Werkmap

Onderwerp: Licht

Auteursrechten
Voor een gedetailleerde bronvermelding voor de gebruikte afbeeldingen wordt verwezen naar het colofon.

Inhoud

Werkwijze 2
Werkmap 2
Leerlingen 2
Onderzoeksvragen 4
Vaardighedenlijst 5
Hoofdstuk 1 Licht 6
1.1 Lichtbronnen 6
1.2 Eigenschappen van licht 7
1.2.1 Snelheid 7
1.2.2 Richting 8
Schaduw 8
Vergroting 9
Opgave R01: kernschaduw en halfschaduw 10
Opgave R02: schaduw 10
Opgave R03: vergroting 11
Opgave R04: lamp boven tafel (inzicht) 11
Opgave R05: hoe lang is de schaduw 13
1.2.3 Kleur 14
Opgave R06: kleur waarnemen 15
1.3 Spiegelbeelden 15
1.3.1 Gezichtsveld 18
1.3.2 Opgaven 19
Opgave R07: teken het spiegelbeeld 19
Opgave R08: waar zie je het spiegelbeeld? 20
Opgave R09: man voor spiegel 20
Opgave R10: verlichte muur 20
Vooruitblik 21
Begrippenkennis 22
Planner 23
Vragenlijst 24
Aantekeningen 25
Werkbladen 26
Begrippen 26
Formules 28
Practica 29
Practicum: Donkere dagen in Rjukan 29
Probleemstelling 29
Onderzoek 30
Conclusies 33
Mogelijke oplossingen 34
Colofon 35

Werkwijze

Werkmap
Je krijgt per onderwerp een werkmap zoals deze. Tevens krijg je wekelijks een huiswerkopdracht om te kijken of je de lesstof van de voorgaande les hebt begrepen.
In deze werkmap mag je schrijven. Verder moet je de werkmap elke les bij je hebben.
Ondersteunend materiaal, zoals YouTube-filmpjes en applets, is te vinden op de site van natuurkunde: https://www.rwi-natuurkunde.nl [1)].
In deze werkmap zitten:

- Onderzoeksvragen
  De onderzoeksvragen bestrijken grotendeels stof die in de reader staat. Er zijn een beperkt aantal onderzoeksvragen die stof bestrijken die niet in de reader staat, maar die je op internet kunt vinden. Deze onderzoeksvragen zijn gemarkeerd met (i).
  De onderzoeksvragen zijn eveneens voorzien van sterren. Hoe meer sterren, hoe meer tijd de uitwerking van de betreffende onderzoeksvraag zal kosten.
- Vaardighedenlijst
  De vaardighedenlijst bevat een aantal typen opdrachten die je moet kunnen uitvoeren. De opgaven uit de reader en de weekopdrachten bieden voldoende oefening om deze vaardigheden te oefenen.
- Begrippenlijst
  De begrippenlijst bevat een reeks woorden, begrippen, vaktermen die je moet begrijpen en kunnen uitleggen. De onderzoeksvragen zijn zodanig dat je alle begrippen bent tegengekomen en hebt moeten herkennen of gebruiken.
- Planner
  De planner bevat een lessenschema waarin alle lessen staan vermeld die beschikbaar zijn voor het doornemen van het betreffende onderwerp. Je dient deels zelf een werkplanning te maken.
  De planners zullen aan het begin van een onderwerp, dus als je een nieuwe reader krijgt, samen met de docent worden doorgenomen.
- Vragenlijst
  Dit onderdeel bied je de ruimte om vragen te noteren die je tijdens de bestudering van de stof bent tegengekomen. Dit lijstje met vragen kan als basis dienen om in de les vragen te stellen.
- Aantekeningen
  Hier kun je belangrijke opmerkingen die tijdens een les worden gemaakt noteren, zodat je daar beslist aan denkt als je je proefwerk gaat leren.
- Werkbladen
  Dit onderdeel bevat een aantal werkbladen die als samenvatting voor alle grootheden en formules kunnen worden gebruikt. Het is de bedoeling dat je die zelf bij elkaar zoekt door de reader goed door te nemen.
- Huiswerk
  Achteraan worden A4-bladen naar behoefte toegevoegd. Op deze bladen maak je je weekopdrachten. De weekopdrachten maak je op een A4-blaadje. Per weekopdracht een apart A4'tje. Dat is geen bladzijde die uit een schrift is gescheurd!
  De docent kan in elke les inzage in jouw huiswerk vragen. Als het huiswerk niet is bijgehouden wordt dat in magister als "huiswerk vergeten" geregistreerd.

De werkmappen van de verschillende onderwerpen moeten worden verzameld en bewaard.

1)

Leerlingen

- Alle leerlingen werken in groepjes van twee die samen een onderwerp bestuderen. De groepssamenstelling blijft ongewijzigd voor de duur van één onderwerp. Elke leerling houdt zijn eigen werkmap bij en kan worden gevraagd zijn eigen werkmap ter beoordeling in te leveren. Elke leerling kan worden aangesproken om uitleg te geven *over de gehele werkmap*. Dus, “Dat weet ik niet, want dat heeft mijn partner gemaakt”, is geen excuus.
- Aan het begin van elk onderwerp moet elk groepje een planning maken van wanneer wat af is.
  “Af” betekent dat je dat deel van de werkmap netjes hebt uitgewerkt. In planner staat wanneer bepaalde onderzoeksvragen aan de orde zijn in verband met instructielessen. Je hoeft je antwoord nog niet te kunnen verdedigen, maar je moet de niet beantwoordde onderzoeksvragen tijdens de les navragen.
  Er is een apart onderdeel in de werkmap toegevoegd om je vragen, die je tijdens het bestuderen van de stof bent tegengekomen, te noteren. Deze vragen kun je dan tijdens de les stellen.
- Het maken en inleveren van de opgaven in de weekopdrachten is voor iedereen verplicht. Als de weekopdracht niet tijdig is gemaakt, wordt dit door de docent als “huiswerk niet orde” in magister geregistreerd.
- Heb je minder dan een 5,0 gescoord voor de toets dan kan jouw docent je naast het gebruikelijke huiswerk ook uitdrukkelijk herhaalopdrachten geven die betrekking hebben op de oude stof. Alleen voor vaardigheden (eenheden omrekenen, rekenvaardigheden enz.) is er extra materiaal. Inzicht zal moeten worden verworven op basis van het beschikbare materiaal zoals dat is verwerkt in de readers en de weektaken.
  Iedere leerling kan in de tweede klas bij voldoende inzet een 6,0 of meer voor zijn of haar proefwerk halen. Dit is meestal alleen een kwestie van voldoende inzet, maar vooral ook van de manier van werken. Om in de derde klas het vak te kiezen moet je minstens een 6,0 gemiddeld staan.

Onderzoeksvragen

Elke onderzoeksvraag is voorzien van sterren.
Hoe meer sterren hoe meer tijd de beantwoording van de onderzoeksvraag zal kosten.

De antwoorden op onderzoeksvragen die zijn gemarkeerd met (i) kunnen worden gevonden op internet. Alle andere antwoorden kunnen worden gevonden in de reader of de weekopdrachten.

1. Wat zijn lichtbronnen? (*)
   Schenk daarbij aandacht aan de onderstaande deelvragen:
   - Wat wordt bedoeld met een lichtbron?
   - Wat is het verschil tussen een natuurlijke en een kunstmatige lichtbron?
2. Wat wordt bedoeld met een kleurenspectrum? (*)
   Schenk daarbij aandacht aan de onderstaande deelvragen:
   - Wat is een spectrum?
   - Wat is een spectraalkleur?
   - Wat wordt bedoeld met wit licht?
   - Wat wordt weergegeven door de zwarte stukken in een spectrum?
3. Hoe ontstaat schaduw? (*)
   Schenk daarbij aandacht aan onderstaande deelvragen:
   - Wat is het verschil tussen kernschaduw en halfschaduw?
   - Aan welke voorwaarde moet worden voldaan om alleen kernschaduw, maar geen halfschaduw te krijgen?
   - Wat wordt weergegeven met de grootheid vergroting?
4. Wat is reflectie? (**)
   Schenk daarbij aandacht aan onderstaande deelvragen:
   - Wat is het verschil tussen spiegelende reflectie en diffuse reflectie?
   - Wat is het verschil tussen reflectie en verstrooiing?
   - Wat is het verschil tussen direct licht en diffuus licht?
   - Hoe luidt de spiegelwet?
5. Waar bevindt zich het spiegelbeeld? (*)
   Schenk daarbij aandacht aan de onderstaande deelvragen:
   - Hoe construeer je een spiegelbeeld?
6. Wat wordt bedoeld met het gezichtsveld van een spiegel? (**)
   Schenk daarbij aandacht aan onderstaande deelvragen:
   - Welke twee methoden zijn beschikbaar om het gezichtsveld van een spiegel te tekenen?
   - Wat wordt bedoeld met een dode hoek?

