangt het nog af van het materiaal hoe snel de warmte verdwijnt. Dat geven we aan met de k , de **warmtegeleidingscoëfficiënt**. Je ziet het volgende:

- Als ΔT groot is, gaat er meer energie per seconde door de wand naar buiten dan als ΔT klein is. Als er helemaal geen temperatuurverschil is, stroomt er zelfs niets.
- Als de oppervlakte van de wand groter is, gaat er ook meer energie per seconde naar buiten. Een grote ruit laat meer warmte door dan een wc-raampje.
- Als de wand dikker is, laat hij minder warmte door per seconde.

Het gaat er om hoeveel energie per seconde door de wand gaat. De hoeveelheid energie per seconde heet het vermogen. Het symbool voor vermogen is P (denk aan het Engelse Power). We krijgen:

Formules – Warmtetransport

Voor de warmtestroom door een voorwerp geldt

$$P = k \cdot A \cdot \frac{\Delta T}{d}$$

Symbolen: P is het getransporteerd vermogen in Joule per seconde of Watt (Js⁻¹ of W); k is de warmtegeleidingscoëfficiënt in Watt per meter per Kelvin (Wm⁻¹K⁻¹); A is het oppervlak van het voorwerp in vierkante meter (m²); d is de afstand waarover het vermogen getransporteerd wordt in meters (m), en ΔT is het temperatuurverschil tussen beide kanten van het voorwerp, in Kelvin (K).

De dikte van de wand, d , staat onder de deelstreep. Daardoor komt er bij een grotere d een kleinere uitkomst uit. En dat moet ook.

Deze formule gaan we gebruiken in drie proefjes. Die proefjes moeten een idee geven van wat de warmtegeleidingcoëfficiënt k betekent en ook een idee van welke materialen een grote k hebben, en welke een kleine k . Het meten van precieze waarden is moeilijk, onder andere omdat ook straling en stroming een rol spelen. Daar komen we nog op terug. We geven straks wel een tabel met de k 's zoals ze heel precies in laboratoria zijn gemeten. Maar eerst ga je zelf aan de slag.



Figuur 2.6

Practicum – Proefjes met warmtegeleiding

Proef 1

In figuur 2.6 zie je een apparaatje dat bestaat uit vier strips van verschillende metalen. Iedere metaalstrip zit op een thermostrip. De thermostrip verkleurt als de temperatuur stijgt.

Hang of zet het apparaat in een beekerglas met een laagje warm water. Het water moet niet in contact komen met de thermostrips.

Kijk wat er gebeurt. Welk metaal geeft de warmte het snelste door? En welke het minst snel? Welk metaal heeft dus de hoogste waarde voor k ?

Als je goed hebt opgelet, heb je gezien dat in het begin een ander metaal de warmte het snelste leek door te geven. Welk metaal was dat? Probeer een verklaring te geven waarom dit metaal de warmte in het begin sneller leek door te geven.

Proef 2

Potjes en kopjes worden gemaakt van verschillende materialen. Bijvoorbeeld aardewerk, glas of metaal. In proef 2 gaan we de warmtegeleidingcoëfficiënt k van enkele van deze materialen proberen te bepalen.

Neem bakjes van verschillende materialen. Vul de bakjes met een hoeveelheid heet water, waarvan je de massa bepaald hebt. Meet na hoeveel tijd het water 10 graden is afgekoeld. Een paar tips:

- De vorm van de bakjes moet zoveel mogelijk gelijk zijn. Bij een breder, ondieper bakje zou anders meer warmte verdwijnen door verdamping dan bij het smallere, diepere bakje. Nog beter is het als je een manier bedenkt waarop je verdamping helemaal kunt voorkomen.
- Sommige materialen geven veel warmte door per seconde. Dan kan het gebeuren dat het water zelf niet snel genoeg de warmte doorgeeft, dat dus het water aan de wand kouder is dan het water in het midden. Roer daarom het water voortdurend om, bijvoorbeeld met de thermometer.

Om de warmtegeleidingcoëfficiënt k te kunnen bepalen moet je eerst de dikte d van de wand, de oppervlakte A van de wand, het temperatuurverschil ΔT en de warmtestroom P bepalen.

- Neem voor A alleen het deel waar het hete water het oppervlak van het bakje raakt.
- De dikte van de wand kun je met een schuifmaat meten, maar je kunt ook het bakje wegen en via de dichtheid en de oppervlakte de dikte uitrekenen.
- Voor ΔT neem je de gemiddelde temperatuur van het water min de buitentemperatuur.

Practicum (vervolg)

- Om de warmtestroom uit te kunnen rekenen moet je eerst weten hoeveel warmte het water heeft afgestaan. Daarvoor heb je de soortelijke warmte van water nodig. Zie BINAS of §2.2.
- Omdat je ook de tijdsduur weet, vind je met $P=Q/t$ de warmtestroom in Watt.

Zo bepaal je de warmtegeleidingcoëfficiënt k van de materialen. De precieze getallen zijn vrij onbetrouwbaar, maar je krijgt wel een idee of een materiaal een grote of een kleine k heeft.

Proef 3

Je verwarmt een 'huisje' (een afgesloten bakje) van binnenuit met een gloeilamp. Je meet de temperatuur binnen het huisje totdat een constante eindtemperatuur wordt bereikt. Gebruik een temperatuursensor, of zet een bakje water in het huisje en meet na een hele tijd de temperatuur van het water.

Op het moment dat er een constante temperatuur is bereikt, is warmte die de gloeilamp per seconde levert gelijk aan de warmte die er per seconde door de wanden wegstroomt. Die warmte per seconde is dus het vermogen P van de gloeilamp.

Als je nu ook de A en de d weet, kun je de k van het materiaal uitrekenen.

Je kunt zo bijvoorbeeld de warmtegeleidingcoëfficiënt van het isolatiemateriaal polystyreen bepalen.

2.5

naam	ρ (kg/dm ³)	k (WK ⁻¹ m ⁻¹)
Acryl	1,2	0,2
Aluminium	2,70	237
Goud	19,3	318
Koper	8,96	390
IJzer	7,87	80,4
Zilver	10,5	429
Zink	7,2	116
Asfalt	1,2	0,6
Gips	2,32	1,3
Glas	2,5	0,93
Graniet	2,7	3,5
Hout	1	0,4
Kurk	0,28	0,08
Marmer	2,7	3
Polystyreen	1,06	0,08
Baksteen	1,7	0,6
Zand	1,6	1
Water	1,0	0,60
Lucht	0,0012	0,024

Figuur 2.7

Tabelwaarden, lucht

Van een stof kun je meer zeggen dan: "het is een goede geleider van warmte", of: "het is een isolator van warmte". Met de waarde van k , de warmtegeleidingcoëfficiënt, geef je dat preciezer aan. Een stof met een grotere k geleidt de warmte beter dan een stof met een kleinere k . De waarde van k is een materiaaleigenschap, net als de dichtheid ρ en de soortelijke warmte c .

Hiernaast staat een tabel met de waarden voor de warmtegeleidingcoëfficiënt k zoals die nauwkeurig zijn gemeten in laboratoria.

Wat opvalt, is de lage waarde voor lucht. De werking van veel 'isolatiematerialen' is hierop gebaseerd. In bijvoorbeeld polystyreen zorgt een netwerk van kunststof vezels ervoor dat er lucht zit opgesloten. Die lucht kan niet stromen, en die lucht geleidt slecht. Een dikke wollen trui en een gevoerde jas werken net zo.

De slechte warmtegeleiding van lucht, dus het feit dat lucht een lage warmtegeleidingcoëfficiënt heeft, is ook de reden waarom een ruit veel minder warmte doorlaat dan je zou denken: Het luchtlaagje aan de binnenkant van het glas is kouder dan de rest van de kamer, aan de buitenkant is het luchtlaagje juist warmer dan de buitentemperatuur.

De lucht geleidt slecht en geeft de warmte dus niet snel door. In de formule is ΔT , het echte temperatuurverschil tussen beide kanten van het glas, dus veel kleiner dan je zou denken.

Opgaven

Je kunt opgaven 20 t/m 28 doen.

2.6 Verbanden tussen materiaaleigenschappen

In de opgaven hieronder ga je op zoek naar verbanden tussen verschillende materiaaleigenschappen.

0,01
0,1
1
10
100
1000

Figuur 2.8

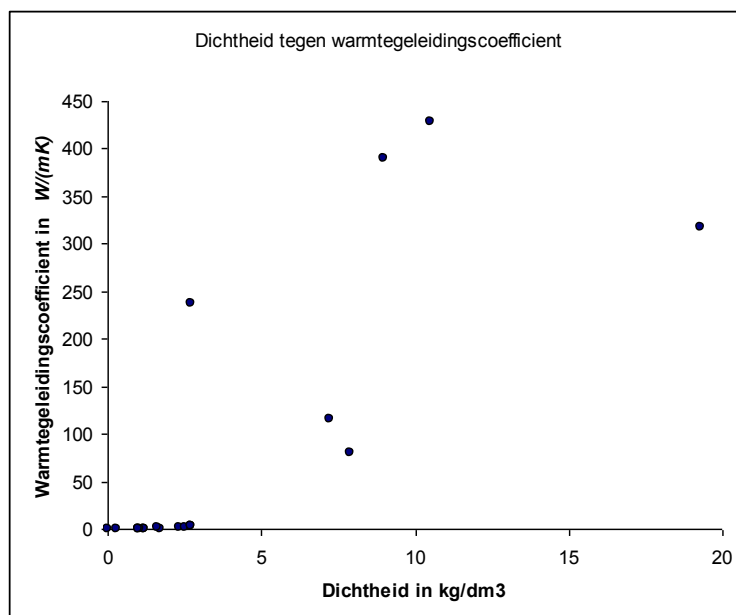
Opdracht - Groepen materialen

Neem de logaritmisches geordende tabel die in figuur 2.8 staat over en zet de warmtegeleidingcoëfficiënten van alle materialen uit de tabel er in. Welke materialen horen bij elkaar? Maak drie groepen.

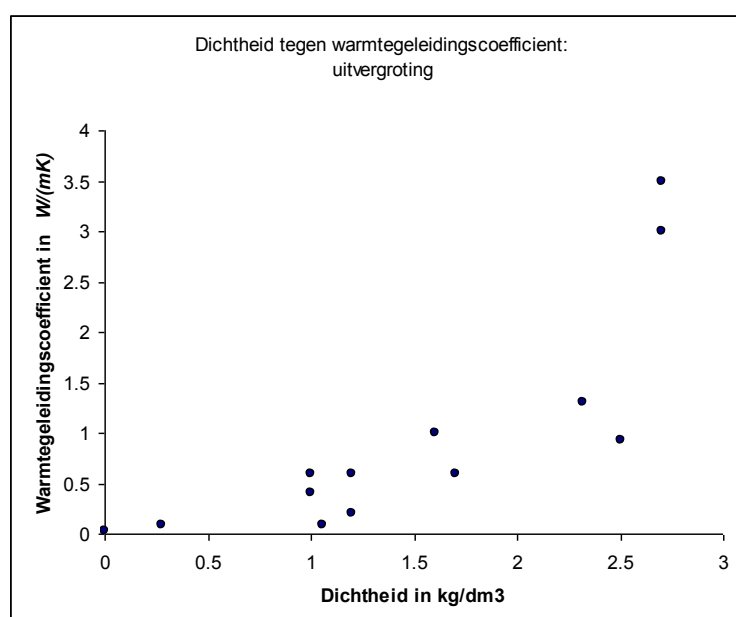
Opdracht - Warmtegeleidingcoëfficiënt en dichtheid.

Bij een opdracht in §2.3 heb je een grafiek gemaakt van de soortelijke warmte van metalen tegen de dichtheid. Dat was een succes, er was een opmerkelijk verband. We hebben dat ook geprobeerd voor de warmtegeleidingcoëfficiënt k en de dichtheid. De grafiek staat hieronder. Onder de grafiek staat een tweede grafiek. Daarin hebben we een deel van de eerste grafiek uitvergroot.

Leg uit of er net zo'n mooi verband is tussen de warmtegeleidingcoëfficiënt en de dichtheid als tussen de soortelijke warmte en de dichtheid.



Figuur 2.9



Figuur 2.10

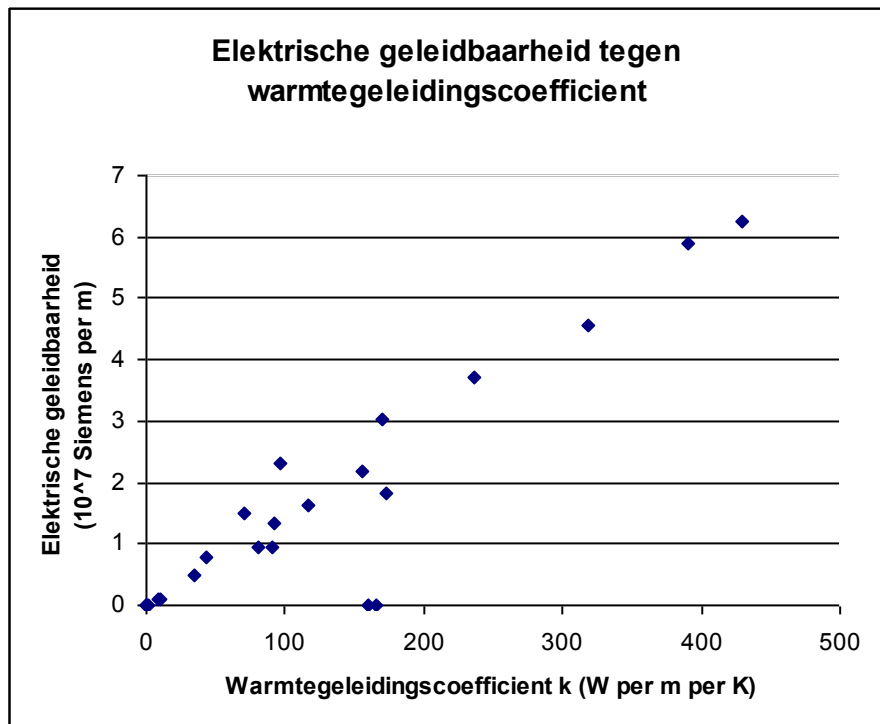
Opgave - Warmtegeleiding en elektrische geleiding

Koper staat hoog in figuur 2.9. Ga dat na. Het geleidt dus heel goed warmte. Dat doet er aan denken dat koper in elektriciteitssnoeren wordt gebruikt omdat het heel goed de elektrische stroom geleidt. Dat verband gaan we verder onderzoeken.

Je ziet in figuur 2.11 een grafiek waarin elektrische geleidbaarheid van materialen staat uitgezet tegen de warmtegeleidingscoëfficiënt. De elektrische geleidbaarheid geeft aan hoe goed materialen elektrische stroom geleiden. Het is het 'omgekeerde' van soortelijke weerstand.

De grafiek is gemaakt met behulp van BINAS.

Wat is je conclusie?



Figuur 2.11

Opgave – Legeringen

Een legering is een mengsel van metalen. We bekijken in deze opgave mengsels die voor een groot deel uit één metaal bestaan, met kleine toevoegingen tot 10%. We vergelijken ze met het hoofdbestanddeel.

In figuur 2.12 staan de gegevens van

aludel (95% nikkel),

brons (90% koper, 10%tin),

duraluminium (95 % aluminium), en

koolstofstaal (99% ijzer, de toevoeging is koolstof, dus eigenlijk is dit geen legering, maar het past wel bij 'metalen met een kleine toevoeging').

Op welke eigenschap(pen) heeft de toevoeging weinig invloed?

Op welke eigenschap(pen) heeft de toevoeging veel invloed?

Wat gebeurt er met de soortelijke warmte?

Wat gebeurt er met de warmtegeleidingcoëfficiënt?

Wat gebeurt er met de soortelijke weerstand? En wat gebeurt er dus met de elektrische geleidbaarheid? Klopt het nog steeds dat een betere warmtegeleiding bij een betere elektrische geleiding hoort?

Naam	Dichtheid (kg/dm ³)	Soortelijke warmte c (kJ·kg ⁻¹ ·K ⁻¹)	Warmtegeleidingscoëfficiënt k (WK ⁻¹ m ⁻¹)	Soortelijke weerstand (10 ⁻⁹ Ωm)
Aluminium	2,70	0,88	237	27
Duraluminium	2,8	0,92	160	
Koper	8,96	0,387	390	17
Brons	8,9	0,38	190	300
Nikkel	8,90	0,46	91	78
Alumel	8,7		30	300
IJzer	7,87	0,46	80	105
Staal	7,8	0,48	50	180

Figuur 2.12

Begrippen

Soortelijke warmte
Isolatiemateriaal
Warmtegeleidingscoëfficiënt
Warmtetransport
Legering

Samenvatting

- Bij een stof met een grote **soortelijke warmte** kost het veel energie om één kilogram één Kelvin (of één graad Celsius) op te warmen. De formule die dit samenvat is:

$$Q = c \cdot m \cdot \Delta T$$

- Water heeft een grote soortelijke warmte.
- Bij vergelijkbare stoffen zoals metalen, lijken de stoffen met de kleinste dichtheid de grootste soortelijke warmte te hebben.
- Bij **warmtetransport** door een oppervlak hangt de hoeveelheid energie die per seconde door het oppervlak verdwijnt af van de grootte van het oppervlak, de dikte, het materiaal en het temperatuurverschil tussen beide kanten van het oppervlak. De formule die dit samenvat is:

$$P = k \cdot A \cdot \frac{\Delta T}{d}$$

- De **warmtegeleidingscoëfficiënt** k is groot voor metalen, kleiner voor steensoorten, en heel klein voor materialen met veel stilstaande lucht erin.¹
- Hoe beter een metaal de stroom geleidt, hoe beter het ook de warmte geleidt.
- Niet-zuivere metalen (**legeringen** en staal) geleiden de warmte en de elektrische stroom minder goed dan zuivere metalen. Het verschil in soortelijke warmte tussen een metaal en een legering is klein.

¹ De warmtegeleidingscoëfficiënt wordt ook wel aangeduid met λ .

Opgaven

15 Nogmaals oordruppels

Kijk nog eens naar het verhaaltje over de oordruppels en leg uit welke waarden in de formule $Q = c \cdot m \cdot \Delta T$ in dit geval groot zijn en welke klein.

16 Zwembad

Haal uit het volgende verhaal de waarde voor c , de waarde voor m en de waarde voor ΔT :

Je hebt een zwembad van 25 m lang, 6,0 m breed en gemiddeld 2,0 m diep. Dat is dus 300 kubieke meter water. Dat is driehonderdduizend kilo water, omdat de dichtheid van water ongeveer duizend kilogram per kubieke meter is. Om één kilogram water één graad op te warmen, heb je 4180 joule nodig. We maken een schatting, dus we rekenen even met 4000 J per kilogram en per graad Celsius. We willen het water opwarmen van 13 °C tot 23 °C. De benodigde energie is dus 300000 maal 4000 maal 10 is 12 miljard joule. Daarvoor moet je vierhonderd kubieke meter aardgas verbranden, dat kost zo'n 80 euro.

17 Metaal verwarmen

Als je van elk metaal uit figuur 2.5 een kilogram neemt en je verwarmt die hoeveelheden op dezelfde manier een minuut lang, welke drie metalen zijn dan na die minuut het minst heet?

18 Water koken

Je wilt 1,8 liter water in een pan van roestvrij staal aan de kook brengen. Als je begint met verwarmen is de temperatuur van de pan en het water 20 °C. De pan heeft een massa 0,8 kg. Het staal heeft een soortelijke warmte van 0,5 kJ kg⁻¹K⁻¹.

- Bereken hoeveel warmte nodig is om het staal te verwarmen tot 100°C.
- Bereken hoeveel warmte nodig is om het water aan de kook te brengen. Neem aan dat tijdens het verwarmen alle energie in de pan en het water terecht is gekomen. Er is verder geen verlies.
- Bereken hoeveel procent van de geleverde warmte er in het staal is gaan zitten.

Je laat het water nu een tijdje doorkoken. Daarvoor is ook energie nodig.

- Is er tijdens het doorkoken nog warmte nodig voor het staal? Leg je antwoord uit.

19 Een druppel op een gloeiende plaat

Je gaat uitrekenen hoeveel graden de temperatuur van een gloeiende plaat ijzer daalt als je er een druppel water op laat vallen.

Om een druppel water te laten verdampen is 113 J nodig. Het water onttrekt die warmte aan het ijzer. Het ijzer koelt daardoor iets af. We gaan uit van een plaatje ijzer van 1 mm dik en een oppervlakte van 1 dm bij 1 dm.

- Bereken de massa van deze plaat ijzer.
- Bereken hoeveel °C de plaat in temperatuur zal dalen als de druppel 113 J aan de plaat onttrekt.

20 Koelbox

In een koelbox moeten de etenswaren voor de picknick koel blijven. Er mag dus weinig warmte door de wanden naar binnen gaan. Heeft het materiaal van de koelbox een grote k of een kleine k ?

21 Dekbed

Leg de werking van een dekbed uit. Wat kun je zeggen over het materiaal waarvan een dekbed is gemaakt? Bespreek in je antwoord de rol van stilstaande lucht.

22 Natte jas

Een winterjas is goed gevoerd met een soort watten. De dikte is 4 cm. Maar als deze winterjas doorweekt is en tegen je huid aankomt, dan is de dikte nog maar 2 cm omdat de watten tegen elkaar plakken. Bovendien is het nu eigenlijk het water waarmee de watten doorweekt zijn dat de warmte geleidt, niet de lucht die er eerst zat. De jas geleidt de warmte nu veel beter dan toen hij droog was. Schat hoeveel keer zo goed.

23 Kostbaar paleis

Waarom kun je een geheel gouden paleis niet warm houden? Leg dit uit aan de hand van de formule voor warmtegeleiding door een oppervlak.

24 Voorwerpen en warmtegeleiding

We vergelijken vier voorwerpen.



Figuur 2.13

- 1) Een wetsuit bestaat uit twee lagen neopreen, dat is een soort kunstrubber. Als je de eerste keer in het water valt, komt er een laagje water tussen de twee lagen neopreen. Eerst warmt je lichaam dat water op. Het voelt nog koud aan. Daarna isoleert dit laagje water.
- 2) Op de verpakking van een pan staat: 'Aluminium bodem voor een optimale verspreiding van de warmte'.
- 3) Bij de processor van een computer zit een 'heat sink' van koper. Die zorgt dat de processor niet te heet wordt.
- 4) Bij een ligbad staat: 'Acryl badkuip, isoleert goed dus uw badwater blijft lang warm'.

Leg van alle genoemde materialen uit of ze een grote of een kleine warmtegeleidingcoëfficiënt k hebben.

25 Koude en warme vloeren

Als je met blote voeten op de vloer staat, dan gaat er warmte van je huid naar de vloer. Als die vloer heel slecht de warmte geleidt, dan stroomt die warmte niet verder. Het stukje vloer vlak onder je huid wordt dan warm. Er is al snel geen groot temperatuurverschil meer tussen je voet en de vloer vlak onder. Er stroomt dan geen warmte meer uit je voet. Daardoor voelt de vloer warm aan.

Als de vloer beter warmte geleidt, stroomt de warmte beter weg naar de rest van de vloer. De temperatuur vlak onder je voet wordt minder hoog, er blijft warmte stromen, het voelt koud aan.

Maak een ranglijstje van wat koud aanvoelt. De vloersoorten zijn: Steen, aluminium (niet een hele vloer, maar antislip platen op de trap), kurk, acryl tapijt, hout.

26 Stoken voor de buitenlucht?

Stel dat uit een kamer de warmte vooral verdwijnt door één raam. Het glas is 4 mm dik. De breedte is 2,5 m, de hoogte is 1,0 m. De temperatuur van de lucht in het laagje aan de binnenkant van de ruit is 18 °C, aan de buitenkant 14°C. Je hebt in deze kamer een straalkacheltje dat een vermogen van 1,0 kW levert.

a. Bereken of dat kacheltje genoeg is om deze ruimte op dezelfde temperatuur te houden.

Je vervangt nu het glas door dubbel glas met een luchtlaag van 1 cm er tussen. Dit moet beter isoleren.

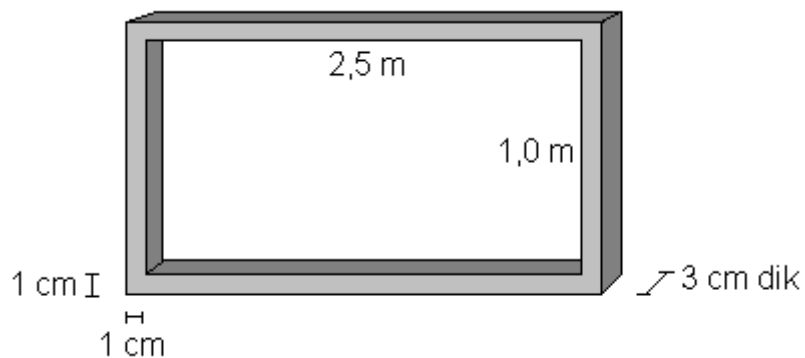
b. Leg uit waarom de dikte van de glasplaten wat isolatie betreft nu niet erg belangrijk is.

c. Bereken de warmtestroom door het glas. Kan het straalkacheltje de kamer nu wel warm houden?

Rond het dubbele glas zit een aluminium pui.

d. Leg uit welke eigenschappen aluminium geschikt maken voor kozijnen.

De pui is 3 cm dik, en de breedte van het materiaal van de pui is overal 1 cm. De pui is zelf niet geïsoleerd. Zie figuur 2.14.



Figuur 2.14

e. Bereken de warmtestroom door de pui. Kan het straalkacheltje de kamer warm houden?

Het aluminium kozijn vormt een 'koudebrug'.

f. Bedenk (of zoek op) wat een 'koudebrug' is, en bedenk wat je er tegen kunt doen.



Figuur 2.15

27 Granieten huis

In Portugal staat dit granieten huis.

- Leg uit of de muren heel dik moeten zijn, of dat ze juist dunner kunnen zijn dan een muur van baksteen, als je dezelfde warmte-isolatie wilt hebben als bij een huis van baksteen.
- Ga door een berekening na wat beter isoleert: een granieten muur met een dikte van 0,5 m, of een houten muur met een dikte van 1 dm.

In het huis staat een kachel die 6 kW aan warmte kan leveren. Op een dag is het buiten 12°C. Binnen moet de temperatuur op 18°C worden gehouden. Het warmteverlies door dak, deur en ramen is dan 2,8 kW. De granieten muren hebben samen een oppervlakte van 80 m².

- Bereken hoe dik de muren moeten zijn zodat de kachel de temperatuur op 18°C kan houden.

28 Bouwmarkt

Als je een laag isolatiemateriaal aanbrengt, bijvoorbeeld onder een dak, dan hangt het van twee dingen af hoe goed deze laag isoleert: het materiaal en de dikte. De temperatuur buiten en de grootte van het dak kun je immers niet beïnvloeden.

Op een pak isolatiemateriaal in een bouwmarkt vind je de volgende gegevens:

$$d=80 \text{ mm}, k=0,036 \frac{\text{W}}{\text{m} \times \text{K}} \text{ en } R=2,2 \frac{\text{m}^2 \times \text{K}}{\text{W}}.$$

- Leg uit welke waarde zo groot mogelijk moet zijn, k of R .
- Onderzoek welke van de volgende drie verbanden juist is: $R=k \cdot d$, $R=k/d$ of $R=d/k$.
- Leg uit welke van deze drie gegevens d , k of R , een materiaaleigenschap is.

3 Spiegeling en breking

Materialen breken licht, materialen weerspiegelen licht

Hoofdstukvragen	Welke materialen zijn geschikt om lenzen van te maken? Hoe gaan signalen door een glasvezel? Welke materialen gebruik je voor spiegels?
-----------------	---

3.1

Inleiding



Figuur 3.1



Figuur 3.2

Als licht een doorzichtig materiaal binnengaat, dan breekt het licht. Dit kan mooie effecten opleveren, zoals bij een geslepen diamant. Om de ooglenzen, brillenglazen en contactlenzen te begrijpen, moet je ook weten hoe licht breekt. We kijken vooral naar de eigenschappen die materialen moeten hebben om geschikt te zijn voor deze toepassingen.

Als we genoeg over lichtbreking weten, kunnen we ook de werking van een glasvezelnetwerk voor datatransport begrijpen. Daarbij is ook belangrijk hoe transparant het glas is. We bekijken wat nodig is voor doorzichtigheid.

Er zijn ook materialen die licht weerspiegelen. We zullen bekijken welke materialen dat zijn.

Oriëntatieopdracht - Kleine demonstratieproefjes

Bovenin gaat het licht de buigzame glasvezeldraadjes in.

Wat valt je op aan hoe het licht verder gaat?

Kan dit ook bij waterstraaltjes?

Er valt een lichtbundel op een diamant en op glas dat in precies dezelfde vorm is geslepen. De diamant schittert meer. Heb je een idee hoe dat komt?

Welke kant knikt een lichtstraal op als hij van lucht naar glas gaat?

Welke materialen spiegelen volgens jou goed?

3.2

Lichtbreking



Figuur 3.3

Het lepeltje in het glas hiernaast lijkt te knakken bij het wateroppervlak. In werkelijkheid knakt niet het lepeltje, maar knakken de lichtstralen die vanuit het water naar de lucht gaan.

Licht dat van het ene naar het andere materiaal gaat, kan van richting veranderen. Er zit dan een knik in de lichtstraal. Dit heet **breking**. Alleen als het licht loodrecht op het grensvlak tussen de materialen invalt, treedt er geen breking op. Het licht gaat dan rechtdoor.

We gaan kijken welke eigenschappen van materialen een rol spelen bij lichtbreking, maar gaan niet in op de vraag waarom het licht eigenlijk breekt.

We hebben een paar begrippen nodig om verschillen tussen materialen te kunnen begrijpen.

Hoek van inval en hoek van breking, brekingsindex

Je ziet in figuur 3.4 een plaatje van een lichtstraal die vanuit de lucht een stuk glas binnengaat. De gestippelde lijn staat loodrecht op het oppervlak. Deze lijn wordt de **normaal** genoemd.

De hoek tussen de invallende lichtstraal en de normaal noemen we de **hoek van inval** i . Deze is in de figuur aangegeven.

De breking is zó, dat de lichtstraal binnen het materiaal dichter bij de normaal loopt dan als hij rechtdoor zou zijn gegaan. Dat zie je ook in de figuur. De **hoek van breking** r is kleiner dan de hoek van inval i .