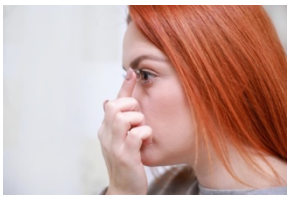
Vaardighedenlijst

Wat moet je kunnen doen:
Je moet

1. kunnen uitleggen hoe kernschaduw of halfschaduw ontstaat.
2. kunnen rekenen met de grootheid vergroting.
3. kunnen uitleggen welke kleur wordt waargenomen onder diverse belichtingssituaties.
4. de spiegelwet en/of de spiegelbeeldmethode kunnen toepassen in allerlei situaties.
5. het gezichtsveld van een spiegel kunnen bepalen.
6. kunnen aangeven of een bepaald voorwerp te zien is via een spiegel.

Hoofdstuk 1 Licht

Een van onze belangrijkste zintuigen, namelijk onze ogen, nemen licht waar. Licht is een natuurkundig verschijnsel. Ons lichaam benut onze ogen om met licht de wereld om ons heen waar te nemen. In de techniek benut men licht onder andere om sfeer te creëren, maar ook om te communiceren.

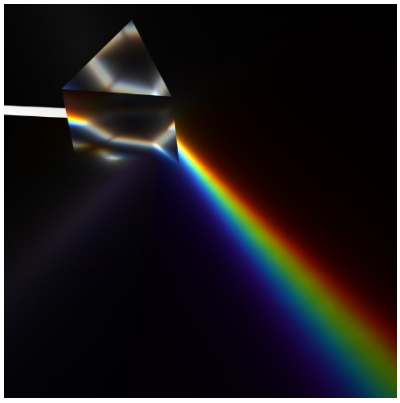


In dit hoofdstuk gaan we het fenomeen licht eens wat preciezer bekijken.

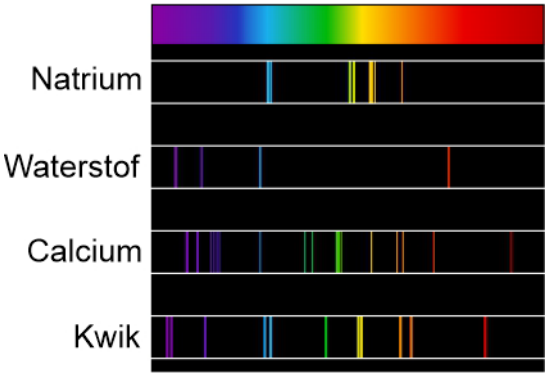
1.1 Lichtbronnen

Lichtbronnen zijn voorwerpen, stoffen of fenomenen die zelf licht uitzenden. In de natuurkunde wordt onderscheid gemaakt tussen natuurlijke en kunstmatige lichtbronnen. Natuurlijke lichtbronnen zijn lichtbronnen die in de natuur voorkomen, zoals bijvoorbeeld sterren. Kunstmatige lichtbronnen zijn lichtbronnen die door de mens zijn gemaakt, zoals bijvoorbeeld lampen.
De kleur van het licht van een lichtbron kan verschillen en sommige kunstmatige lichtbronnen zijn zelfs instelbaar.
Wit licht is een mix van alle kleuren. Onze ogen nemen zo'n mix waar als wit licht. Feitelijk is wit dus geen "echte" kleur. Hetzelfde geldt voor zwart. Zwart is het ontbreken van elke kleur. Je ziet niets. Je ogen nemen dit waar als zwart.

Hoe kun je onderzoeken welke kleuren er in licht van een lichtbron voorkomen?

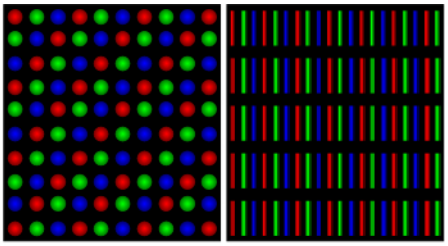


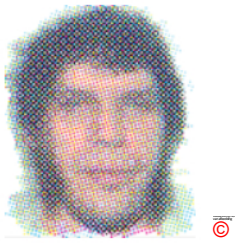
Je kunt van licht een zogenaamd spectrum maken. In een spectrum kun je zien welke kleuren in het licht voorkomen. De kleuren die in een spectrum voorkomen worden spectraalkleuren genoemd. De lijnen in het spectrum worden spectraallijnen genoemd.
Een relatief eenvoudige methode om te kijken welke kleuren in licht voorkomen, is een bundel van dat licht door een driehoekig stuk glas te sturen. Zie nevenstaande afbeelding. Zo'n driehoekig stuk glas wordt een prisma genoemd. Je ziet in nevenstaande afbeelding dat wit licht inderdaad een complete regenboog van kleuren bevat.



Spectra worden meestal weergegeven zoals in de nevenstaande afbeelding. Zwart betekent dat die kleur niet voorkomt in het betreffende licht. Je ziet dat het spectrum van wit licht geen zwarte stukken heeft. De andere vier spectra zijn echter grotendeels zwart en hebben slechts een beperkt aantal spectraalkleuren. Je weet van biologie dat onze ogen kegeltjes bevatten waarmee wij kleur waarnemen. Deze kegeltjes nemen eigenlijk drie kleuren waar.

Onze hersenen verwerken de verhouding van die drie kleuren dan tot een kleurindruk. Zo heb je in de klas kunnen zien dat wij een natriumlamp als geel/oranje waarnemen en een waterstoflamp als rood, ondanks dat er ook andere spectraalkleuren zijn in het spectrum van die lampen. Het gaat dus bij kleurwaarneming om de verhouding van de felheid van de verschillende spectraalkleuren. Hiervan wordt dankbaar gebruik gemaakt in de techniek van elektronische kleurenschermen en kleurendrukwerk.





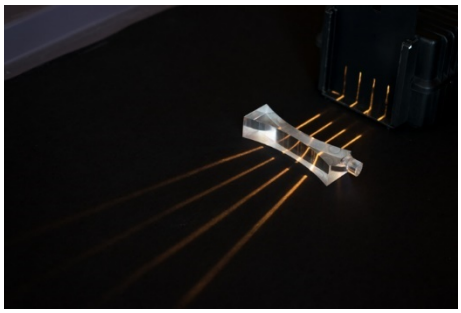
Bij elektronische kleurenschermen maakt men gebruik van het RGB-systeem. Daarbij staat R voor rood, G voor groen en B voor blauw. Door de juiste verhouding van die drie kleuren te mixen kun je alle mogelijke kleuren maken. Zie nevenstaande afbeelding. Als je een kleurenscherm onder een loep bekijkt, zie je een patroon van kleine rode, groene en blauwe lampjes. Zie bovenstaande afbeelding.
Bij drukwerk wordt gebruik gemaakt van het CMYK-systeem. Hierbij staat C voor cyaan, M voor magenta, Y voor geel en K voor key (zwart). Wat precies het verschil tussen die twee technieken is krijg je bij beeldende vorming. Als je een kleurendruk onder een loep bekijkt, zie je een patroon van kleine cyaan, magenta, gele en zwarte puntjes. Zie bovenstaande afbeelding.

1.2 Eigenschappen van licht

1.2.1 Snelheid

Licht is een fenomeen dat zich met een zekere snelheid van de ene plaatst naar de andere kan verplaatsen. Licht is het snelste fenomeen dat we kennen. Niets gaat sneller dan licht in vacuüm. In vacuüm gaat licht namelijk met een snelheid van maar liefst $300.000\ \mathrm{km/s}$. Dat is zo'n 7,5 keer een rondje rond de evenaar in één seconde.

Hoe kun je de snelheid van licht beïnvloeden?



Als licht door vacuüm gaat dan gaat licht rechtdoor met constante snelheid. Zodra licht door een materiaal moet, bijvoorbeeld glas, dan zal het licht een vertraging ondergaan. Zolang het een plat stuk glas betreft merk je daar niets van. Als het materiaal een zekere vorm heeft, dan merk je dat effect wel degelijk. Dit fenomeen wordt namelijk gebruikt om lenzen voor brillen, camera's en projectoren te maken. Deze eigenschap van licht komt in de derde klas uitgebreid aan de orde als we het over lenzen gaan hebben.

1.2.2 Richting

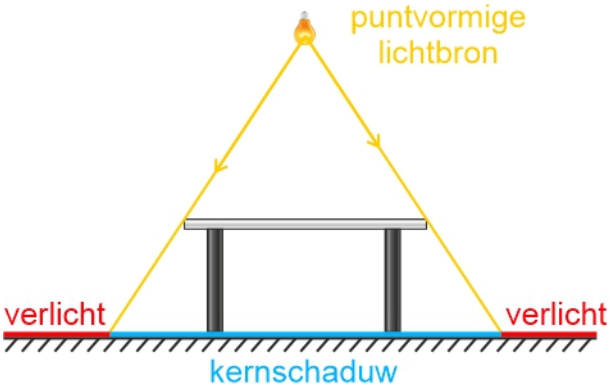
Licht heeft de eigenschap dat het kaarsrecht rechtdoor gaat, zolang er geen materiaal is dat zijn richting verandert. In onderstaande afbeeldingen kun je zien dat licht rechtdoor gaat.