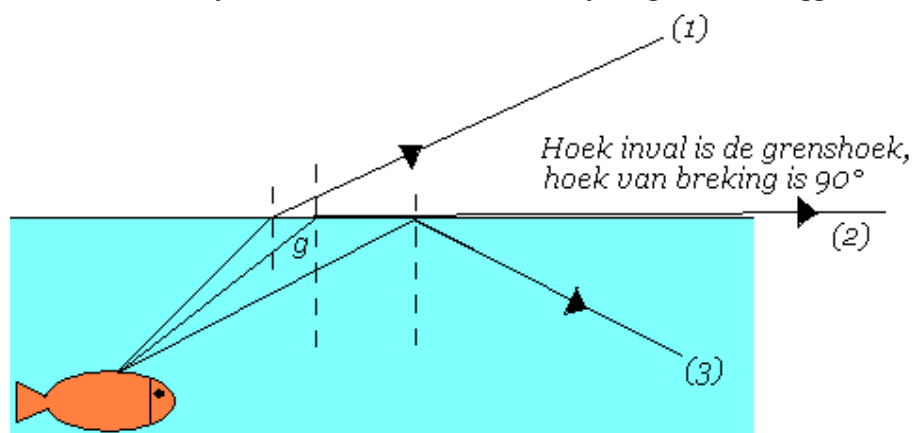
Als het licht weer naar buiten gaat, dus van het glas naar de lucht, dan is de hoek van breking juist groter dan de hoek van inval. Het hangt van het materiaal af hoe sterk deze effecten zijn. Het getal, dat aangeeft hoe sterk de lichtstraal breekt, heet de **brekingsindex** n . Op de vraag hoe de brekingsindex berekend wordt gaan we niet in.

Hoe groter de brekingsindex is, hoe sterker de breking. Als je de brekingsindex van een materiaal opzoekt in een tabel krijg je de brekingsindex die hoort bij de overgang van vacuüm naar dat materiaal. Bij normale materialen is de brekingsindex altijd iets groter dan 1. Dat betekent dat vanuit vacuüm lichtstralen altijd breken naar de normaal toe. Het verschil tussen lucht en vacuüm is vanuit lichtstralen gezien klein. De brekingsindex van lucht naar een materiaal is daarom vrijwel hetzelfde als van vacuüm naar dat materiaal.

Bij grensvlakken is er altijd ook een weerkaatste (gereflecteerde) lichtstraal. Die wordt terug gekaatsd volgens de spiegelwet: de hoek van inval is gelijk aan de hoek van terugkaatsing. De weerkaatste straal laten we in tekeningen vaak weg.

Grenshoek en totale terugkaatsing

Licht dat weerkaatst tegen een goudvis komt uit het water en gaat naar de lucht. Zie figuur 3.5. Er zijn drie stralen vanuit de goudvis getekend. Bij straal (1) en (2) zijn de stralen die weerkaatsen bij het grensvlak weggelaten.



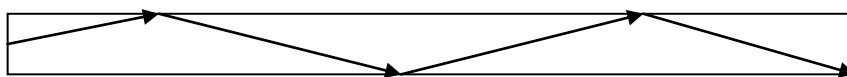
Figuur 3.5

De hoek van breking r zal dan groter zijn dan de hoek van inval i , zoals bij straal (1). Bij straal (2) is de hoek van breking 90 graden. Groter kan de hoek van breking niet zijn. Bij een grotere hoek van inval, zoals bij straal (3), komt het licht helemaal niet meer in de lucht. Er bestaat dan alleen een weerkaatste straal.

De hoek van inval waarbij het licht nog net uit het materiaal breekt, dat is dus de hoek van inval waarbij de hoek van breking 90 graden is, heet de **grenshoek** g . Als de hoek van inval groter is dan de grenshoek, dan weerkaatst de lichtstraal volledig aan het oppervlak van materiaal naar lucht. De lichtstraal blijft dan in het materiaal. We noemen dit **totale reflectie** of **totale terugkaatsing**.

Als dit gebeurt binnen een materiaal, bijvoorbeeld een stuk glas, kan de lichtstraal weer een ander oppervlak bereiken. Dan is het opnieuw de vraag of de hoek van inval groter of kleiner is dan de grenshoek. In het eerste geval weerkaatst de straal opnieuw volledig. In het tweede geval breekt de lichtstraal naar buiten.

Als de brekingsindex n van een materiaal groot is, dan is de grenshoek g klein. Dat betekent dat lichtstralen gemakkelijker in dat materiaal blijven. Zo werkt een glasvezelkabel: je ziet in figuur 3.6 hoe een lichtstraal steeds met een grote hoek van inval het oppervlak van glasvezel naar lucht treft en in het materiaal blijft.



Figuur 3.6

Opgaven

Je kunt opgaven 29 t/m 40 doen.

Practicum – Grenshoek

Bepaal de grenshoek van glas (als er op school meerdere soorten glas zijn, dan neem je die allemaal), perspex, ijs, water en alcohol. Zet de materialen op volgorde van 'kleine grenshoek' naar 'grote grenshoek'. Wat is de volgorde van de brekingsindices?

3.3

Doorzichtig?

Glas is wel doorzichtig voor zichtbaar licht en warmtestraling, maar niet voor UV-stralen. Als je binnen zit en je voelt de zonnestralen door het glas op je huid, dan word je toch niet bruin.

Welke straling glas **absorbeert**, dus niet doorlaat, kan worden beïnvloed door kleurstoffen toe te voegen. In het groene glas van een wijnfles zit bijvoorbeeld een stof die veel licht absorbeert. Alleen het groene licht wordt doorgelaten.

Veel materialen, zoals baksteen en het rubber van een autoband, absorberen al het zichtbare licht en zijn dus ondoorzichtig. Dat het van de stof afhangt welke straling goed wordt geabsorbeerd, zie je bij het verwarmen in de magnetron. Water wordt in de magnetron veel sneller heet dan andere stoffen omdat het de 'magnetronstraling' goed absorbeert.

Dat een stof in principe doorzichtig is, zegt nog niet alles. Water is wel doorzichtig, maar je kunt niet door dichte mist heen kijken, hoewel de mist uit heel kleine waterdruppeltjes bestaat. Dat komt doordat als licht een materiaal ingaat, er ook altijd een beetje reflecteert. Dat zie je als je 's avonds, als het buiten donker is, door het raam naar buiten kijkt. Je ziet je eigen spiegelbeeld. Iemand die buiten staat, kan jou ook zien. Het grootste deel van het



Figuur 3.7

Opgaven

Je kunt opgaven 41 t/m 47 doen.

Begrippen

Breking
Normaal
Hoek van inval
Hoek van breking
Brekingsindex
Grenshoek
Totale terugkaatsing
Absorptie van straling

licht dat van jou afkomt, gaat door het raam naar buiten, een deel reflecteert. In de mist zorgen een heleboel reflecties van een heleboel waterdruppeltjes ervoor dat er uiteindelijk helemaal geen licht meer rechtdoor gaat.

Metalen weerkaatsen al het licht. Het licht gaat niet naar binnen. Het is niet alles goud wat er blinkt: élk zuiver metaal weerspiegelt al het licht. Dit zie je bij veel metalen direct. Andere moet je eerst goed poetsen. In de meeste gevallen komt dofheid doordat die metalen reageren met zuurstof, oftewel, ze roesten. Pas als je het laagje roest weghaalt, zie je het eigenlijke, blinkende, metaal.

De straling in een magnetron is in principe hetzelfde soort straling als zichtbaar licht. Het gaat alleen om trillingen met een veel lagere frequentie en een veel grotere golflengte. Het is dus ook niet vreemd dat metaal de straling van de magnetron weerkaatst.

In oude magnetrons mocht je helemaal geen metaal gebruiken, omdat de gereflecteerde straling op verkeerde plaatsen terecht kon komen en de magnetron dan kon beschadigen. Nu zijn sommige producten zelfs verpakt in lage aluminium bakjes. Omdat ze zo laag zijn, kunnen de magnetrongolven via de bovenkant wel het eten bereiken. Maar je moet wel blijven uitkijken met metaal in de magnetron. Zeker bij puntige voorwerpen kunnen vonken ontstaan.

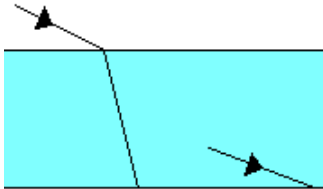
Samenvatting

- Bij **breking** van lucht naar een materiaal knikken lichtstralen naar de normaal toe. De **hoek van breking** r is dan kleiner dan de **hoek van inval** i .
- Bij breking van uit een materiaal naar lucht is dat andersom.
- Deze effecten zijn sterker als de **brekingsindex** n van het materiaal groter is
- De hoek van inval waarbij de hoek van breking 90 graden is, heet de **grenshoek**. Lichtstralen die vanuit een materiaal op een oppervlak vallen met een invalshoek die groter is dan de grenshoek breken niet naar buiten, maar weerkaatsen volledig tegen het oppervlak. Dit heet: **totale terugkaatsing**
- Materialen met een grote brekingsindex hebben een kleine grenshoek.
- In een doorzichtig materiaal wordt licht niet **geabsorbeerd**.
- Een materiaal kan doorzichtig zijn voor sommige kleuren licht en tegelijk andere kleuren licht wel absorberen.
- Je kunt gekleurd glas maken door een kleine hoeveelheid van een stof toe te voegen. Die stof absorbeert een deel van het licht.
- Bij een onregelmatige verdeling van een doorzichtig materiaal vinden veel reflecties plaats, waardoor je er niet goed doorheen kunt kijken.
- Metalen weerspiegelen licht. Spiegels hebben aan de achterkant van het glas een dun laagje metaal.

Opgaven

29 Breking

In figuur 3.8 is de hoek van breking r vrij ...**a**..., daaraan kun je zie dat de brekingsindex n van dit materiaal ...**b**... is. De andere lichtstraal, die in het materiaal begint, zal ...**c**... bij het grensvlak van materiaal naar lucht, omdat de hoek van ...**d**... groter is dan de ...**e**....



Figuur 3.8

30 Breuk

Leg uit waarom je geen knik in een glasvezelkabel mag maken. Maak een schets en gebruik in je uitleg de begrippen 'hoek van inval' en 'grenshoek'. Licht je uitleg toe met een schets.

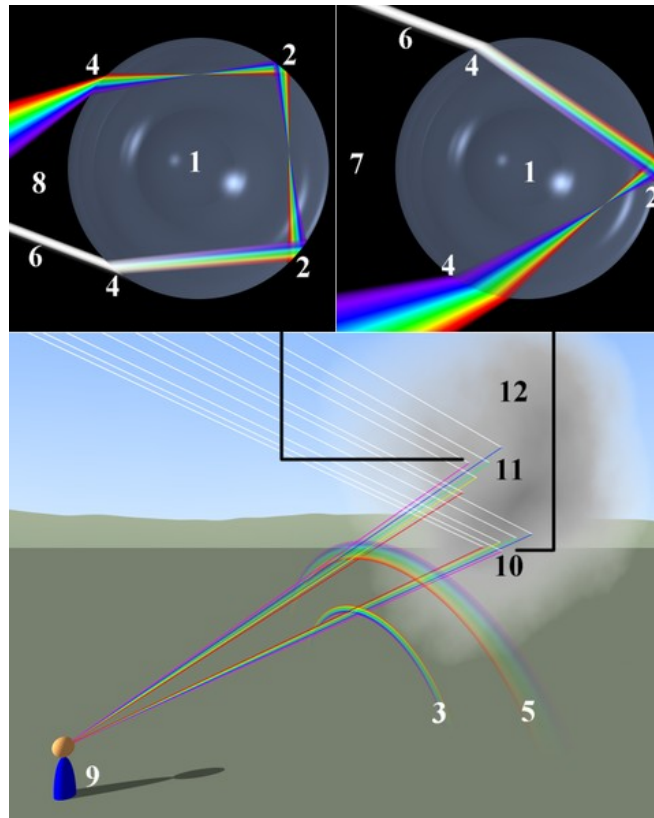
31 Regenbogen

In figuur 3.10 zie je hoe een regenboog ontstaat. Rechtsboven in de figuur zie je wat er in een waterdruppel, in een wolk of mist, gebeurt: het licht breekt als het de druppel binnengaat, binnen de druppel weerkaatst het licht totaal, en het licht breekt daarna weer naar buiten. Er is een verschil in breking tussen de kleuren. Zo ontstaat de gewone regenboog (3 in het plaatje).

- Voor welke kleur heeft water de grootste brekingsindex, voor violet of voor rood?
- Leg uit hoe de tweede regenboog ontstaat.



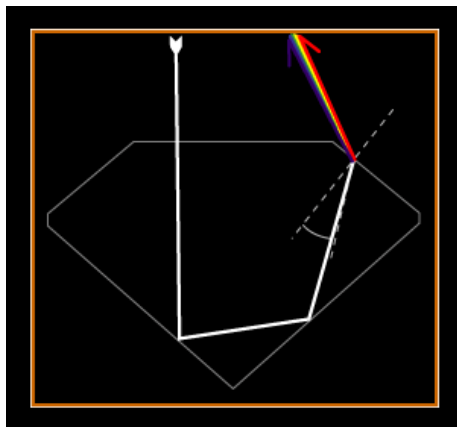
Figuur 3.9



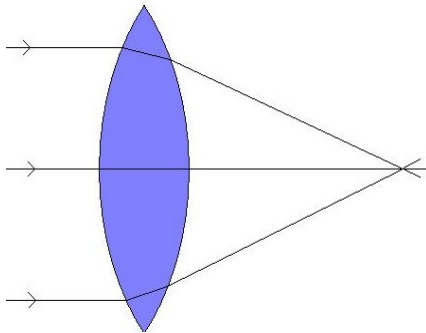
Figuur 3.10



Figuur 3.11



Figuur 3.12



Figuur 3.13

Naam	dichtheid	n
glas	2,6	1,52
flintglas	3,5	1,92
perspex	1,2	1,50
diamant	3,52	2,42
water	1,0	1,34

Figuur 3.14

32 Zeebogen



Op Atoptics.uk; Sea Water Rainbow zie je dat de regenboog die ontstaat in verstuiwend zeewater niet aansluit op de gewone regenboog boven de horizon. De straal van de cirkel is iets kleiner.

Leg uit of verstuiwend zeewater een grotere of een kleinere brekingsindex heeft dan het water in regendruppels. Tip: gebruik de figuur in de vorige opgave.

33 Diamant

In figuur 3.12 zie je hoe licht van één kant op een geslepen diamant valt.

a. Wat zie je als je van bovenaf kijkt (je ziet dit het beste als je je hoofd langzaam heen en weer beweegt)?

Bij de afbeelding van de echte diamant zie je dat het bovenvlak niet plat is, zoals in de onderste tekening, maar uit kleine scheve vlakjes bestaat.

b. Waarom zou de echte diamant zo geslepen zijn?

Als je een materiaal met een kleinere brekingsindex neemt is de grenshoek groter en zal het licht aan de onderkant naar buiten breken.

c. Wat zie je dan aan de bovenkant?

Ook bij diamant hangt de brekingsindex een beetje af van de kleur.

d. Voor welke kleur is de brekingsindex van diamant het grootst, rood of blauw?