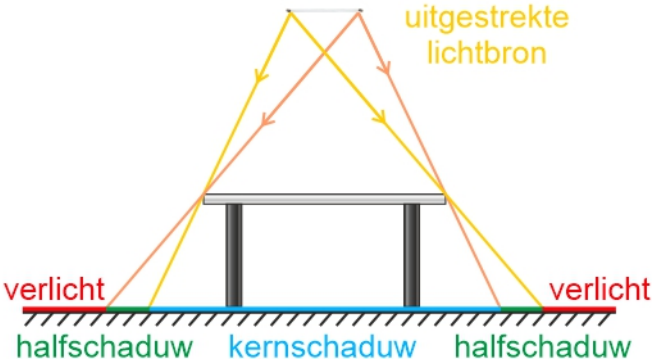
Van deze eigenschap maken we gebruik door licht te tekenen als een lijn met een richtingspijltje. Zo'n lijn met een richtingspijltje noemen we een lichtstraal.

Waaraan kun je in de derde afbeelding zien dat licht rechtdoor gaat?

Schaduw

Dat kun je zien aan de rand van de schaduw. In onderstaande linker afbeelding is weergegeven hoe lichtstralen langs de rand van een tafel gaan. Overal waar het licht de grond raakt is de grond verlicht. Overal waar het licht de grond niet raakt is het donker. Als de lichtbron klein is, dan is de rand tussen schaduw en licht scherp. Net zoals in de derde bovenstaande afbeelding.

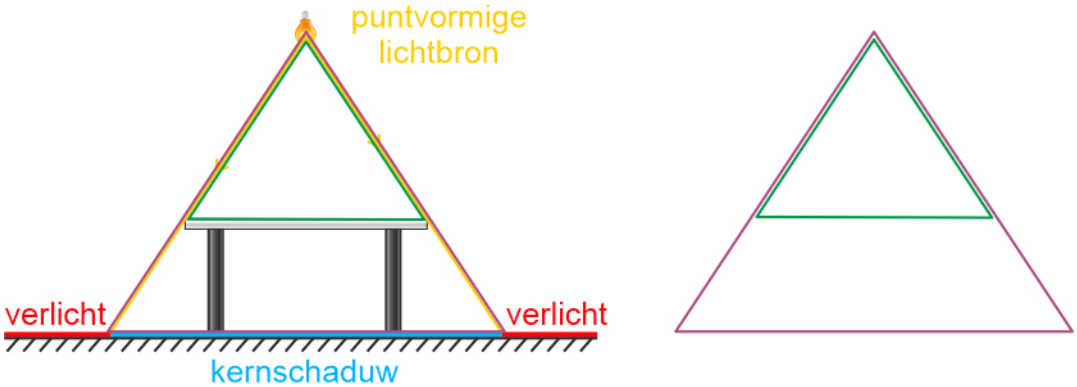




De situatie wordt iets complexer als de lichtbron niet klein is. De rechter bovenstaande afbeelding geeft deze situatie weer. Als je vanuit de grond de gehele tl-buis kunt zien dan is op die plek de grond volledig verlicht. Als je vanuit de grond de tl-buis geheel niet kunt zien, dan is die plek donker. Als je vanuit de grond de tl-buis gedeeltelijk kunt zien dan is die plek half verlicht, half donker. We spreken in zo'n geval van halfschaduw en kernschaduw. De overgang van licht, naar halfschaduw, naar kernschaduw is heel geleidelijk. In de praktijk ziet dat eruit als een schaduw met een "vage" rand. Zie nevenstaande afbeelding.

Dit is niet alleen maar een aardig natuurkundig weetje, maar technisch van belang bij bijvoorbeeld een röntgenfoto. Een röntgenfoto is in principe niets anders dan een foto waarbij de schaduw van botten wordt vastgelegd. In dit geval wordt de fotografische laag zwart waar de röntgenstraling de laag beschijnt en blijft wit daar waar de röntgenstraling niet komt. Hier is het van belang dat de schaduw een scherpe rand heeft.

Vergroting
Een schaduw is niet altijd even groot als het voorwerp. In de natuurkunde is er een grootheid om dit in uit te drukken, namelijk de vergroting. De grootheid vergroting wordt weergegeven met een hoofdletter N en heeft geen eenheid.
De vergroting is vrij gemakkelijk te bepalen op basis van gelijkvormige driehoeken. In onderstaande afbeelding zie je de schaduw zoals die ontstaat bij een puntvormige lichtbron.



Er zijn twee gelijkvormige driehoeken te tekenen. De ene driehoek heeft het tafelblad als basis en de andere driehoek heeft de schaduw als basis. Dat resulteert in de paarse en de groene driehoek zoals weergegeven in bovenstaande afbeelding. De vergroting is dan gelijk aan de verhouding van die twee driehoeken.

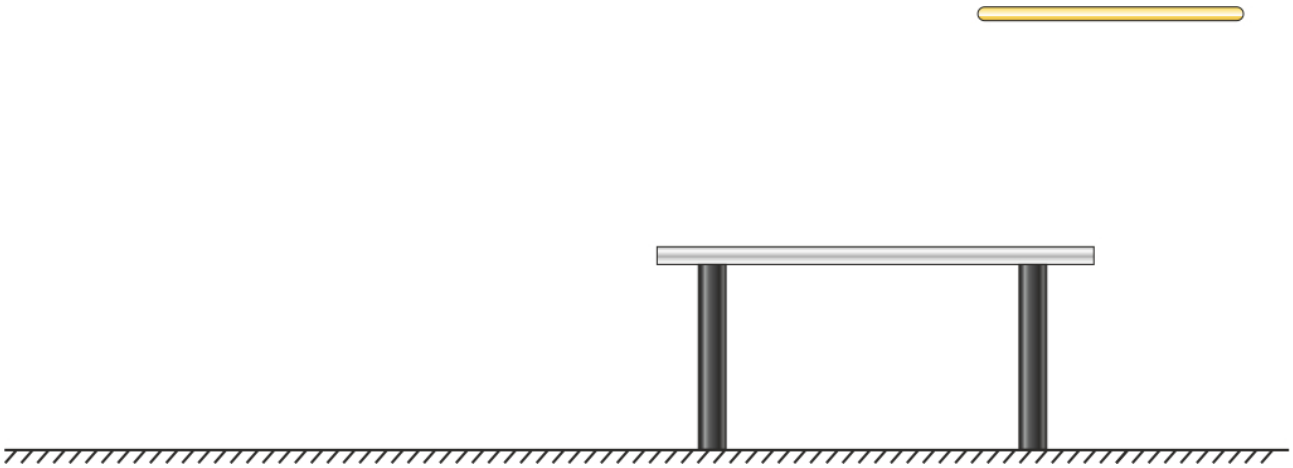
$$\mathrm{N} = \frac{\text{breedte driehoek schaduw}}{\text{breedte driehoek voorwerp}} = \frac{49\ \mathrm{mm}}{33\ \mathrm{mm}} = 1{,}5$$

Of

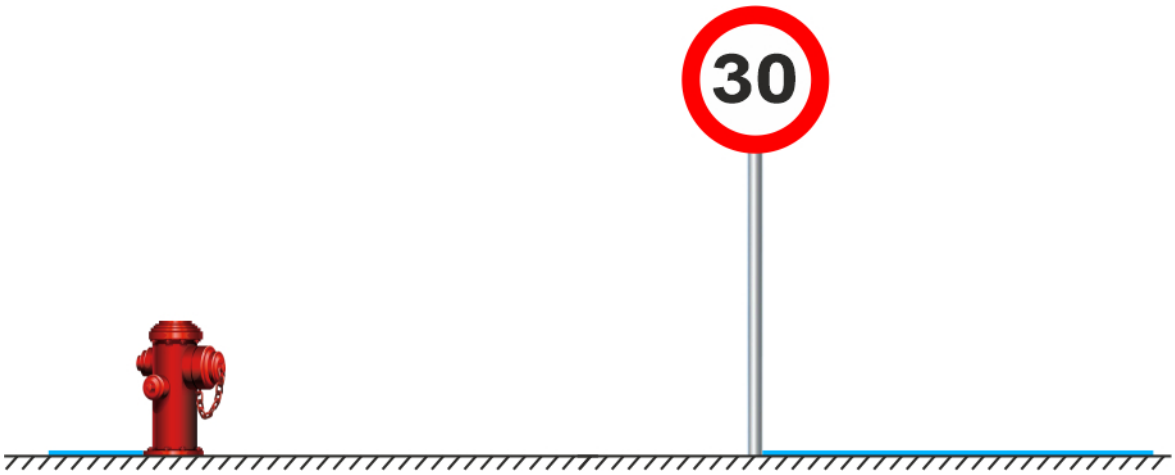
$$\mathrm{N} = \frac{\text{hoogte driehoek schaduw}}{\text{hoogte driehoek voorwerp}} = \frac{40\ \mathrm{mm}}{27\ \mathrm{mm}} = 1{,}5$$

In het algemeen geldt:
Als de schaduw groter is dan het origineel N>1
Als de schaduw kleiner is dan het origineel N<1
Als de schaduw even groot is als het origineel N=1
Met andere woorden, de vergroting is altijd geformuleerd in termen van zoveel keer zo <u>groot</u>. Dat wil zeggen, twee keer zo klein geeft een vergroting van ½, oftewel half zo <u>groot</u>.
De kunst, bij opgaven over vergroting, is dus om die twee gelijkvormige driehoeken te vinden.