Diamant heeft een brekingsindex van 2,5. Aquamarijn heeft een brekingsindex van 1,58 en Zirkoon van 1,95.

e. Leg uit welke van deze drie edelstenen het meeste, en welke het minste zal schitteren.

34 Lenzen

Je ziet in figuur 3.13 hoe lichtstralen door een bolle lens gaan.

Omschrijf hoe de lichtstralen gaan door een lens die precies dezelfde vorm heeft, maar waarvan de brekingsindex groter is, bijvoorbeeld 1,6 in plaats van 1,5. Is die lens sterker of zwakker dan de eerste?

35 Opticien

Een opticien wil een bril maken met sterke glazen. Hij wil dat de glazen niet te dik worden, want dat staat niet mooi.

Leg uit welk materiaal hij kiest: met een zo groot mogelijke of met een zo klein mogelijke brekingsindex.

36 Dichtheid en brekingsindex

In figuur 3.14 zie je een tabel met de brekingsindex en de dichtheid van een aantal materialen. Maak een diagram waarin je de brekingsindex uitzet tegen de dichtheid.

37 Materialen voor brillenlenzen

a. Behalve dun moeten brillenglazen ook licht zijn. Licht de volgende uitspraak met getallen toe: "Perspex lenzen zijn wel dikker dan glazen lenzen, maar toch minder zwaar".

b. Welke eigenschappen moet het materiaal van brillenglazen nog meer hebben dan dat het licht is en een grote brekingsindex heeft?

38 Contactlenzen

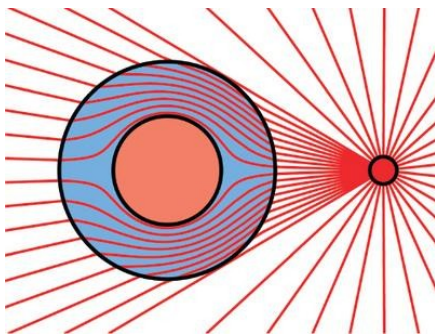
Zoek op van welke materialen contactlenzen zijn gemaakt.

39 Nero

Zoek op wat de edelsteen Beryl, keizer Nero en de vorige vragen met elkaar te maken hebben.

40 Onzichtbaarheidsmantel?

De tekst hieronder is een samenvatting van een artikeltje in de NRC over het onzichtbaar maken van objecten. De afbeelding ernaast komt van de Noorderlicht-site van de VPRO.



Figuur 3.15

“Metamateriaal maakt zichzelf en zijn inhoud onzichtbaar

Onzichtbaarheidsmantels kunnen echt bestaan. Natuurkundigen van het Imperial College in Londen en de Duke University in North Carolina hebben berekend dat een bol van zogeheten metamateriaal zijn binnenste onzichtbaar maakt en zelf ook niet zichtbaar is. Metamaterialen zijn recent ontwikkeld en hebben een brekingsindex die kleiner dan 1, of zelfs negatief is. Om een object onzichtbaar te maken hoef je alleen maar alle lichtstralen er omheen te leiden, zodat ze daarna in de oorspronkelijke richting doorgaan.

Met gewone materialen, met een brekingsindex groter dan 1, is dat onmogelijk, met metamaterialen kan het wel. Ze komen in de natuur niet voor, maar werden in het begin van deze eeuw voor het eerst gemaakt, aanvankelijk alleen voor microgolfstraling. Inmiddels bestaan de eerste metamaterialen voor zichtbaar licht. In 2005 werd het voor het eerst gedemonstreerd.

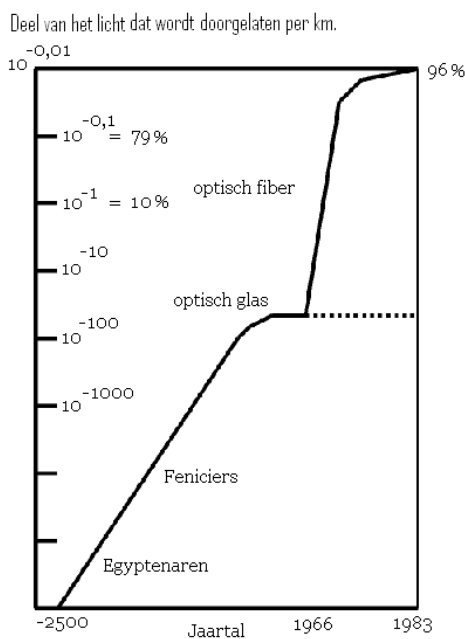
De toepassingen lijken veelbelovend. Er zijn bijvoorbeeld superlenzen mogelijk die details kunnen vergroten kleiner dan de golflengte van licht. Helemaal perfect is de onzichtbaar makende mantel nog niet. Lichtstralen die loodrecht op het oppervlak vallen kunnen niet goed om het centrum heen geleid worden. Bovendien werkt het principe alleen bij golflengten in een beperkt golflengte gebied, dus niet voor alle kleuren.”

- Wat wordt over de brekingsindex van het gebruikte materiaal beweerd?
- Wat valt in de tekening op aan de manier waarop de lichtstralen het materiaal binnengaan? Klopt dat met de bewering over de brekingsindex?

41 Doorzichtigheid door de eeuwen heen

Je ziet in figuur 3.16 een diagram waarin de doorzichtigheid van het beste glas in de loop der tijden is weergegeven. De getallen langs de verticale as geven het deel van het licht aan dat wordt doorgelaten per kilometer. Daardoor worden de getallen snel erg klein. Om een idee te krijgen: 10% per kilometer komt neer op 99,8% per meter.

Leg uit waarom zowel voor de tijd als voor de doorzichtigheid logaritmische schalen zijn gebruikt.



Figuur 3.16

42 Zonnebank

Leg uit dat het glas van de lampen van een zonnebank niet hetzelfde soort glas kan zijn als gewoon vensterglas.

43 Staar

Zoek op wat de ziekte ‘staar’ inhoudt. Leg uit of de kwaal te maken heeft met hoe sterk een materiaal het licht breekt, of met hoe doorzichtig een materiaal is. Zoek ook op welke operatie wordt toegepast en welk materiaal daarbij wordt geïmplanteerd.

44 Veredeling van edelsteen?

Uit een folder over edelstenen: “Kleine barstjes worden vaak opgevuld met vloeibaar glas of olie. Als dit is gebeurd, moet dit u bij aankoop worden verteld”. Leg uit hoe het komt dat de steen mooier is geworden door de behandeling.

45 Ondoorzichtig glas

Een verbrijzelde autoruit en matglas, dat gezandstraald is en dus bezaaid met kleine putjes, zijn allebei niet doorzichtig. Beschrijf wat er in beide gevallen gebeurt met licht dat erop valt.

46 Spiegels

Zoek op hoe gewone spiegels, bijvoorbeeld voor in de badkamer, worden gemaakt. Welk materiaal zit aan de achterkant van het glas?

47 Magnetron

In het venster van de magnetron zie je een rooster van dunne metalen draadjes lopen. Leg dat die zorgen dat er geen ‘magnetronstraling’ naar buiten komt. Leg ook uit hoe het kan dat andere elektromagnetische straling, namelijk licht, wel naar buiten kan.



4 Buigen of breken

De ene draad rekt meer uit dan de andere. Materialen buigen of ze breken.

Hoofdstukvragen	Welke materialen rekken goed uit, welke niet? Welke materialen breken, welke niet? Waarom hebben bruggen een boogvorm?
-----------------	--

4.1 Inleiding

Je rekt een snelbinder uit om een tas achterop je fiets te doen. Een vislijn breekt omdat de vis te sterk is. Er vliegt een bal door een ruit. Er rijdt een trein over een brug. Je verbuigt een ijzerdraadje. In al deze gevallen wordt er een kracht op een materiaal uitgeoefend. Er is een verschil tussen rekbaarheid, breekbaarheid, buigbaarheid... je kunt niet zomaar zeggen dat een materiaal 'sterk' is of niet. Verschillende eigenschappen spelen een rol.

We kijken weer naar allerlei toepassingen, maar het gaat ons om de eigenschappen van de materialen: steen, glas, hout, metalen, rubber, kunststoffen.

Oriëntatieopdracht

Bedenk bij elke foto in figuur 4.1 wat het gevolg is van de krachten die zijn uitgeoefend op het materiaal. Bedenk steeds ook wat je kunt zeggen over de materialen op grond van wat je op de foto's ziet.



Figuur 4.1



Figuur 4.2

Onderzoeksopdrachten

Elk groepje gaat wat kleine onderzoekjes doen die te maken hebben met het uitoefenen van krachten op materialen. Er zijn meerdere categorieën met steeds enkele keuzes:

Rekken

Oefen een steeds grotere trekkracht uit op het materiaal dat je onderzoekt. Hang er bijvoorbeeld steeds meer gewichtjes aan. Meet steeds de uitrekking. Maak een grafiek waarin je horizontaal de uitrekking zet en verticaal de benodigde kracht.

Snelbinder (voorzichtig met terugspringen, grote krachten nodig)

Ballon (hang gewichtjes aan het tuitje)

Touw

Leren veter

Elastiek voor kleding

Haar

Binnenband

Kauwgom

Breken

Ga na bij welke kracht de genoemde draden breken. Je moet wel dunne draden nemen, anders heb je teveel kracht nodig. Het is wel interessant als je meerdere draden kunt vergelijken, bijvoorbeeld haren van verschillende personen.

Garen

Wol

Strook papier

Wc-papier

Haar

Dun touw

Buigen en breken

Bij de eerste proefjes hieronder gaat het er om dat je een stukje metaal een aantal malen kunt buigen en terugbuigen. Daarna breekt het. Onderzoek hoe vaak het kan, doe dit bijvoorbeeld bij verschillende formaten paperclip.

Bij de andere proefjes onderzoek je op welke plek de voorwerpen breken, als je ze probeert te buigen. Hoe ver kunnen ze buigen?

Lipje blikje

Paperclip

Visloodjes

Koekjes

Plakjes ijs (maken in vriesvak)

Takjes

Plankjes

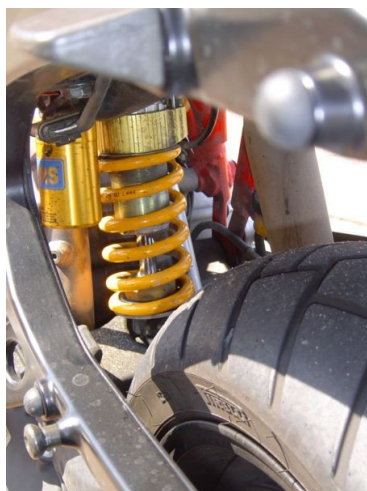
Krassen

Kun je met een naald een krasje maken op een muntje? En met een glasscherfje? En met een scherp steentje?

Glas-metalen-stenen

4.2

Rekken en trekken



Figuur 4.3

Deze paragraaf gaat over het rekken van materialen. Een veer is geen materiaal, maar een ding. Toch kijken we eerst naar de veerkracht van veren. Dat helpt je om het rekken van materialen te begrijpen.

Als je aan een veer trekt, krijg je een uitrekking. Vaak worden veren gebruikt in het lineaire gebied. In dit gebied is de uitrekking recht evenredig met de uitgeoefende kracht. Dat wil zeggen, dat als de kracht verdubbelt, dat dan de uitrekking ook verdubbelt. Je kunt dit schrijven als formule.

Formules – Veerkracht (wet van Hooke)

Voor het verband tussen de kracht en uitrekking van een veer geldt:

$$F = C \cdot u$$

Symbolen: F is de veerkracht in Newton (N),
 u is de uitrekking van de veer in meters (m) en
 C is de veerconstante in Newton per meter (Nm^{-1}).

Opgaven

Je kunt opgaven 48 t/m 51 doen.

De veerconstante C is een eigenschap van de veer. Hoe stugger de veer, hoe groter de C . De veerconstante C hangt af van het gebruikte materiaal, maar ook van de dikte en van het aantal windingen in de spiraal.

Touwen en kabels

Als een voorwerp aan een draad hangt, kan die draad uitrekken. Hij kan ook breken. Die twee dingen moet je goed onderscheiden. Het is niet per se zo dat een draad die gemakkelijk uitrekt, ook gemakkelijk breekt.

De uitrekking hangt af van de kracht. Hoe meer kracht je op een draad uitoefent, hoe meer hij uitrekt. Hoewel we alleen rechte draden bekijken en geen spiraalveren zoals de schokdemper in het plaatje, is de formule $F=C \cdot u$ van toepassing zolang de uitrekking niet te groot wordt.

Hoeveel de draad uitrekt hangt niet alleen af van het materiaal en de kracht. Een lange draad rekt meer uit dan een korte. Je moet eigenlijk draden van dezelfde lengte vergelijken. Dat doe je vanzelf als je kijkt naar de **relatieve rek**. De relatieve rek geeft aan hoeveel de draad uitrekt per meter draad. De relatieve rek is een getal of een percentage. Je kunt het als formule schrijven.

Formules – Relatieve rek

Relatieve rek is:

$$\frac{\Delta \ell}{L}$$

Symbolen: $\Delta \ell$ is de uitrekking in meter (m), en
 L is de oorspronkelijke lengte van de draad in meter (m).

Het woord ‘relatief’ wordt vaak weggelaten. Je hoeft met relatieve rek niet te rekenen, maar je moet wel snappen wat het is.

Een dikke draad rekt minder uit bij dezelfde kracht dan een dunne draad van hetzelfde materiaal. Je moet dus eigenlijk draden van dezelfde dikte vergelijken. Maar je kunt ook kijken naar de kracht per oppervlakte-eenheid, bijvoorbeeld per mm^2 of per m^2 . Die kracht per oppervlakte noemen we de **spanning**. In formulevorm:

Formules – Spanning

$$\sigma = \frac{F}{A}$$

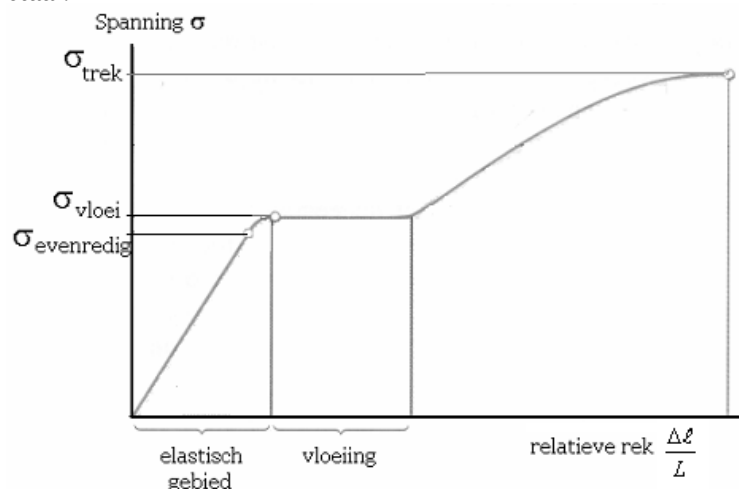
Symbolen: σ is de spanning in Newton per vierkante meter (Nm^{-2}); dat is hetzelfde als Pascal (Pa). F is de kracht in Newton (N), en A is de oppervlakte van de doorsnede van de draad in vierkante meters (m^2).

Let op: de ‘spanning’ in deze formule is niet hetzelfde als ‘spankracht’. Spanning is kracht per oppervlakte, spankracht is alleen kracht. Soms zijn mensen slordig met deze begrippen.

Spanning heeft dezelfde eenheid als druk. Druk en spanning spelen allebei een rol bij constructies. Maar er zijn enkele verschillen:

- Druk gebruik je voor duwkrachten. Als je in één punt van een constructie kijkt, is daar de druk in alle richtingen even groot.
- Spanning gebruik je voor trekkrachten en eigenlijk ook voor wringkrachten, schuifkrachten en draaikrachten. Naar die laatste drie soorten krachten kijken we in dit hoofdstuk niet. De spanning in één punt is niet altijd in alle richtingen hetzelfde. Als je aan een draad trekt werkt de spanning alleen in de lengterichting van een draad.
- Vanuit een hoger gezichtspunt kun je zeggen dat druk een speciaal soort spanning is.

Als je wilt onderzoeken hoe sterk materialen zijn, ga je ze belasten onder steeds grotere spanningen. Je meet daarbij de relatieve rek. De resultaten zet je uit in een **spanning-rekdiagram**. In figuur 4.4 zie je zo’n diagram voor staal.



Figuur 4.4

- Eerst is er een **lineair gebied**. Daarin zijn spanning en rek recht evenredig.

- Boven een spanning $\sigma_{\text{evenredig}}$ is dat niet meer zo, maar is de vervorming nog wel elastisch. **Elastische vervorming** wil zeggen dat het materiaal zijn oorspronkelijke vorm weer terugkrijgt als de belasting wordt weggehaald.
- Dan volgt een gebied van **plastische vervorming**. In het eerste deel van dit gebied, het horizontale stuk in het diagram, wordt het materiaal snel langer, met nauwelijks meer kracht. Het 'vloeit': het verandert definitief van vorm.
- Als het ophoudt met vloeien kan het worden belast tot de **treksterkte** wordt bereikt.
- Bij de treksterkte wordt het materiaal op één punt snel dunner. Het zal dan snel breken.

In het lineaire gebied zijn de rek en de spanning recht evenredig. Het getal dat de verhouding aangeeft tussen rek en spanning heet de **elasticiteitsmodulus**.

Formules – Elasticiteitsmodulus

$$\sigma = E \frac{\Delta \ell}{L}$$

Symbolen: σ is de spanning in Pascal (Pa), $\frac{\Delta \ell}{L}$ is de relatieve rek en

E is de elasticiteitsmodulus in Pascal (Pa).

Met deze formule hoef je niet te kunnen rekenen, maar je moet wel snappen wat de elasticiteitsmodulus betekent.

Aan de formule kun je zien dat een grote elasticiteitsmodulus betekent dat het materiaal bij een bepaalde spanning weinig uitrekt.

naam	Elasticiteits-Modulus (10 ⁹ Pa)	Trek-sterkte (10 ⁹ Pa)
Dyneema	98	3,1
Glasfiber	7 – 45	
Haar		0,1
Hout (evenwijdig aan de nerf)	9-16	0,04 (Den)
Hout (loodrecht op de nerf)	0,6 – 1,0	
Nylon	2 – 4	0,075
Rubber	0,0001 – 0,001	0,015
Staal	210	0,4

Figuur 4.5

In figuur 4.5 staan wat speciale waarden.

- Rubber rekt extreem gemakkelijk uit. Dit geldt voor de meest pure rubber, zoals die uit de boom vloeit. Door de stof te laten reageren met zwavel wordt rubber stugger. Dit heet vulkaniseren.
- Nylon en natuurlijke vezels als katoen nemen een tussenpositie in: ze rekken minder uit dan rubber en meer dan staal.
- Glasfiber rekt minder uit dan die soorten touw.
- Staal rekt heel weinig uit.
- Bij hout maakt het heel veel uit of je evenwijdig aan de nerf trekt of loodrecht daarop. In het eerste geval rekt het hout minder dan in het tweede geval. Je kunt je voorstellen dat je in het ene geval in de lengterichting aan de vezels trekt en in het andere geval alleen de vezels van elkaar los trekt.

In de rechterkolom staan treksterktes. Wat valt op?

- Bij rubber is die waarde groter dan in de middelste kolom, rubber kan dus heel ver uitrekken voor het breekt.
- Haar is vrij sterk, staalkabels blijken heel sterk. De nieuwe kunststofvezel Dyneema is heel sterk.

Opgaven

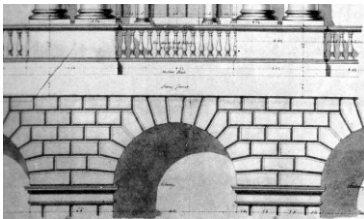
Je kunt opgaven 52 t/m 58 maken

- Bij hout is er weer een groot verschil in de richtingen parallel aan de nerf en loodrecht daar op.

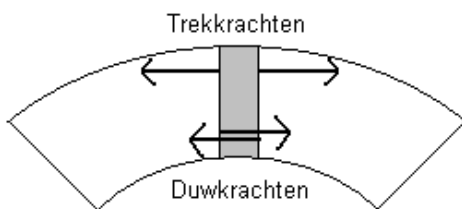
Bij heel lange kabels wordt het belangrijk dat ze ook hun eigen gewicht moeten dragen. Een staalkabel is weliswaar heel sterk, maar de dichtheid van staal is ook heel hoog. Een staalkabel van 9 kilometer lengte breekt onder zijn eigen gewicht. Een dyneema kabel is niet alleen sterker, maar ook lichter. Bij het omhooghalen van een gezonken duikboot van kilometers diepte, kun je dus beter die kunststof kabels gebruiken dan stalen kabels.

4.3

Trekken of duwen, buigen of barsten



Figuur 4.6



Figuur 4.7

We gaan nu kijken naar andere voorwerpen en materialen, niet meer alleen naar draden. We beginnen met iets wat bij het bouwen van bruggen en van gebouwen belangrijk is: de materialen baksteen en beton kunnen er veel beter tegen als ze worden ingeduwd, dan als er aan wordt getrokken. Ze zijn **bros**: ze vloeien niet of nauwelijks als er aan wordt getrokken, maar ze breken snel.

Bij induwen geven ze maar een beetje mee, je zou kunnen zeggen dat de veerconstante dan groot is: ook bij een grote kracht is de vervorming heel klein. De Romeinen begonnen daarom met het bouwen van boogbruggen. Daarbij rust elke steen voor het grootste deel op de stenen eronder. Er wordt dus gezorgd dat er alleen duwkrachten zijn, geen trekkrachten.

Als er op een langgerekt voorwerp zoals een bot of een tak krachten werken die proberen het voorwerp te buigen, dan is er altijd een trekkracht aan de kant die 'in de buitenbocht' komt. Aan de 'binnenbocht' is er een duwkracht.

Een glazen staaf die je in beide handen neemt en die je probeert te buigen op de manier van het plaatje, zal dus breken, het begin van de barst zit dan aan de bovenkant. Een betonnen plaat die een lange afstand moet overbruggen, zal onder zijn eigen gewicht doorzakken, en aan de onderkant als eerste barsten.

Hoe goed een materiaal tegen buigen kan, kan sterk verschillen:

- Glas kan er niet goed tegen, maar het hangt bij glas er sterk van af hoe gelijkmatig het oppervlak is. Kleine barstjes zorgen dat het glas snel breekt. Bij het expres snijden van glas wordt daar gebruik van gemaakt: je maakt een ondiepe kras met een 'glassnijder', het glas breekt daarna gemakkelijk langs die lijn.
- Hout splijt gemakkelijk langs de nerf, bovendien hangt het sterk van de houtsoort af.
- Steen en beton kunnen nauwelijks buigen, ze breken snel.
- Metalen zijn heel buigzaam. Zuivere metalen kun je echt kneden. Dit merk je goed bij visloddjes. Zuiver goud kun je helemaal uitrollen als bladgoud, het buigt dan met alles mee. Van zuiver goud kun je dan ook geen sieraden maken, die zouden veel te zacht en kneedbaar zijn. Sieraden zijn altijd van een legering gemaakt.
- Als je een ijzeren paperclip meerdere keren achter elkaar buigt, dan breekt hij na een aantal keer. Het voortdurend bewegen zorgt dat het metaal minder buigzaam en breekbaarder, oftewel brozer wordt. Dit verschijnsel heet metaalmoeheid.
- In een **composietmateriaal** worden materialen gemengd om gebruik te kunnen maken van de positieve eigenschappen van beide. Vaak wor-

Opgaven

Je kunt opgaven 59 t/m 64 doen.

den vezels toegevoegd aan een kunststof. De kunststof houdt de vezels samen.

- In gewapend beton zitten staalkabels. Die vangen de trekkrachten op, wat het beton zelf niet kan.

Begrippen

Wet van Hooke
Relatieve rek
Spanning
Spanning-rekdiagram
Elasticiteitsmodulus
Treksterkte
Elastische vervorming
Lineair gebied
Plastische vervorming
Bros materiaal
Composietmateriaal
Druk

Samenvatting

- Voor de uitrekking van een veer geldt de **wet van Hooke**

$$F = C \cdot u$$

- Voor de **spanning** in een draad geldt

$$\sigma = \frac{F}{A}$$

- In een **spanning-rekdiagram** zie je wat er gebeurt met een materiaal onder verschillende spanningen.
- In het **lineaire gebied**, als de spanning niet groot is, zijn de spanning en de rek rechtevenredig. Hoe veel een materiaal dan uitrekt wordt bepaald door de **elasticiteitsmodulus**.
- Wanneer een draad van een materiaal breekt wordt bepaald door de **treksterkte**.
- Omdat een kabel ook zijn eigen gewicht moet dragen is behalve de treksterkte ook de dichtheid belangrijk.
- In **composiet** materiaal worden meerdere materialen gemengd om gebruik te kunnen maken van de gunstige eigenschappen van al die bestanddelen.
- **Bros** materiaal breekt snel als er aan getrokken wordt.
- Zuiver metaal is zacht en kneedbaar, legeringen zijn harder dan zuivere metalen.
- Na meerdere malen buigen van een metaal treedt metaalmoeheid op. Dan breekt het.

Opgaven

48 Bungeejumpen

- a. Welk probleem krijg je als de veerconstante van een bungeejumptouw te klein is?
- b. En welk probleem krijg je als de veerconstante van een bungeejumptouw te groot is?

49 Autovering

De vering van een auto bestaat uit vier veren. De auto zakt 1,5 cm in als er een persoon met een gewicht van 600 newton instapt.

- Bereken de veerconstante van de veren.
- Hoeveel zakt de auto in als er vier personen instappen, met een totaal gewicht van 3000 N?

50 Nylon

Een nylon draad rekt 1,0 cm uit als er een kracht van 10 newton op wordt uitgeoefend. Bereken de veerconstante van de draad.

51 Veerconstanten bij rekproefjes

Zoek de gegevens op van de rekproefjes die je met de klas hebt gedaan. Bepaal de veerconstanten van elke 'veer'.

52 Dikte

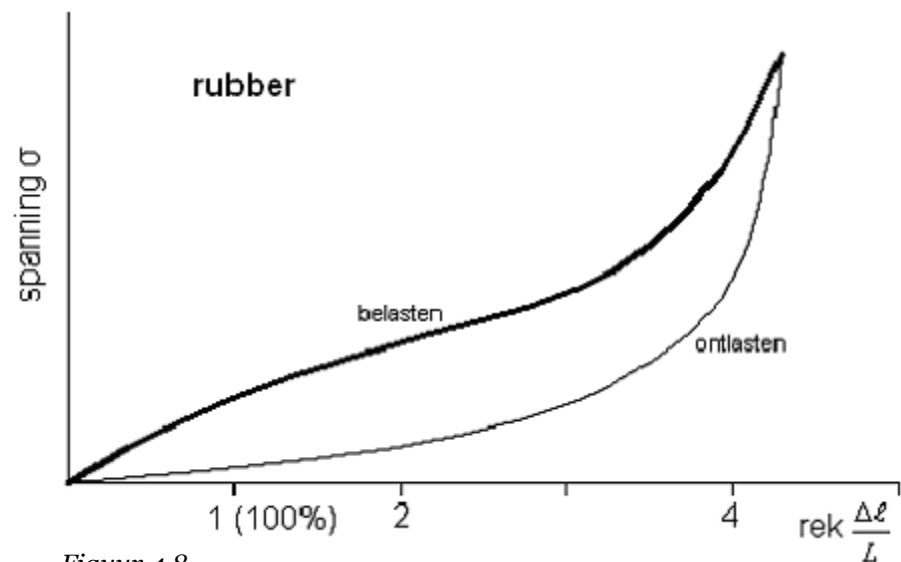
Leg uit dat een twee keer zo dikke, even lange draad van hetzelfde materiaal een vier keer zo grote veerconstante heeft.

53 Elasticiteit van Rubber

Je hebt twee even dikke, even lange rubberen koorden. Bij het vulkaniseren is bij het ene koord meer zwavel gebruikt dan bij het andere. Welk koord heeft de grootste veerconstante? Welke stof heeft de grootste elasticiteitsmodulus: gevulkaniseerd rubber of ongevulkaniseerd rubber?

54 Lineair?

In figuur 4.8 zie je het spanning-rekdiagram van een bepaald soort rubber. Tot waar zou je mogen zeggen dat de rek lineair is?



Figuur 4.8

55 Rubber of nylon

- Welke draad heeft een grotere veerconstante: een één meter lang, één centimeter dik koord van rubber, of een één meter lang, één centimeter dik koord van nylon?
- Welke draad heeft een grotere veerconstante: een één meter lang, twee centimeter dik koord van rubber, of een één meter lang, één centimeter dik koord van nylon?
- Je wilt een rubberen koord en een nylon koord maken, allebei één meter lang, met dezelfde veerconstante. Hoeveel keer zo groot moet de doorsnede van het rubber koord zijn, vergeleken met het nylon koord?



Figuur 4.9

56 Gitaarsnaar

- Je draait de snaar van een basgitaar strakker. Dat kost best veel kracht. Heeft dit te maken met de elasticiteitsmodulus van het materiaal van de snaar, of met de treksterkte? Leg je antwoord uit.
- Nu knapt de snaar. Heeft dit te maken met de elasticiteitsmodulus van het materiaal van de snaar, of met de treksterkte? Leg je antwoord uit.

57 Sterk vissersverhaal

Een nylon vislijn heeft een lengte van 3 m en een diameter van 0,30 mm. De treksterkte van nylon is $0,075 \cdot 10^9$ Pa. Een visser vangt met deze vislijn een vis met een gewicht van 3,0 N.

- Ga door een berekening na dat de vislijn hierdoor niet zal breken.

Even later vangt de visser een grotere vis, maar de lijn breekt door de trekkracht van de vis.

- Bereken hoe groot die trekkracht minstens geweest moet zijn.

58 Kabels te koop

Op kluwens touw en kabels die je in een bouwmarkt kunt kopen, staat aangegeven hoeveel kilogram je er aan kunt hangen voordat ze breken. Zoek deze gegevens op in een bouwmarkt of op internet. Vergelijk de gegeven waarden voor touw van hetzelfde materiaal en verschillende dikte. Maak ook een vergelijking voor verschillende touwen die juist even dik zijn, maar van verschillend materiaal.



Figuur 4.10

59 Nerven

Je weet dat hout sterker is in de richting van de nerf dan in de richting loodrecht daar op.