Opgave R01: kernschaduw en halfschaduw
In onderstaande afbeelding hangt een lamp boven een tafel.
Op de grond ontstaan er zowel kernschaduw- als halfschaduwgebieden.
Geef door middel van arcering met verschillende kleuren weer welke gebieden kernschaduw, halfschaduw of helemaal geen schaduw hebben.



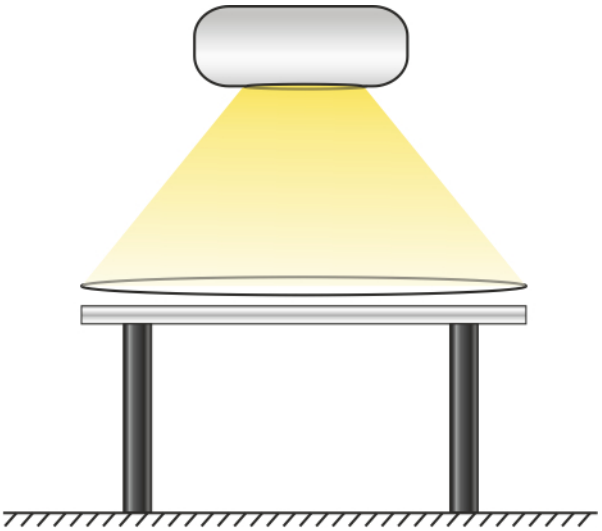
Opgave R02: schaduw
In onderstaande afbeelding staan een paaltje en een verkeersbord weergegeven.
Ergens boven het wegdek bevindt zich een lamp die bij beide voorwerpen een schaduw veroorzaakt zoals weergegeven in onderstaande afbeelding.



Bepaal door constructie de plaats van de lamp.

Opgave R03: vergroting
Een fel puntvormig lampje bevindt zich $2{,}0\ \mathrm{m}$ van een muur. Tussen het lampje en de muur houdt Artem een balletje met een diameter van $5{,}0\ \mathrm{cm}$. Op de muur ontstaat een schaduw van het balletje. De diameter van de schaduw bedraagt $25\ \mathrm{cm}$.
a) **Bereken** de vergroting van de schaduw.
b) **Bereken** hoe ver het lampje zich van het balletje bevindt.

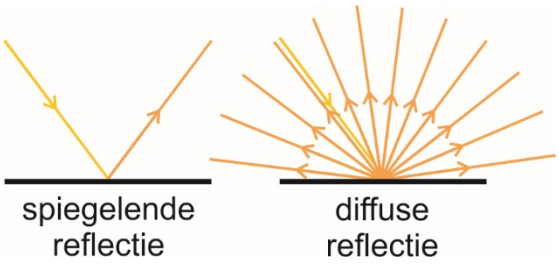
Opgave R04: lamp boven tafel (inzicht)
In een werkplaats hangt een lichtkast aan het plafond. Deze lamp zorgt voor een sterke lichtbundel op de tafel waarboven deze kast hangt.
In nevenstaande afbeelding staat zo'n lamp weergegeven. Deze afbeelding is niet op schaal.
Het cirkelvormige venster in de lichtkast heeft een straal van $15\ \mathrm{cm}$ en de ledjes zitten $12\ \mathrm{cm}$ boven het venster. Je mag de ledjes als één puntvormige lichtbron beschouwen.



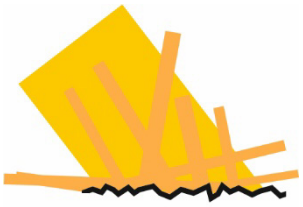
a) **Bereken** de minimale afstand tussen de onderkant van de lamp en het tafeloppervlak, als de lichtkast een ronde tafel met een straal van $60\ \mathrm{cm}$ geheel moet verlichten.
b) **Bereken** de minimale afstand tussen de onderkant van de lamp en het tafeloppervlak, als de lichtkast een rechthoekige tafel van $120\ \mathrm{cm}$ bij $80\ \mathrm{cm}$ volledig moet verlichten.

Hoe kun je de richting van licht beïnvloeden?

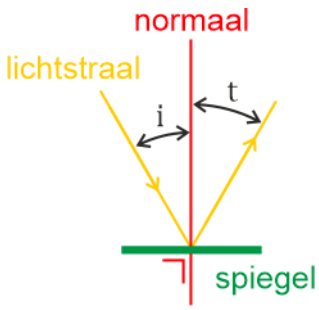
De meest voor de hand liggende methode om dit te doen is door gebruik te maken van spiegels. Zoals eerder al genoemd kan dit ook met lenzen, maar die komen volgend jaar aan de orde.
Spiegelen wordt in de natuurkunde ook reflectie genoemd. In de natuurkunde worden twee vormen van reflectie onderscheiden, namelijk spiegelende reflectie en diffuse reflectie.
Bij spiegelende reflectie wordt de lichtstraal teruggekaatst zoals die aangekomen is. Bij diffuse reflectie wordt de lichtstraal in vele verschillende richtingen teruggekaatst. Zie nevenstaande afbeelding.



Diffuse reflectie ontstaat doordat een lichtstraal wordt gereflecteerd door een oppervlak dat niet spiegelglad is. Feitelijk ontstaat diffuse reflectie doordat spiegelende reflectie optreedt aan microscopisch kleine spiegeltjes die allemaal een iets andere kant op staan. Zie nevenstaande afbeelding. (Ik heb niet alle gereflecteerde stralen getekend.)



Spiegelende reflectie is dus de basis van alle reflectie en daarom wordt deze vorm van reflectie door zijn eigen wet beschreven, namelijk de spiegelwet.
Daartoe moeten we weer twee nieuwe grootheden introduceren.
De hoek van inval wordt weergegeven met een kleine letter i en uitgedrukt in graden (°).
De hoek van terugkaatsing wordt weergegeven met een kleine letter t en uitgedrukt in graden (°). De spiegelwet luidt dan: t = i.
Om de hoek van inval (of de hoek van terugkaatsing) te meten zijn er twee mogelijkheden. Voor de spiegelwet maakt het niets uit, maar voor de brekingswet, die je volgend jaar krijgt, maakt het wel degelijk verschil. Dus we zullen ons nu moeten vastleggen hoe de hoek van inval en de hoek van terugkaatsing dient te worden gemeten. Zowel de hoek van inval als de hoek van terugkaatsing wordt gemeten ten opzichte van de normaal. De normaal op een oppervlak is, net als in de wiskunde, de lijn loodrecht op het oppervlak. Zie nevenstaande afbeelding.

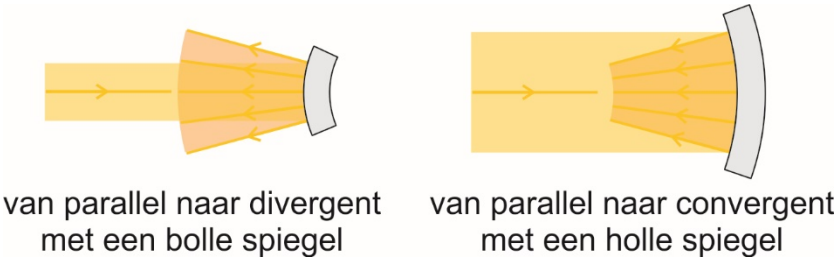


Soms praten we niet over een lichtstraal, maar over een lichtbundel. Een lichtbundel is niets anders dan een grote verzameling lichtstralen. Daarbij is er een drietal lichtbundels die een eigen naam hebben omdat hun lichtstralen in een heel specifieke richting ten opzichte van elkaar lopen. De individuele lichtstralen van een bundel kunnen namelijk

parallel = de lichtstralen lopen evenwijdig
convergent = de lichtstralen zijn op één punt gericht
divergent = de lichtstralen lijken uit één punt te komen

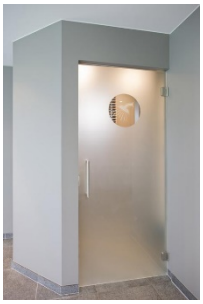
parallel, convergent en divergent lopen. Zie onderstaande afbeelding.
Kun je de verschillende soorten lichtbundels van de ene soort veranderen in de andere?

Ja dat kan, door gebruik te maken van bijvoorbeeld spiegels die hol of bol zijn. Zie onderstaande afbeelding.



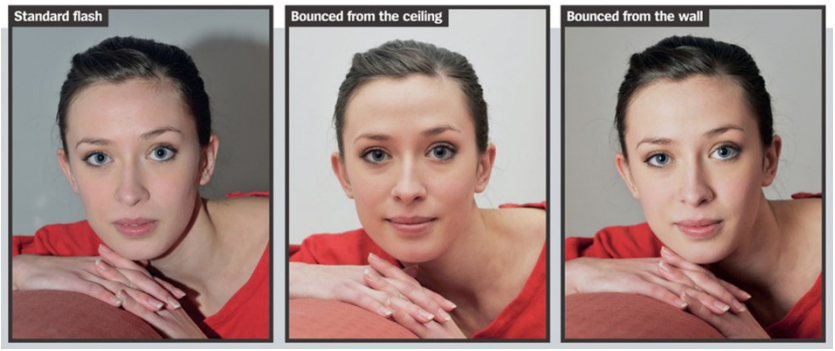
Parallelle, convergente of divergente bundels hebben een eigenschap gemeen. Je kunt nagaan waar het licht vandaan komt. Dit is echter niet altijd het geval. Soms komt het licht van alle kanten en er lijkt niet echt een duidelijke bron te zijn (er is dan ook geen schaduw). Dat licht dat van alle kanten komt noemt men diffuus licht. Diffuus licht ontstaat door verstrooiing en diffuse reflectie.

Bijvoorbeeld als het overdag licht bewolkt is. Dan kun je door de wolken de zon niet zien. Het licht komt dus niet rechtstreeks van de zon op de diverse voorwerpen die je ziet in je oog. Het licht van de zon wordt eerst door de wolken en stof in de lucht alle kanten op gereflecteerd. De voorwerpen die je ziet worden door dit indirecte licht bestraald waarna het licht in je ogen komt. Verstrooiing van licht treedt ook op. Dit fenomeen doet zich voor als licht door bijvoorbeeld druppeltjes gaat en door die druppeltjes van richting wordt veranderd. Dit fenomeen ken je ook van bijvoorbeeld melkglas. In bovenstaande afbeelding zie je dat je door gewoon glas heen kunt kijken en alles buiten scherp ziet. Plak je melkglasfolie op die ruit wordt alles achter die ruit een stuk vager.



Dit effect kan ook extremer, zoals bijvoorbeeld in de deur van een douche. Er kan wel licht door de deur, maar je kunt niets herkennen van wat achter de deur is.

Diffuus licht geeft geen schaduw. Dat is een extreem belangrijke eigenschap voor bijvoorbeeld de verlichting in kantoorgebouwen of bij foto- en filmstudio's. Het is namelijk vermoeiend voor je ogen als je bijvoorbeeld met een pen aan het schrijven bent en je hebt één of meerdere schaduwen. In foto- en filmstudio's zijn harde schaduwen eveneens vaak ongewenst. Kijk maar eens naar onderstaande afbeelding.



Deze foto is afkomstig van learningwithexperts.com. Als je geïnteresseerd bent in fotografie, neem er maar eens een kijkje.

In de eerste afbeelding is een flitslicht rechtstreeks op het gezicht gericht. Bij de tweede afbeelding is de flits via het plafond gericht zodat het diffuus wordt belicht. Een andere variant is de derde afbeelding. Daar gaat de flits via een wand.

Opgave R05: hoe lang is de schaduw

Remy wil weten hoe lang zijn schaduw is op een zonnige dag om drie uur 's middags. Hij weet dat hij $1{,}75\ \mathrm{m}$ lang is en dat de lantaarnpaal $500\ \mathrm{cm}$ hoog is. Hij meet de schaduw van de lantaarnpaal en die bedraagt $3{,}2\ \mathrm{m}$.

a) **Leg uit** of het licht dat ons van de zon bereikt mag worden beschouwd als een divergente, een convergente of een parallelle bundel.
b) **Bereken** de lengte van de schaduw van Remy als hij rechtop staat.

1.2.3 Kleur

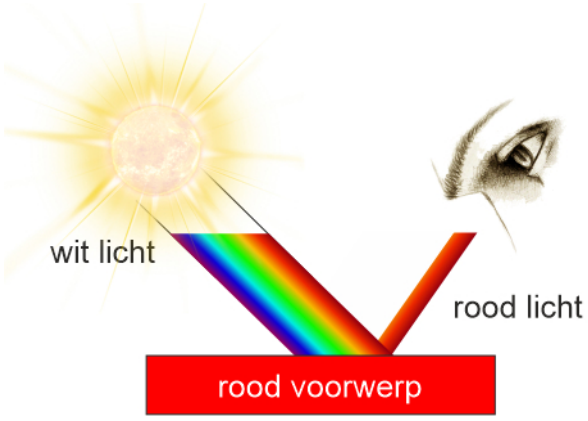
Een andere bekende eigenschap van licht is het feit dat het een zekere kleur heeft.
Wit licht een mix van alle kleuren. Onze ogen nemen zo'n mix waar als wit licht. Feitelijk is wit dus geen "echte" kleur. Hetzelfde geldt voor zwart. Zwart is het ontbreken van elke kleur. Je ziet niets. Je ogen nemen dit waar als zwart.

Om te begrijpen hoe kleur ontstaat moet je eerst eens goed nadenken over hoe wij iets waarnemen. Wij kunnen een voorwerp alleen zien als:

- Licht op het voorwerp valt en wordt gereflecteerd, of als het voorwerp zelf licht uitzendt.
- Vervolgens komt dat licht van het voorwerp in ons oog.

De zon zendt wit licht uit.

Waarom zien wij een rood T-shirt als een rood T-shirt?



Er valt wit licht op het T-shirt. Er komt echter rood licht in onze ogen. Wat is er met de andere kleuren van dat witte licht gebeurd?
Die zijn door de kleurstof in het T-shirt geabsorbeerd en komen dus niet in onze ogen. Dat is dus wat kleurstoffen doen. Ze absorberen bepaalde kleuren en andere niet. De kleur die overblijft en in onze ogen komt bepaalt welke kleur wij zien. Zie nevenstaande afbeelding.
Stel je staat met een groen T-shirt in kamer waar foto's ontwikkeld worden. In zo'n kamer hangt een rode lamp.
Welke kleur heeft jouw T-shirt onder zo'n lamp?
Een groene kleurstof absorbeert alle kleuren, behalve groen. Daarom is een groen T-shirt groen onder wit licht. Nu valt er alleen rood licht op het T-shirt. Rood licht wordt geabsorbeerd door de groene kleurstof. De enige kleur licht die op het T-shirt valt wordt dus geabsorbeerd. Dan blijft er niets over dat nog naar jouw ogen kan worden gereflecteerd. Dan zie je dus een zwart T-shirt. Wat zie je als de kleurstof niet 100% van de opvallende kleuren absorbeert? …… dan zie je een rood T-shirt. Dat is namelijk de enige kleur die in die kamer in je ogen terecht kan komen.

Hoe kun je de kleur van licht beïnvloeden?

De meest eenvoudige manier om dit te doen is door gebruik te maken van filters. Als je bijvoorbeeld wit licht door een rood filter laat gaan, dan zal het filter alle kleuren tegenhouden behalve het rode licht. Het rode licht komt dus door het filter heen en je hebt feitelijk van wit licht, rood licht gemaakt.

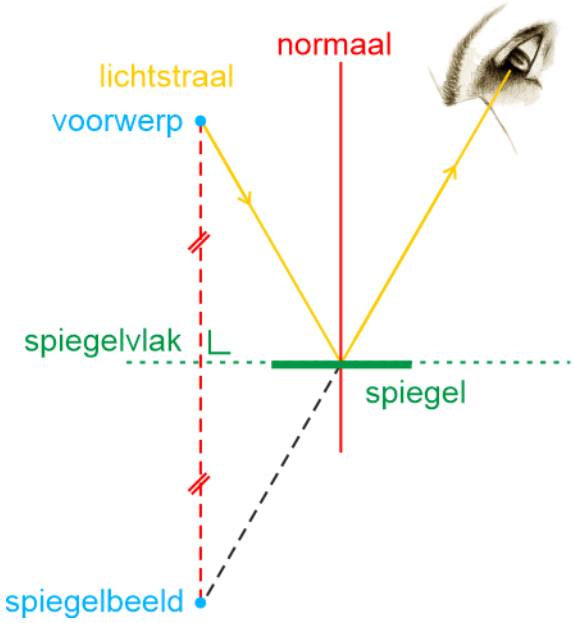
Opgave R06: kleur waarnemen
In nevenstaande afbeelding staat een bal weergegeven zoals deze wordt waargenomen bij normaal zonlicht.
Leg uit hoe deze bal wordt waargenomen als deze wordt geplaatst in een ruimte waar uitsluitend blauw licht aanwezig is.

A B C D E

1.3 Spiegelbeelden
Als iemand voor een spiegel staat dan ziet hij zijn spiegelbeeld. In nevenstaande afbeelding zie je dat het meisje zichzelf in de spiegel kan zien. De fotograaf die de foto heeft gemaakt kan dat spiegelbeeld echter maar gedeeltelijk zien.

Wanneer kun je een spiegelbeeld zien?

Om die vraag te kunnen beantwoorden moeten we eerst kijken naar waar dat spiegelbeeld zich precies bevind. Als je bovenstaande afbeelding bekijkt, zie je dat het spiegelbeeld zich net zo ver achter de spiegel bevindt, als dat de persoon voor de spiegel staat. Probeer dat vanavond als je voor de spiegel staat maar eens uit. Jouw spiegelbeeld beweegt met jou mee. Sta je met je neus voor de spiegel dan is het spiegelbeeld vlak achter de spiegel. Beweeg je je verder naar achteren, dan gaat het spiegelbeeld ook verder naar achteren.
In nevenstaande afbeelding staat een en ander schematisch weergegeven.