- Bedenk in welke richting het hout in een levende boom de meeste kracht moet weerstaan (door de zwaartekracht en door de wind) en leg uit wat je daardoor weet over in welke richting de nerf loopt in de levende boom.

- Als een karateka een plankje doorslaat, in welke richting moet de nerf dan lopen, parallel aan de zijkant van de hand of loodrecht daar op?

Dat hout in verschillende richtingen zo verschillend reageert is één van de problemen van hout als constructiemateriaal.

- Noem nog twee problemen. Tip: één probleem is de reden waarom houten raamkozijnen, zeker aan de buitenkant, goed geverfd moet worden. Het andere probleem maakt het nodig dat bij het leggen van een houten parket enige ruimte moet worden gelaten tussen de planken en bij de muren.

Triplex bestaat uit drie dunne plankjes die op elkaar zijn gelijmd. De richting van de nerf is om en om gelegd, dus de richting van de nerf in het middelste plankje is tegengesteld aan de richting in de andere twee plankjes.

d. Leg uit wat de voordelen hiervan zijn, als je een kast bouwt.

e. Leg uit of een karateka liever een houten plankje of een triplex plankje doorslaat.

60 MDF

Uit een folder van een houthandel: "MDF is de afkorting van Medium Density Fibreboard. Het is een plaatmateriaal dat gemaakt wordt van minderwaardige houtkwaliteiten die worden verpulverd tot 'houtstof'. Deze houtstof wordt onder hoge druk bij een hoge temperatuur samengeperst tot een plaat waarbij de natuurlijke bindmiddelen van het hout eigenlijk als natuurlijke 'lijm' dienen.

NB: Sommige fabrikanten voegen voor de zekerheid een fractie lijm toe."

Leg uit dat de dichtheid van het MDF groter is dan de dichtheid van het hout waarvan het is gemaakt.



Figuur 4.11

61 Tempels en kathedralen

De afstand tussen de pilaren van de Griekse tempel is veel kleiner dan de afstand die de koepel van de kathedraal overspant. Leg uit waarom de koepel een grotere afstand kan overbruggen dan de horizontale balk op de pilaren. Gebruik in je uitleg de begrippen trekkracht en duwkracht.



Figuur 4.12

62 Spannend glas

Bij de productie van glas kan worden gezorgd dat de buitenkant zó onder spanning staat dat hij wordt samengetrokken, terwijl de binnenkant juist zó onder spanning staat dat de krachten hem uit elkaar willen trekken. Leg uit waarom het nuttig is dat de spanning in de buitenkant samentrekkend is en waarom het niet erg is dat de spanning aan de binnenkant tegengesteld is.

63 GLARE en tandartsvullingen

Een tandarts gebruikt kunststof vullingen met gemalen glasdeeltjes daar in verwerkt. In de vliegtuigindustrie wordt GLARE gebruikt, dat is aluminium versterkt met vezels. Wat is de overeenkomst tussen deze materialen?

64 Fietssleutels

Een fietssleuteltje moet soepel draaien in het slot. Als je veel kracht moet zetten en het verbuigt steeds, dan kun je het een tijd lang wel steeds terugbuigen, maar na enige tijd zal het breken. Hoe heet dit verschijnsel?

5 Macro-Micro-Nano

Verschillende eigenschappen van materialen worden op verschillende schalen bepaald.

Hoofdstukvragen	Welke van de eigenschappen die we hebben gezien worden bepaald door structuren ter grootte van micrometers? Wat kunnen we alleen verklaren als we naar de veel kleinere bouwstenen van stoffen kijken?
-----------------	--

5.1 Inleiding

Macroscopische eigenschappen kun je met het blote oog zien. Voor **microscopische eigenschappen** heb je een microscoop nodig. Omdat de golflengte van licht ongeveer een halve micrometer is, kun je alles wat kleiner is niet met een gewone lichtmicroscoop zien. Toch weten we veel over hoe materialen er uitzien op een schaal van nanometers. Een nanometer is eenduizendste micrometer. De elektronenmicroscoop, waarin in plaats van lichtstralen elektronenstralen worden gebruikt, en tegenwoordig de STM, de **scanning tunneling microscope**, hebben dat mogelijk gemaakt.

Ook de Röntgenstraling is heel belangrijk voor fysici om structuren van materialen zichtbaar te maken.

Sommige van de eigenschappen die we tot nu toe besproken hebben, kun je verklaren op macroscopische of microscopische schaal, voor andere verklaringen heb je de schaal van de atomen en moleculen, de **nanometerschaal**, nodig.



Figuur 5.1

1 meter = 1000 millimeter	1 mm = 0,001 m
1 millimeter = 1000 micrometer	1 μm = 0,001 mm
1 micrometer = 1000 nanometer	1 nm = 0,001 μm

Oriëntatieopdracht - Orden van grootte op schaal zetten

Zet alle dingen waarvan in de tekst hieronder de grootte wordt genoemd op een logaritmische lengteschaal.

In een goede servieswinkel controleert de verkoper of er barsten van bijvoorbeeld een centimeter lengte binnen in het materiaal zitten, door tegen een schaal te tikken. Met barst klinkt het anders dan zonder.

Zandkorrels zijn ongeveer een millimeter groot. Goed 'speelzand', waarmee je goed zandkastelen kunt bouwen, heeft korrels van verschillende grootte. De holtes tussen de grote korrels worden dan opgevuld met kleine. Ook helpt het als de korrels een beetje hoekig zijn.

Veel auto's hebben een 'metallic' lak. Hierin zitten metalen spiegeltjes met diameter 10 μm . Die hebben allemaal een net iets andere stand. Daardoor zie je niet alleen weerspiegeling alsof de auto een vlakke spiegel is, je ziet licht ook uit iets andere richtingen. De rondingen van de auto worden benadrukt. Oude auto's en bestelbusjes hebben soms niet dit soort lak, je ziet het verschil.

De nerf in hout is millimeters breed. Cellen van een plant zijn micrometers groot, de celwanden een orde van grootte kleiner.

De afstanden tussen moleculen en de grootte van moleculen zelf meet je in nanometers.

Opgaven

Je kunt opgaven 65 en 66 doen.

In de vorige hoofdstukken zijn heel veel verschijnselen beschreven en onderzocht. Hier volgen de verklaringen in termen van een model voor de opbouw van materialen. Het model heeft drie elementen:

- de moleculen waaruit een materiaal is opgebouwd,
- de plaats van de atomen en moleculen, en
- de elektronen.

De deeltjes waaruit een materiaal is opgebouwd

Elke stof is opgebouwd uit kleine deeltjes, atomen of moleculen. Er zijn ruim honderd verschillende soorten atomen. Atomen kunnen samengebonden zijn in moleculen. Er bestaan miljarden verschillende moleculen.

Een paar bijzonderheden: Elk atoom heeft zijn eigen, vaste, massa. De massa van een loodatoom is veel groter dan die van een ijzeratoom en die is weer veel groter dan de massa van een magnesiumatoom.

Bijzonder zijn de moleculen van vezelachtige materialen. Dit zijn materialen die uit langgerekte vezels bestaan en die elkaar vasthouden. Die vezels zijn opgebouwd uit vele heel lange moleculen die elk weer bestaan uit talrijke chemisch aan elkaar verbonden eenheden. Die moleculen zijn niet de vezels zelf: die kun je zien, die zijn vele micrometers lang. De moleculen zijn vele nanometers lang, dat is heel groot voor moleculen, maar je kunt ze niet zien met het blote oog. Ze heten **polymeermoleculen**.

De plaats van de atomen en moleculen

De meeste stoffen kunnen in drie fasen voorkomen: gasvormig, vloeibaar en vast. Bij een faseovergang veranderen de deeltjes van een stof niet. Wat wel verandert is hoe ze ten opzichte van elkaar bewegen.

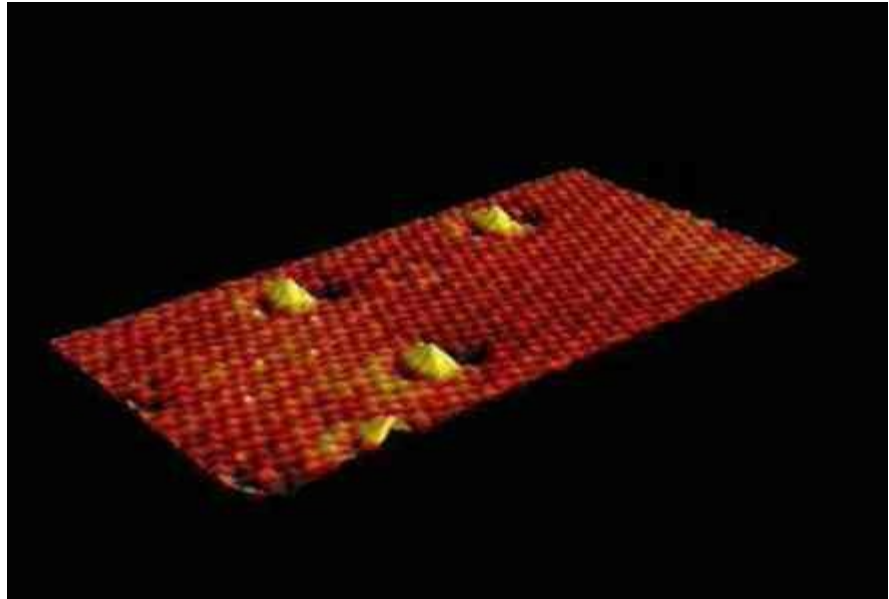
In een gas bewegen de moleculen op grote afstand van elkaar. In een vloeistof zitten ze dicht bij elkaar en bewegen ze kriskras door elkaar. In een vaste stof hebben de deeltjes een vaste plaats, ze bewegen niet door elkaar. Ze trillen wel rond hun eigen positie.

Hoe hoger de temperatuur, des te heftiger bewegen de deeltjes. In een gas of vloeistof bewegen ze dan met grotere snelheid, in een vaste stof trillen ze heftiger.

De vaste posities in een vaste stof kunnen netjes op rijtjes liggen, met vaste afstanden. Zo'n regelmatige structuur noem je een **kristalrooster**. Het materiaal noem je dan '**kristallijn**'. Zout en suiker zijn voorbeelden, maar ook alle metalen. Pas op: het woord 'kristal' heeft meerdere betekenissen. Kristalglas is, ondanks de naam, niet kristallijn.

De vaste posities kunnen ook meer wanordelijk zijn, dat is bijvoorbeeld bij glas het geval. In zo'n geval heet de stof **amorf**.

In een legering verstoren vreemde deeltjes de regelmaat van het kristalrooster dat het metaal eigenlijk heeft. Ook in een kristalrooster waarin geen vreemde atomen zitten, komen toch bijna altijd kleine onregelmatigheden voor. Deze heten **dislocaties**.



Figuur 5.2 Scanning Tunneling Microscope (STM) opname van een oppervlak van koperkristal. Het regelmatige patroon van kleine bobbeltjes komt overeen met het atomaire rooster van koperatomen. De grote bobbels zijn indiumatomen.

De elektronen



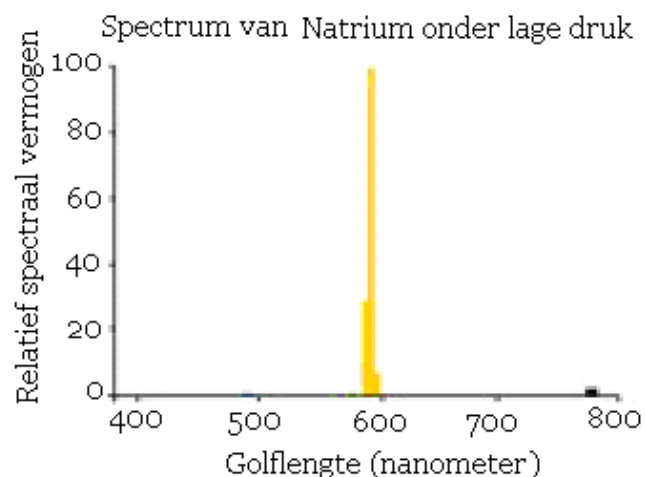
Figuur 5.3

Het verschil tussen **geleiders** en isolatoren is dat in geleiders er elektronen zijn die van atoom naar atoom kunnen springen en die zich dus door het hele materiaal kunnen bewegen. Deze heten **geleidingselektronen**. In een **isolator** blijven alle elektronen bij hun eigen molecuul, ze kunnen niet door het materiaal bewegen.

Een **halfgeleider** is eigenlijk een isolator, de elektronen zitten vast, maar warmte of licht kan de elektronen losmaken.

De elektronen bepalen of een bepaalde kleur licht wordt geabsorbeerd, of uitgezonden. Als een atoom of molecuul een kleur licht absorbeert, dan is er een elektron dat de energie van die kleur licht kan opnemen. Welke kleuren, dat hangt af van de manier waarop het elektron in het materiaal zit.

In metalen kunnen de elektronen elke kleur licht opnemen.



Figuur 5.4

5.3

Verklaringen van warmteverschijnselen met modellen

We bekijken of we met deze modellen de verschijnselen die te maken hebben met warmte, uit hoofdstuk 2, kunnen verklaren.

- *Verschijsel:*

Materialen waarin veel stilstaande, opgesloten lucht zit, geleiden de warmte slecht.

Verklaring:

In een gas zitten de moleculen ver uit elkaar. Ze komen elkaar te weinig tegen om de energie snel via botsingen door te kunnen geven.

- *Verschijsel:*

Metalen geleiden de warmte goed.

Verklaring:

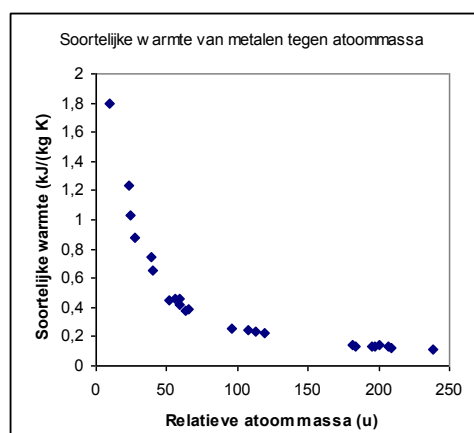
In metalen zitten geleidingslektronen. Deze kunnen zich vrij bewegen van de ene kant naar de andere kant van het materiaal. Ze nemen hun energie daarbij mee, zo verplaatst de warmte zich. Ze nemen ook hun lading mee. Daarom gaan goede elektrische geleiding en goede warmtegeleiding samen.

- *Verschijsel:*

In een legering zijn de warmtegeleiding en de elektrische geleiding allebei slechter dan in het zuivere metaal.

Verklaring:

De elektronen hebben last van de onregelmatigheden in het rooster. Ze verplaatsen zich dan minder gemakkelijk.



Figuur 5.5

- *Verschijsel:*

Metalen met een grotere dichtheid hebben een kleinere soortelijke warmte dan metalen met een kleinere dichtheid. Het kost dus relatief weinig energie om een kilogram van een stof met een grote dichtheid een graad op te warmen.

Verklaring:

Iets een hogere temperatuur geven, betekent dat elk deeltje meer energie krijgt. Het gaat om het aantal deeltjes dat meer energie moet krijgen. Bij metalen als uranium, waarbij de deeltjes per stuk heel zwaar zijn, zijn er per kilogram relatief weinig deeltjes. Er hoeven dus weinig deeltjes de bij de hogere temperatuur passende energie te krijgen.