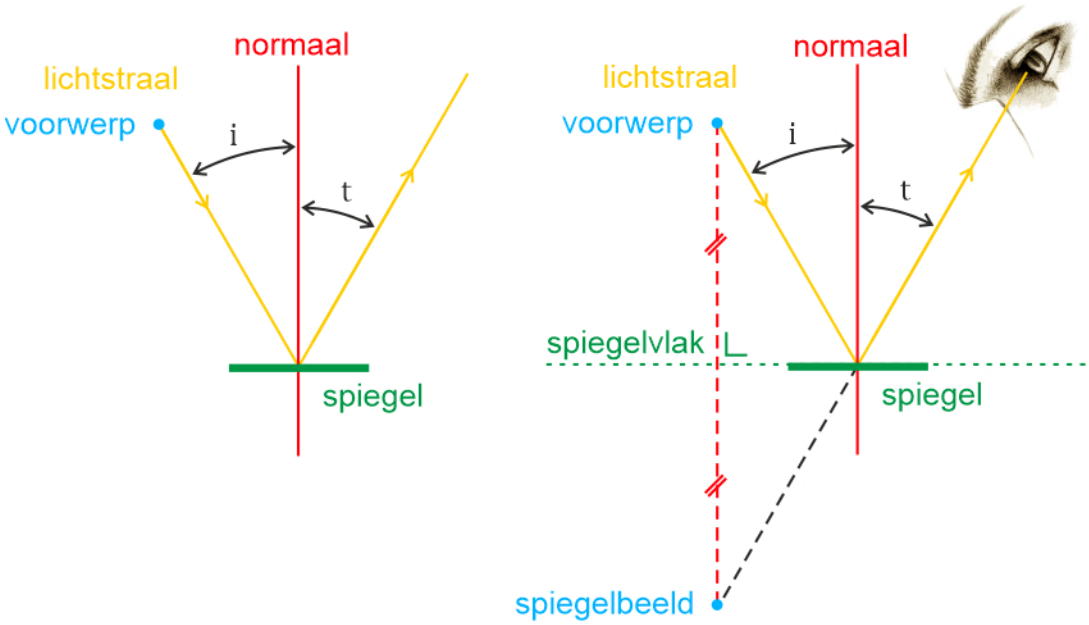
Bij de constructie van een spiegelbeeld ga je als volgt te werk:

- Teken een lijn door het voorwerp, loodrecht op het spiegelvlak.
- Teken het spiegelbeeld op die lijn, op dezelfde afstand achter de spiegel, als dat het voorwerp ervoor ligt.

Hoe gaat het licht van het voorwerp naar de ogen?

- Het licht dat je ogen bereikt lijkt uit het spiegelbeeld te komen. Dat stuk van de lichtstraal vind je door de verbindingslijn van spiegelbeeld naar het oog te tekenen.
- In werkelijkheid komt het licht natuurlijk niet van achter de spiegel, maar van het voorwerp. Dat stuk van de lichtstraal vind je door de verbindingslijn van voorwerp naar spiegel te tekenen. Zie bovenstaande afbeelding.

Je hebt met deze methode een tweede mogelijkheid om de spiegelwet toe te passen en wel een methode zonder hoeken te moeten meten. In onderstaande afbeelding is weergegeven hoe je een lichtstraal in een spiegel laat reflecteren met de oude methode en de nieuwe methode.

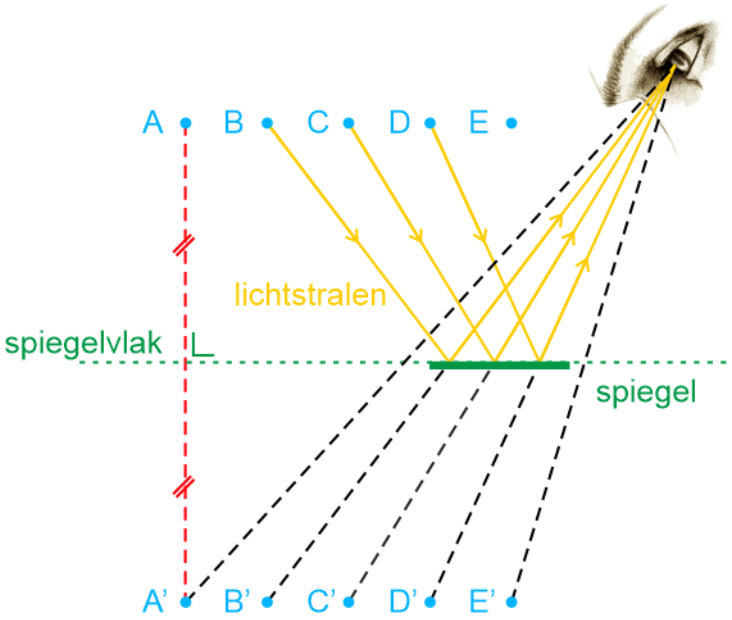


De nieuwe methode wordt de spiegelbeeldmethode genoemd. Het licht lijkt na reflectie uit het spiegelbeeld te komen.
Terug naar de oorspronkelijke vraag:

Wanneer kun je een spiegelbeeld zien?

We hebben reeds gezien dat je in het algemeen iets ziet als licht van dat iets in jouw ogen komt. Dat geldt ook voor spiegelbeelden. Als er licht van het spiegelbeeld in jouw ogen komt, dan kun je het spiegelbeeld zien. Iets uitgebreider: als er ligt van het voorwerp via de spiegel in je ogen komt.

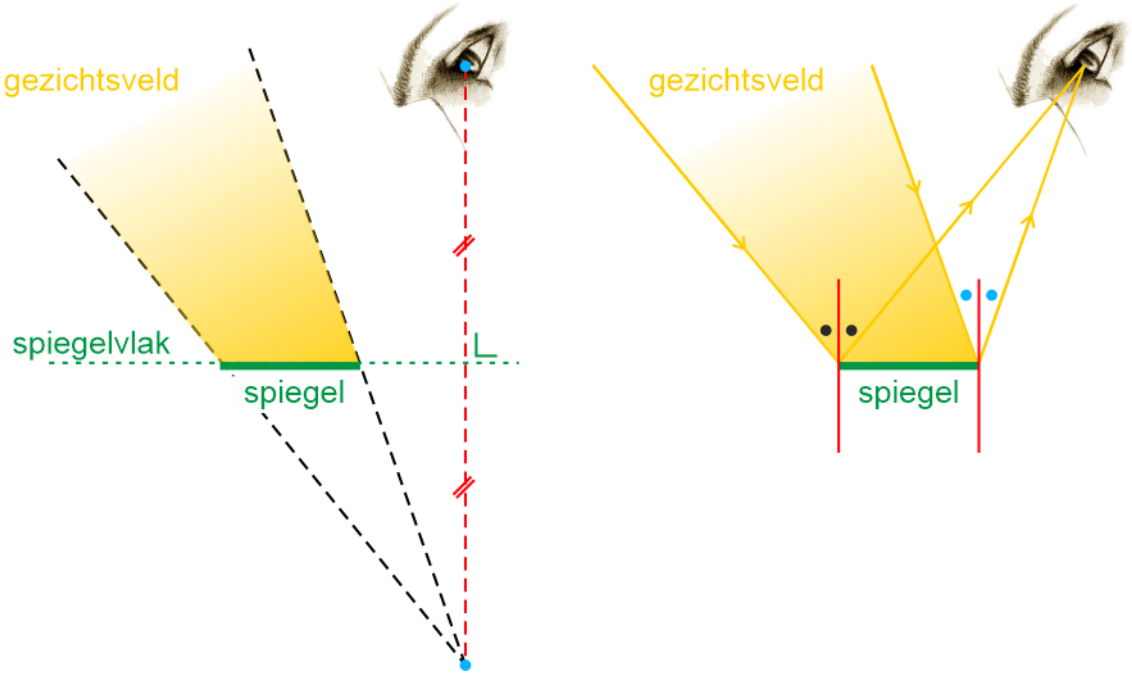
In nevenstaande afbeelding staan vijf voorwerpen (A t/m E) met hun bijbehorende spiegelbeelden (A’ t/m E’) weergegeven. Je kunt zien dat, alleen voor de originelen B, C en D, licht via de spiegel van het origineel naar de ogen gaat. Voor de originelen A en E zou de reflectie van het licht naast de spiegel moeten plaatsvinden. Die spiegelbeelden zijn er dus wel, maar je kunt ze niet zien vanuit die positie.



Om snel te beoordelen of je een spiegelbeeld ziet, hoef je dus alleen maar te kijken of de lijn van oog naar spiegelbeeld door de spiegel gaat. In nevenstaande afbeelding kun je zien dat de zwarte stippellijn voor de punten A’ en E’ langs de spiegel gaan.

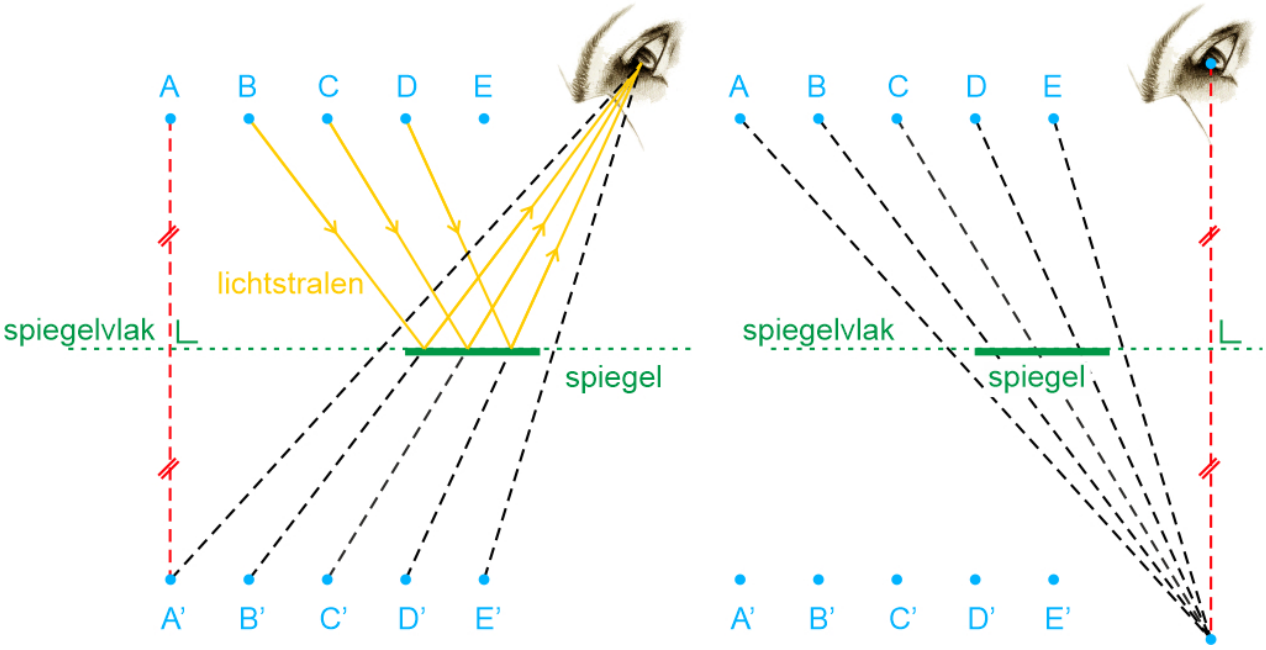
1.3.1 Gezichtsveld

In sommige situaties is het van belang om te weten welk gebied via een spiegel is te zien. Denk daarbij aan beveiligingsspiegels of autospiegels. Het gebied dat via een spiegel geobserveerd kan worden noemt men het gezichtsveld van een spiegel.
Een dode hoek is dat gedeelte dat buiten het gezichtsveld valt. Zeker bij achteruitkijkspiegels voor bijvoorbeeld auto's en vrachtwagens is het van belang te weten of er dode hoeken zijn.
Het gezichtsveld van een spiegel kan het gemakkelijkst via de spiegelbeeldmethode worden gevonden. Alhoewel de spiegelwet-methode ook werkt. In onderstaande afbeelding staan beide methoden weergegeven.



Je ziet dat in bovenstaande afbeelding niet het beeld van het voorwerp, maar het beeld van het oog is bepaald. Er zijn namelijk twee methoden om te beoordelen of je een voorwerp via een spiegel kunt zien. De eerste heb je op de vorige bladzijde gezien.

Je kunt je afvragen of het oog het voorwerp ziet via de spiegel. Alternatief kun je je ook afvragen of het spiegelbeeld van het oog het voorwerp ziet als je de spiegel als een raam beschouwt.



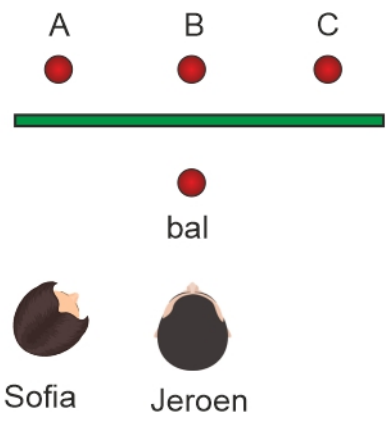
Bij beide methoden geldt, dat je iets niet kunt zien als de verbindingslijn (zwarte stippellijnen) tussen spiegelbeeld oog dan wel de verbindingslijn tussen spiegelbeeld oog en voorwerp langs de spiegel gaat.

1.3.2 Opgaven

Opgave R07: teken het spiegelbeeld
In nevenstaande afbeelding staat een persoon voor een spiegel.
Op het hoofd is een viertal punten aangegeven.
Teken voor alle vier deze punten het spiegelbeeld.

Opgave R08: waar zie je het spiegelbeeld?
In nevenstaande afbeelding staat een bovenaanzicht weergegeven. Sofia en Jeroen staan voor een spiegel.

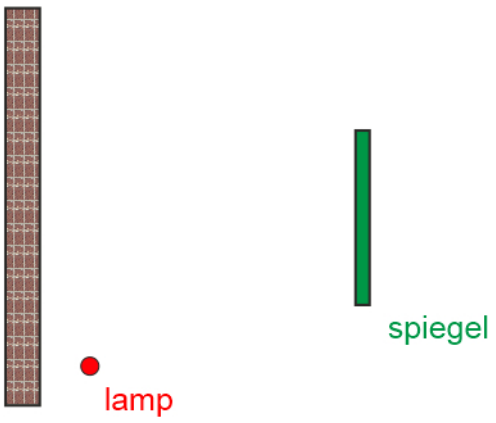
a) **Leg uit** waar Jeroen het spiegelbeeld van de bal ziet.
b) **Leg uit** waar Sofia het spiegelbeeld van de bal ziet.
c) **Teken** een lichtstraal die van de bal, via de spiegel, naar Sofia gaat.



Opgave R09: man voor spiegel
In onderstaande afbeelding staat een man voor een spiegel. De man kan zichzelf in de spiegel maar gedeeltelijk zien.
Construeer in onderstaande afbeelding van waar tot waar de man zichzelf in de spiegel kan zien.

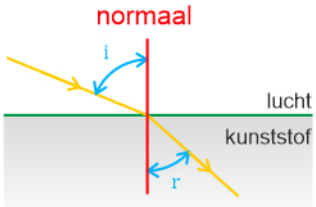
Opgave R10: verlichte muur
In nevenstaande afbeelding is een bovenaanzicht weergegeven. Een lamp bevindt zich op de plaatst van de rode punt en beschijnt de spiegel. De muur wordt via de spiegel door deze lamp verlicht.

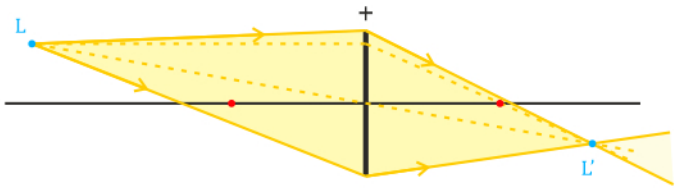
a) Markeer met de dikke blauwe lijn dat deel van de muur dat via de spiegel door de lamp wordt verlicht.
b) **Teken** de lichtbundel die van de lamp, via de spiegel, de muur verlicht.

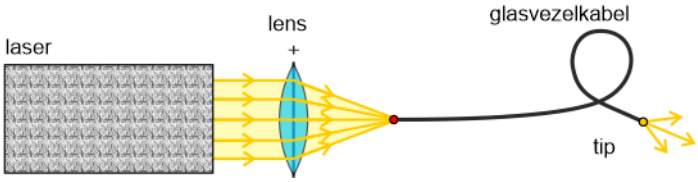


Vooruitblik

Volgend schooljaar wordt dit onderwerp uitgebreid. Dan gaan we kijken hoe
- licht van de ene stof naar de andere gaat,
- hoe licht door een lens gaat,
- en hoe lenzen worden gebruikt in camera's en projectoren.







Optische instrumenten

Optische dataoverdracht

Brillen en lenzen

Begrippenkennis

De betekenis van onderstaande woorden, begrippen en afkortingen moet je kunnen uitleggen in woorden of met behulp van een tekening met toelichting:

1. lichtbron
2. spectrum
3. spectraalkleur
4. prisma
5. kleurfilter
6. lichtstraal
7. kernschaduw
8. halfschaduw
9. vergroting
10. verstrooiing
11. reflectie
12. absorptie
13. diffuse reflectie
14. spiegelende reflectie
15. spiegelwet
16. spiegelbeeld
17. spiegelvlak
18. normaal
19. hoek van inval
20. hoek van terugkaatsing
21. gezichtsveld
22. dode hoek

Planner

Bedenk dat je weektaak altijd de stof van de voorgaande week toetst, dus zorg dat je die geleerd hebt.

Week nr.	Les 1		Les 2	
	Lesactiviteit	**Afgesproken huiswerk**	**Lesactiviteit**	**Afgesproken huiswerk**
35	Aan de orde zijn onder andere: - onderzoeksvragen 1 t/m 3		Zelfstandig werken en vragen stellen over zaken die je nog niet snapt. Weektaak bespreken met partner.	Zelf af te spreken met jouw partner.
36	Aan de orde zijn onder andere: - onderzoeksvragen 1 t/m 4 - vaardigheden nummer 1 en 2	Weektaak 1 maken en alle behandelde theorie leren. Deze weektaak toets dus de stof van week 35.	Zelfstandig werken en vragen stellen over zaken die je nog niet snapt. Weektaak bespreken met partner.	Zelf af te spreken met jouw partner.
37	Aan de orde zijn onder andere: - onderzoeksvragen 1 t/m 4 - vaardigheden nummer 3 en 4	Weektaak 2 maken en alle behandelde theorie leren. Deze weektaak toets dus de stof van week 36.	Zelfstandig werken en vragen stellen over zaken die je nog niet snapt. Weektaak bespreken met partner.	Zelf af te spreken met jouw partner.
38	Aan de orde zijn onder andere: - onderzoeksvragen 5 en 6 - vaardigheden nummer 4 t/m 6	Weektaak 3 maken en alle behandelde theorie leren. Deze weektaak toets dus de stof van week 37.	Zelfstandig werken en vragen stellen over zaken die je nog niet snapt. Weektaak bespreken met partner.	Zelf af te spreken met jouw partner.
39		Weektaak 4 maken en alle behandelde theorie leren. Deze weektaak toets dus de stof van week 38.	Alle onderdelen van de werkmap afronden. In jouw werkmap moeten alle onderzoeksvragen worden beantwoord.	Zelf af te spreken met jouw partner.