Als je de soortelijke warmte niet uitzet tegen de dichtheid, zoals in opgave 18 in §2.2, maar tegen de massa van de atomen van de stof, dan krijg je het verband in figuur 5.5. Dan is het nog veel duidelijker dat bij zware atomen een kleine soortelijke warmte hoort.

- *Verschijsel:*

De soortelijke warmte van een legering verschilt niet veel van de soortelijke warmte van het zuivere metaal.

Verklaring:

De soortelijke warmte hangt af van het aantal deeltjes per kilogram, dat aantal verandert niet dramatisch als je een paar procent van een andere

stof toevoegt. (De regelmaat van het rooster, die van invloed is op de warmtegeleidingcoëfficiënt, verandert wel dramatisch).

5.4 Verklaringen van lichtverschijnselen met modellen

We gaan verder met verschijnselen uit het hoofdstuk over licht:

- *Verschijsel:*

Een kleine toevoeging van een stof kan de kleur van glas veranderen.

Verklaring:

De atomen van de toegevoegde stof kunnen bepaalde kleuren licht absorberen.

- *Verschijsel:*

In materialen die geen licht absorberen, is licht gevoelig voor onregelmatigheden op de schaal van micrometers en groter. Voorbeelden zijn mist, matglas en grensvlakken.

Maar licht is niet gevoelig voor onregelmatigheden op kleinere schaal (glas moleculen zitten onregelmatig door elkaar, toch gaat licht ongestoord door glas dat geen onregelmatigheden op grote schaal heeft).

Verklaring:

De golflengte van licht is ongeveer 500 nanometer, dat is een lengte van vele moleculen achter elkaar. Je merkt pas wat als de oneffenheden even groot zijn als de golflengte van het licht. Dat een zwaarder glas een grotere brekingsindex heeft, heeft te maken met het gemiddeld aantal elektronen op de schaal van honderden nanometers, niet met hoe de deeltjes precies geordend zijn.

- *Verschijsel:*

Metalen weerspiegelen het licht

Verklaring:

Het licht valt op het materiaal. Daarin zitten de geleidingselektronen. Die worden door het licht in beweging gezet en stralen de energie terug.

5.5 Verklaringen van krachtverschijnselen met modellen

Tenslotte volgen hier verschijnselen op het gebied van krachten die op materialen werken.

- *Verschijsel:*

Plastics en zuiver rubber rekken gemakkelijk uit.

Verklaring:

De lange polymeermoleculen zitten normaal een beetje opgevouwen. Als je er aan trekt worden ze rechter. De bindingen tussen de atomen hoeven niet uit te rekken.

- *Verschijsel:*
Glas breekt op de plaats waar een kerf is gemaakt, baksteen en beton kunnen wel tegen duwkrachten, niet tegen trekkrachten.

Verklaring:

Als je trekt, trek je kleine barstjes die er al zijn verder uit elkaar. Als je duwt, duwt je de barstjes juist dicht.

- *Verschijsel:*
Een zuiver metaal barst of breekt niet.

Verklaring:

In elk kristalrooster zitten kleine foutjes, deze heten dislocaties. Deze kunnen zich gemakkelijk verplaatsen, dat kost weinig energie. Zo kan het materiaal zich gemakkelijk aanpassen, zonder dat bindingen tussen atomen hoeven te worden verbroken.

- *Verschijsel:*
Na meerdere keren buigen wordt het metaal harder en het breekt. Dit heet metaalmoeheid.

Verklaring:

Er komen teveel dislocaties, die elkaar in de weg gaan zitten (net als auto's zorgen dat mensen zich kunnen bewegen, maar teveel auto's in een file bewegen juist niet). De dislocaties kunnen niet meer bewegen en dus ook niet meer het scherpe, diepste punt van een barst afvlakken.

- *Verschijsel:*
Een legering is minder buigzaam en breekbaarder dan een zuiver metaal.

Verklaring:

De dislocaties blijven steken bij de vreemde deeltjes, ze kunnen niet meer zo vrij bewegen.

Opgaven

Je kunt opgaven 67 t/m 78 doen.

Begrippen

Macro
Micro
Scanning Tunneling Microscope
Nano
Polymeermolecuul
Fasen
Gasvormig
Vloeibaar
Vast
Kristallijn
Kristalrooster
Amorf
Dislocaties
Geleider
Geleidingselektronen
Isolator
Halfgeleider

Samenvatting

- Er zijn atomen met sterk verschillende massa's.
- Uit de ongeveer honderd verschillende atoomsoorten kunnen miljoenen verschillende moleculen worden gemaakt.
- Vezelachtige materialen zijn opgebouwd uit **polymeren**, dat zijn stoffen met heel langgerekte moleculen.
- In een **gas** zitten de deeltjes van een stof ver uit elkaar.
- In een **vloeistof** en in een vaste stof zitten ze dicht op elkaar.
- In een **vaste stof** hebben de moleculen vaste posities.
- De vaste posities kunnen netjes geordend zijn in een **kristalrooster** of wanordelijk verdeeld, zoals in glas.
- In metalen zitten **elektronen** die door het materiaal kunnen bewegen. Die zorgen ervoor dat metalen goed de elektrische stroom geleiden, goed de warmte geleiden en licht weerspiegelen.
- De kleur van een materiaal wordt bepaald door welke kleuren worden geabsorbeerd door de aanwezige atomen.
- In een materiaal dat licht niet absorbeert is het licht alleen gevoelig voor oneffenheden op de schaal van de golflengte van licht of groter.
- In een barstje in glas wordt veel spanning geconcentreerd op enkele bindingen tussen deeltjes. Daardoor breidt de barst zich uit.
- Als **dislocaties** goed kunnen bewegen, kunnen ze dit barsten tegengaan door het verschuiven van atomen ten opzichte van elkaar gemakkelijker te maken.
- Na herhaaldelijk buigen van een zuiver metaal worden de dislocaties minder beweeglijk. Daardoor treedt metaalmoeheid op.
- In een legering zijn de dislocaties minder beweeglijk dan in een zuiver metaal. Daardoor is een legering minder buigzaam dan het bijbehorende zuivere metaal.

Opgaven

65 Ordes van grootte

Vul de juiste orde van grootte in:

In de filters van theezakjes zitten poriën van de orde van grootte van....**a**....
De holtes tussen zandkorrels zijn iets kleiner dan een ...**b**.... Een scanning tunneling microscoop kan atomen zien, ter grootte van ...**c**.... Een verstuiver met medicijnen tegen astma maakt druppeltjes ter grootte van ...**d**....

66 Drijfzand

Vul de juiste woorden in:

Er zijn twee soorten ‘drijfzand’ waarin je volgens de verhalen in vast blijft zitten en waarin je wegzinkt. In de woestijn kan zand zo opwaaien dat er grote lege ruimtes tussen de korrels zitten. De ...**a**... van het zand is dan heel ...**b**... en een voorwerp dat er op rust, zinkt inderdaad weg. Een ander soort is een nat mengsel van zand en klei. De kleideeltjes zijn maar enkele ...**c**... groot. Deze gaan in de holtes tussen de zanddeeltjes zitten. Dit mengsel heeft een heel grote ...**d**.... Als je daar in vastzit, kom je niet makkelijk los: de druk vermenigvuldigd met het oppervlak van je voeten is zo groot dat de neerwaartse ...**e**... op je voeten te groot is. Je zinkt echter niet, omdat jouw ...**f**... kleiner is dan die van het drijfzand.

67 Vacuüm

Leg uit dat een vacuüm een nog betere isolator van warmte is dan lucht.

68 Halfgeleider

Je bestraalt een halfgeleider met licht. Leg uit of dit meer gevolgen heeft voor de soortelijke warmte of voor de warmtegeleidingcoëfficiënt.

69 Smeltend metaal

Een metaal smelt. Leg uit of dit meer gevolgen heeft voor de soortelijke warmte of voor de warmtegeleidingcoëfficiënt.

70 Röntgenstraling

Röntgenstraling is, net als licht, elektromagnetische straling. Je kunt met Röntgenstraling een foto maken van een kristal. Kennelijk worden de Röntgenstralen beïnvloed door de precieze posities van de deeltjes (Bij zichtbaar licht is dat niet zo). Leg uit wat je hierdoor leert over de golflengte van Röntgenstralen.

71 Op schaal

Zet de begrippen ‘kleideeltje’, ‘golflengte Röntgenstraling’, ‘golflengte licht’ en ‘druppeltjes verstuiver’ erbij op de logaritmische lengteschaal.

72 Silicium en glas

In silicium en in glas zitten voor een groot deel dezelfde deeltjes, alleen in de 'halfgeleider' silicium kunnen de elektronen vrij goed bewegen, in glas niet. De soortelijke warmte van de twee stoffen verschilt niet veel, de warmtegeleidingscoëfficiënt van silicium is honderd keer zo groot als die van glas. Verklaar dit.

73 Lipgloss

Hoe groot denk je dat de glinsterende deeltjes in lipgloss zijn?



Figuur 5.6

74 Grafietspiegel

Maak een vierkante centimeter van je schrift zwart met heel dik potlood. Glimt het? Zie ook het kunstwerk 'grafietspiegel' hiernaast. Het origineel kun je vinden op Berkierika.com. Leg uit of je denkt dat de elektronen in grafiet zich helemaal niet, enigszins, of heel goed kunnen bewegen (net zo goed als in metalen).

75 Barstend van spanning

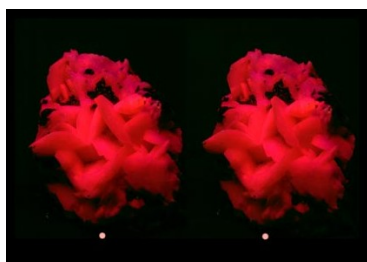
Maak een vergelijking tussen de uitleg voor het zich uitbreiden van een barst in glas en de formule $F = \sigma \cdot A$.

76 Korrel zout

Veel materiaal vind je in de natuur in kristalvorm: de oppervlakken zijn vlakke stukjes die bepaalde hoeken met elkaar maken. Welk stukje van de gegeven modellen verklaart de mooie kristalvorm van bijvoorbeeld zoutkorreltjes?

77 Goud

Er bestaat wit goud, geel goud en rood goud. Leg uit of je de verschillen moet verklaren op de schaal van oneffenheden op de schaal van micrometers, of door iets wat aan de hand is op de schaal van nanometers.



Figuur 5.7

78 Fluorescentie

Bij fluorescentie absorbeert een stof een bepaalde kleur licht en straalt de stof een andere kleur licht uit. Hier een tekstje bij de foto: "Dit specimen is in zijn geheel zo'n 30 cm hoog. De relatief sterke rode fluorescentie onder de korte golf UV lamp is mogelijk te wijten aan de aanwezigheid van mangaan en lood." Leg uit met welke van de 13 'verklaringen' uit dit hoofdstuk dit overeenkomt.

6 Orde in de chaos

Alles op een rijtje, alles in een web

Hoofdstukvraag	Weet je nu meer van materialen dan aan het begin van deze lessenserie?
----------------	--

6.1

Inleiding



Figuur 6.1

Je hebt kennis gemaakt met veel eigenschappen van materialen. Deze lessenserie is per eigenschap geordend: we hebben eerst naar warmte gekeken, toen naar licht, daarna naar krachten, tenslotte naar de opbouw van materialen. Daarbij kwamen steeds de verschillende materialen langs, en vele toepassingen.

Nu ga je vanuit andere gezichtshoeken kijken: Je gaat uit van de toepassingen en je kijkt welke materialen daarbij passen, en waarom.

Daarna ga je uit van de materialen en kijk je welke eigenschappen die hebben, en waar ze voor worden toegepast. Er is dus geen nieuwe leerstof, er zijn alleen andere manieren van ordenen, al met al krijg je hopelijk steeds meer overzicht.

6.2

Ordenen per toepassing

- **Bouw**

In de bouw wordt steen gebruikt omdat het duwkrachten kan weerstaan. Staal is ook geschikt. Zuivere metalen worden gebruikt op plekken waar het materiaal soepel moet kunnen buigen, zoals bij buizen en bij het waterdicht maken van dakgoten. Er wordt glas gebruikt voor de ruiten, soms spiegellend. Hierbij is niet alleen de reactie op licht van belang, maar ook de warmte-isolatie. In nieuwe huizen is enkel glas niet meer toegestaan. Dubbel glas isoleert beter vanwege het laagje lucht tussen de ruiten. Kunststofvezels worden vooral gebruikt als isolatiemateriaal om leidingen te bekleden en om spouwmuren te vullen.

- **Kleding**

In kleding en als bekleding van meubels worden leer, stoffen gemaakt van natuurlijke vezels, en kunststofvezels gebruikt. De warmte-isolerende eigenschappen en de rekbaarheid zijn van belang.

- **Sieraden**

Als sieraad worden edelstenen en metalen gebruikt. Edelstenen hebben een grote brekingsindex. Metalen weerspiegelen licht.

- **Auto's**

Voor de carrosserie van auto's worden vanouds legeringen gebruikt, steeds vaker neemt men kunststoffen zoals polymeren en composietmaterialen.



Figuur 6.2

- **Medisch**

Medici gebruiken composietmaterialen voor protheses. Ook vullingen zijn van composietmateriaal.

6.3

Ordenen per materiaal

Er zijn vele materialen. Je kunt ze indelen in klassen: materialen die bij elkaar horen omdat ze op dezelfde manier zijn opgebouwd, dezelfde eigenschappen hebben en dus ook voor dezelfde toepassingen worden gebruikt.

- **Isolatiematerialen**

Isolatiematerialen bestaan uit vezels met veel lucht ertussen. De dichtheid is laag, ze geleiden elektrische stroom en warmte slecht. Ook zorgen ze voor geluidsisolatie. Vaak zijn dit polymeren.

- **Keramische materialen**

Steen en glas breken gemakkelijk. Alle glassoorten en sommige gesteentes zijn doorzichtig. Deze materialen geleiden de warmte beter dan isolatiematerialen en slechter dan metalen. Samen heten deze stoffen '**keramische materialen**'.

- **Metalen**

Metalen geleiden elektrische stroom, ze geleiden warmte en ze zijn buigzaam. Dit geldt allemaal in mindere mate voor legeringen.

79 Opdracht: De moeder van alle mindmaps

Kijk opnieuw naar de eerste opdracht in het eerste hoofdstuk. Maak de mindmap opnieuw. Kun je meer materialen en meer toepassingen noemen? Kun je nu meer verbanden leggen? Kun je ook verklaringen toevoegen?

Begrippen

Keramische materialen

Opgaven

80 Stoel

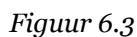
Van het rijtje steen, metaal, hout, glas, kunststof is er één materiaal het minst geschikt voor de zitting van een stoel of als 'matras' om op te slapen. Welk materiaal en waarom?

81 Huis

Van het rijtje steen, metaal, hout, glas, kunststof is er één materiaal het minst geschikt om het karkas van een huis van te maken. Welk materiaal en waarom?

82 Wintertenen

In de winter moet je een beetje ruime schoenen dragen. Waarom?



Je kent het spanning-rekdiagram van rubber. Dit wordt veroorzaakt doordat rubber uit langgerekte moleculen (polymeren) bestaat, die dwarsverbindingen van zwavel hebben. Leg uit dat uit het plaatje hiernaast volgt dat je rubber eerst gemakkelijk uitrekt, en daarna moeilijker.

Een voetbal kan van leer, rubber, of plastic zijn gemaakt. Noem de overeenkomsten en de verschillen.

Huid rekt tot 50% lengteverandering gemakkelijk uit. Daarna gaat het snel moeilijker. Voor leer geldt dat uiteraard ook. De oorzaak is dat de huidcellen uit een netwerk van polymeren bestaan, met dwarsverbindingen.

- Schets het spanning-rekdiagram van huid.
- Leg uit hoe het komt dat zo'n netwerk het genoemde gedrag vertoont.
- Leg uit waarom leer en rubber vaak concurrenten zijn, die allebei voor een bepaalde toepassing kunnen worden gebruikt.



Van welk materiaal is een vangrail gemaakt, en waarom?

Welke eisen worden aan een valhelm gesteld? Met welke materiaaleigenschappen hebben die eisen te maken?

Welk materiaal werd vroeger voor een polsstok gebruikt, welk materiaal nu?



Zoek op wat asbest is, waarom men vroeger vond dat het gunstige eigenschappen had voor in de bouw, en wat het gezondheidprobleem is dat asbest kan veroorzaken.

Beelden van verschillende materialen worden op verschillende manieren gemaakt: brons wordt gegoten, steen wordt gehouwen, hout wordt gesneden. Leg deze verschillen uit aan de hand van de eigenschappen van de materialen.



Dranken kunnen worden verpakt in glazen flessen, in PET-flessen, in blikjes en in kartonnen pakken. Zet de voor- en de nadelen van deze verpakkingen op een rijtje. Noem daarbij zoveel mogelijk materiaaleigenschappen.

Zoek voorbeelden van kunstwerken in glas, in steen, in hout en in metaal.

7 Nieuwe materialen

Op zoek naar nieuwe mogelijkheden

Hoofdstukvragen	Welke nieuwe ontwikkelingen op materiaalgebied zijn er?
-----------------	---

7.1 Een (literatuur)onderzoek doen

Het tempo waarin nieuwe materialen ontwikkeld worden, groeit nog steeds. We krijgen steeds meer kennis, praktisch en theoretisch. Daardoor kunnen we nieuwe technieken ontwikkelen. Apparaten zoals de laser, de STM en de MRI-scanner zijn uitgevonden dankzij die kennis. Maar dankzij al die nieuwe apparaten en technieken groeit onze kennis weer verder. Er worden voortdurend nieuwe, onverwachte ontdekkingen gedaan. Die leiden weer tot nieuwe toepassingen.

In dit laatste hoofdstuk kijken we naar nieuwe ontwikkelingen op het gebied van materialen, in het bijzonder:

- biomaterialen,
- zachte materialen en
- smart materials

Ook kijken we vanuit toepassingen naar mogelijkheden van materialen, in het bijzonder vanuit:

- chips en
- coatings

We willen dat je een beeld krijgt van die echt nieuwe ontwikkelingen. Daarom bestaat dit hoofdstuk niet uit gewone theorie-met-opgaven, maar uit een aantal onderzoeksopdrachten. Je gaat zelf op zoek naar nieuwe kennis. In een groepje ga je een (literatuur) onderzoek doen naar een modern onderwerp. Mogelijke onderwerpen worden hieronder kort beschreven.

Jullie moeten van elkaar gaan leren. Het resultaat van je werk moet dus voor de hele klas beschikbaar komen. Dat doe je door te presenteren, een website te bouwen, een film te maken of Dat wordt je eindproduct. Overleg hierover met je docent.

Je kunt, in overleg met je docent, één van de onderwerpen hieronder kiezen. Je docent geeft je de instructies over de tijd die je er aan mag besteden, en aan welke eisen het eindproduct precies moet voldoen.

Elk goed onderzoek roept nieuwe vragen op. Tijdens je zoektocht naar nieuwe dingen zul je vermoedelijk ook dingen tegenkomen die je niet helemaal begrijpt. Moefel die vooral niet weg, maar noteer je vragen. Neem die vragen

op in je eindproduct. Een goede vraag is (veel) beter dan een slecht antwoord. Hetzelfde geldt ook voor termen die je tegenkomt, waarvan je niet precies weet wat ze betekenen.

Bij elke opdrachten staan een paar bronnen, waar je je onderzoek zou kunnen beginnen. Een eis aan je eindproduct is wel, dat je:

- al je bronnen duidelijk vermeldt en
- zelf ook bronnen zoekt; je moet meer bronnen gebruiken dan wij hieronder hebben opgegeven.

7.2

Biomaterialen

Bij biomaterialen kun je denken aan drie soorten materialen:

- materialen van biologische afkomst, zoals hout, rubber, ivoor enz.
- materialen die geïnspireerd zijn door biologische materialen.
- materialen die je goed kunt toepassen bij levende organismen. Je kunt daarbij vooral denken aan medische implantaten en prothesen, maar ook aan medisch gereedschap.

Het gaat hier vooral om de laatste soort.

Opdracht 7.2.1 – Protheses

Artsen gebruiken tal van materialen om protheses (kunstledematen) te maken. De eisen die gesteld worden hangen af van de toepassing. Een kunstbeen stelt andere eisen dan materiaal dat wordt gebruikt om je beter te laten zien, of materiaal dat wordt gebruikt om iemands rug rechter te maken.

Opdracht:

Kies één of meer protheses, en bedenk welke eisen er aan zo'n prothese moeten worden gesteld op het gebied van sterkte, elasticiteit, warmte, licht, enzovoorts. Probeer zelf een ontwerp te maken. Zoek uit hoe jullie soort prothese in werkelijkheid gemaakt wordt.

Subvragen:

Welke materialen kies je voor welke delen van de prothese?

Om welke eigenschappen gaat het daarbij?

Enkele startbronnen:



[Wikipedia](https://nl.wikipedia.org)



[Natuurkunde.nl](https://natuurkunde.nl)

Zie ook: geheugenmetaal.

Opdracht 7.2.2 - Een nieuwe generatie biomaterialen

Tot nu toe ging het bij biomaterialen om 'passieve' materialen. Kunstheupen, stents (buisjes om bloedvaten te verwijderen) en siliconenprothesen moesten niet worden afgestoten, en daarom vooral zo min mogelijk reageren met hun omgeving. Er is nu een nieuwe generatie op komst, die juist wel de interactie met omringende weefsels aangaat.

Zoek uit wat dit voor materialen zijn, waarvoor ze dienen, hoe ze reageren op hun omgeving en andersom, hoe hun omgeving reageert op de materialen.

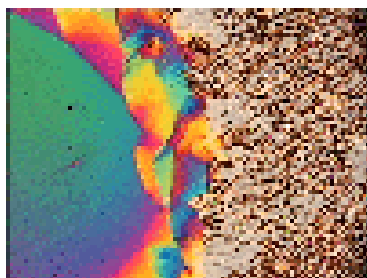
Een mogelijke startbron:



[TU Delft; Delft Integraal](https://www.tu-delft.nl)

7.3

Zachte materialen: vloeibare kristallen



Figuur 7.1 Vloeibaar kristal

Vloeibare kristallen lijken iets onmogelijks. Kristalvorm is een eigenschap van een vaste stof. Vloeistoffen zijn amorf. Om wat voor deeltjes gaat het hier dan?

Een vloeibaar kristal (LC: liquid crystal) is een voorbeeld van een zacht materiaal. Op het gebied van zachte materialen wordt de laatste tijd veel onderzoek gedaan. Een vloeibaar kristal heeft eigenschappen van vaste, kristallijne stof én van vloeistof. De eigenschappen zijn verschillend in verschillende richtingen.

De toepassingen ervan zijn spectaculair: LCD-schermen voor telefoons, rekenmachines en nu ook TV- en computerbeeldschermen.

Opdracht 7.3.1 - Vloeibare kristallen

Zoek uit wat vloeibare kristallen precies zijn. Welke eigenschappen hebben ze precies en wat is, op nano- of microschaal, de oorzaak van die eigenschappen? Wat voor toepassingen bestaan er, en waar kun je nieuwe toepassingen verwachten in de toekomst? Zoek minstens één toepassing waarvan je de werking uitlegt.

Enkele startbronnen:

Wikipedia



De Klokhuys-site: [Het Klokhuys](#) (kijk bij LCD)

7.4

Smart materials

De naam 'Smart materials' (letterlijk *slimme materialen*) wordt gebruikt als verzamelnaam voor een groep materialen die sterk van vorm kunnen veranderen door invloeden van buiten. Denk daarbij aan belasting, temperatuur, vochtigheid, zuurgraad (pH), en elektrische of magnetische velden. Van die eigenschap kun je proberen gebruik te maken. Piëzokristallen en geheugenmetaal zijn twee voorbeelden van zulke materialen.

Opdracht 7.4.1 – Piëzo-kristallen

Je hebt vast wel eens gehoord van piëzo-elektriciteit: er bestaan piëzo-elektrische luidsprekers, aanstekers en zogenaamde transducers. Piëzo-elektriciteit is de eigenschap dat bij het vervormen van kristallen een elektrisch veld aan het oppervlak wordt opgewekt. Piëzo-elektriciteit werkt ook omgekeerd: als je een elektrische spanning op een piëzo-elektrisch kristal brengt, dan gaat het vervormen. In een horloge zorgt een elektrisch signaal ervoor dat een piëzo-kristal gaat trillen en dat hoor je als piepen van het alarm.

Ook de STM (zie pag. 46) werkt met behulp van piëzo-elektriciteit.

Zoek uit hoe piëzo-elektriciteit verklaard kan worden. Zoek ook een aantal toepassingen van piëzo-elektriciteit en leg uit hoe ze werken. Wat heeft de Scanning Tunneling Microscope met piëzo-elektriciteit te maken? Misschien kun je zelf een nieuwe toepassing bedenken.

Enkele startbronnen:



[Wikipedia](#)



[RM Cybernetics.com; Piezoelectricity](#)

Opdracht 7.4.2 – Geheugenmetaal

Stel je voor: je auto heeft een flinke deuk gekregen door een botsing tegen een boom, maar de deuk verdwijnt vanzelf, doordat het metaal zich zijn oorspronkelijke vorm herinnert....

Geheugenmetalen (Engels: Shape Memory Alloy) zijn legeringen met ‘geheugeneigenschappen’. Dat betekent dat het materiaal, nadat het is vervormd, vanzelf terug kan keren naar zijn oorspronkelijke vorm door te verwarmen.

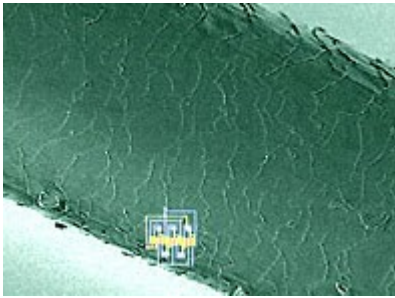
Probeer meer te weten te komen over de werking van geheugenmetalen. Ga na welke toepassingen er al bestaan. Leg onder meer uit dat door het bestaan van dit materiaal jongeren niet meer, net als vroeger, steeds zelf met schroefjes hun beugel strakker hoeven te draaien. Misschien kun je zelf ook een toepassing bedenken.



Enkele startbronnen: [Wikipedia](#), [Werkendlichaam.nl](#)

7.5

Chips



Computerchips worden kleiner en kleiner. Een zakrekenmachientje van nu kan al meer dan een computer ter grootte van een zaal uit de begintijd van de computer. Maar het moet nog kleiner. De microchip bestond al, nu zijn we op weg naar nanochips. Die zullen waarschijnlijk niet meer werken met behulp van elektrische spanningen. Licht is één van de kandidaten.

De officiële naam voor een chip is: ‘Geïntegreerde schakeling’ (van het Engelse *Integrated Circuit, IC*). Het valt onder nano-elektronica.

Hiernaast zie je een nanochip op één koolstof nanobuis, met daarachter een menselijke haar.

Opdracht 7.5.1 – Nanochips

Wat bestaat er al op het gebied van nanochips? Wat zegt ‘de wet van Moore’? Wat voor mogelijke toepassingen ziet men voor in de toekomst? Hoe zou een geschikte nanochip in elkaar kunnen zitten?

Enkele (willekeurige) startbronnen:



[How stuff works; DNA Computers](#)



[Science linx; Quantum](#)



[Tweakers.net; Babbage machine](#)

Maar: ontwikkelingen gaan snel, bronnen kunnen verouderen, en er komen in hoog tempo bronnen bij!

7.6

Coatings

Bij een coating (oppervlaktebehandeling) wordt een laagje van een stof op een andere stof aangebracht. Coatings bestaan al heel lang. Een zeer bekende coating is het chroomlaagje op het stuur van je fiets. De coating-techniek die hiervoor gebruikt wordt heet ‘galvaniseren’.

Het doel van een coating kan van alles zijn. Een paar voorbeelden zijn coatings tegen roesten van metalen en coatings tegen hinderlijke reflecties bij lenzen of zonnebrillen.

Het behulp van nanotechnologie kunnen nu ultradunne coatings met uitzonderlijke, soms zeer onverwachte eigenschappen worden gemaakt.

Opdracht 7.6.1 Coatings

Wat voor coating-technieken bestaan er zoal? Met welke doelen worden coatings gebruikt? Om welke eigenschappen gaat het? Hoe dun kunnen coatings tegenwoordig gemaakt worden? Wat voor nieuwe eigenschappen hebben de nieuwe, ultradunne coatinglaagjes die we met behulp van nanotechnologie kunnen maken?



Enkele startbronnen: [Wikipedia](#), [Nanocoating](#)

7.7

Nieuwe materialen om je heen

De ontwikkeling van de nanotechnologie heeft in korte tijd een heel scala aan nieuwe materialen mogelijk gemaakt. Er kan tegenwoordig een heel andere 'mindmap' van materialen getekend worden dan zelfs aan het eind van de twintigste eeuw nog het geval was.

Opdracht 7.7.1 Nieuwe materialen om je heen

De nanotechnologie stelt mensen in staat, met behulp van atomen gewenste nieuwe materialen op maat te bouwen, met allerlei vooraf gespecificeerde eigenschappen. Hoe is dat zo snel mogelijk geworden? Welke eigenschappen zijn zoal maakbaar geworden? Tot wat voor materialen heeft dat geleid?



Bestudeer als startbron het artikel over Nanotechnologie dat je kunt vinden via de pagina [Natuurkunde.nl: NiNa](#) onder het kopje *Bij 'Materialen'*.

Maak nogmaals de 'mindmap' uit hoofdstuk 1, en vul daarin de materialen en hun eigenschappen in die je in dat overzicht hebt leren kennen.

Begrippen

Nanotechnologie
Biomaterialen
Zachte materialen
Smart materials
Chips
Coatings
Protheses, kunstledematen

Samenvatting

- Er zijn veel nieuwe ontwikkelingen op het gebied van materialen, vooral door de **nanotechnologie**.
- Nieuwe **biomaterialen** worden toegepast, onder meer voor **protheses**.
- **Zachte materialen**, zoals vloeibare kristallen, en **smart materials**, zoals piëzomaterialen en geheugenmetalen, zorgen voor nieuwe mogelijkheden.
- Er zijn revolutionaire toepassingen, onder meer bij computer**chips** en op het gebied van **kunstledematen**.
- Dankzij nanotechnologie zijn er nieuwe mogelijkheden op het gebied van **coatings**.