Het proefwerk voor dit onderwerp is dan in week 41.

Vragenlijst

Aantekeningen

Werkbladen

Begrippen	
Toelichting:	Dit zijn enkele van de begrippen die je in de toets kunt verwachten. Voor een volledige lijst zie blz. 21. Je zult deze tijdens de lessen moeten invullen en je moet ze kennen en kunnen toepassen tijdens de toets.

Licht en kleur	
Spectrum	…… ……
Spectraalkleur	…… ……
Reflectie en verstrooiing / direct, indirect en diffuus	
Evenwijdige lichtbundel	…… ……
Convergente lichtbundel	…… ……
Divergente lichtbundel	…… ……
Kernschaduw	…… ……
Halfschaduw	…… ……
Vergroting	…… ……
Diffuus licht	…… ……

Spiegelbeelden	
Normaal	…… ……
Hoek van inval	…… ……
Hoek van terugkaatsing	…… ……

Formules	
Toelichting:	Deze formules kun je in de toets verwachten. Je zult deze tijdens de lessen moeten aanvullen en je moet ze kunnen toepassen en uit je hoofd kennen tijdens de toets.

Vergroting	
Omschrijving:	Deze formule wordt gebruikt om de vergroting te berekenen.
Formule	
Betekenis en eenheid symbolen:	…… ……
Aandachtspunten:	…… …… ……
Spiegelbeelden	
Omschrijving:	Deze wet beschrijft het verband tussen de hoek van inval en de hoek van terugkaatsing.
Formule	
Betekenis en eenheid symbolen:	…… ……
Aandachtspunten:	…… ……
Spiegelbeeldmethode	
Omschrijving:	Met deze methode kun je het spiegelbeeld van een voorwerp bepalen.
Aandachtspunten:	1…… 2…… 3……

Practica

Practicum: Donkere dagen in Rjukan

Probleemstelling

Westelijk van Oslo, tussen de hoge bergen, ligt het Noorse dorp Rjukan. De inwoners wonen daar in een prachtige, robuuste omgeving. Ze hebben echter wel een probleempje…
In de winter staat de zon zodanig laag, dat de bergen al het zonlicht blokkeren en er geen zonlicht in het dorp terecht komt. Dit kan leiden tot een gebrek aan vitamine D, vermoeidheid en lusteloosheid in de lange wintermaanden.
In onderstaande afbeelding staat een schets van de situatie.

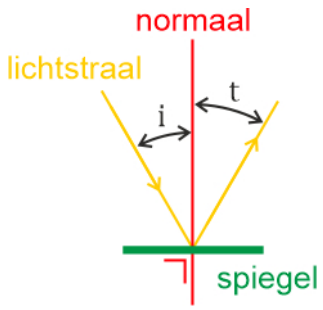
Laat in de schets zien dat Rjukan inderdaad geen zonlicht krijgt in de wintermaanden.

Opdracht
De burgemeester van het dorp heeft een wedstrijd uitgeschreven onder ingenieursbureaus. Hij wil grote spiegels gaan plaatsen op één van de bergen rondom Rjukan, om het zonlicht richting het dorp te kaatsen. Het is aan jullie ingenieursbureau om te onderzoeken hoe spiegels het zonlicht terugkaatsen en wat verschillende soorten spiegels doen met lichtbundels. Aan de hand van jullie onderzoek kunnen jullie de burgemeester voorzien van een goed ontwerp en met wat geluk kiest hij jullie ingenieursbureau uit om de opdracht te mogen realiseren!
Geef hierbeneden alvast de naam van jullie ingenieursbureau op:

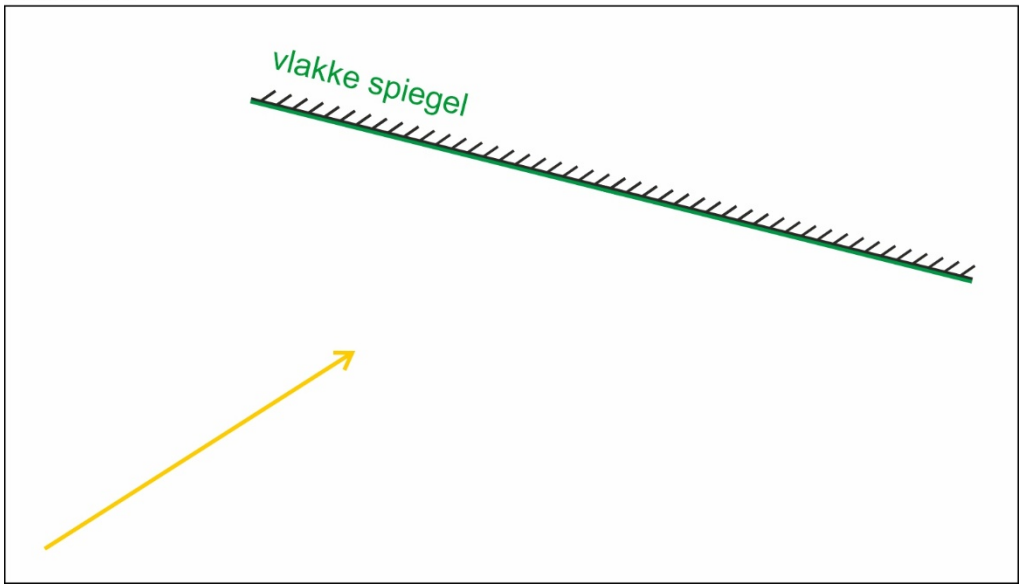
Onderzoek
Jullie gaan eerst onderzoeken wat er met lichtstralen gebeurt als ze op een spiegel vallen. Jullie zien op de volgende pagina's spiegels en stukjes lichtstraal getekend.

1. Zet het lichtkastje zodanig dat de lichtstraal (of lichtstralen) uit het kastje over de getekende lichtstraal valt.
2. Leg de spiegel uit het doosje op de juiste plek. Kijk goed welke kant van de spiegel gebruikt moet worden om te spiegelen.
3. Neem op je blaadje het verloop van de lichtstraal over.
4. Meet vervolgens met je geodriehoek de hoek van inval en de hoek van terugkaatsing. Noteer dit in het tabelletje bij de tekening.

Bestudeer nevenstaande afbeelding goed en ga na hoe de hoek van inval (i) en de hoek van terugkaatsing (t) moet worden gemeten.
Een normaal, is net als in de wiskunde, de lijn die loodrecht op een andere lijn (in ons geval de spiegel) staat.

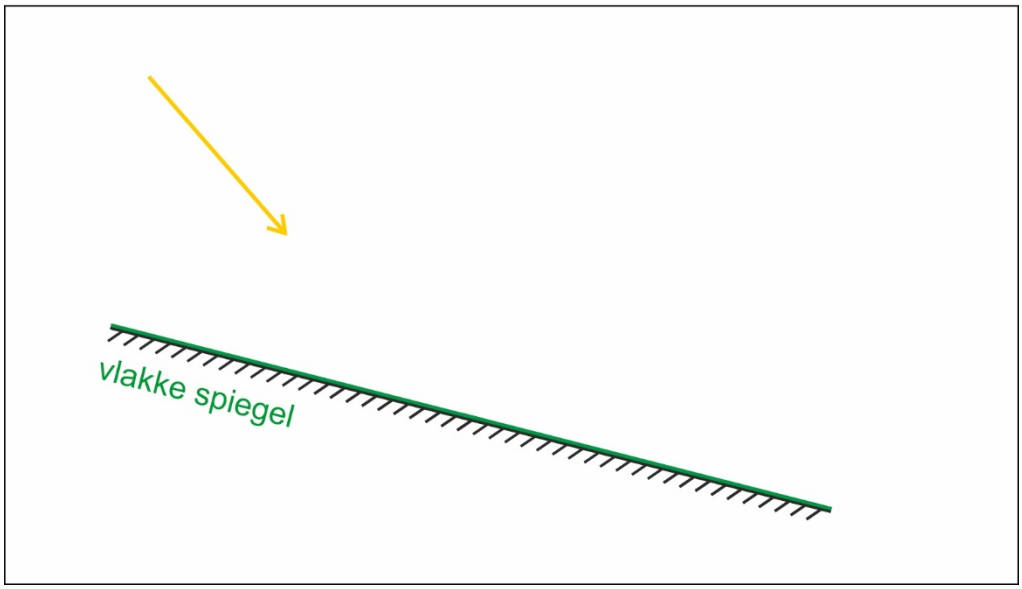


situatie 1



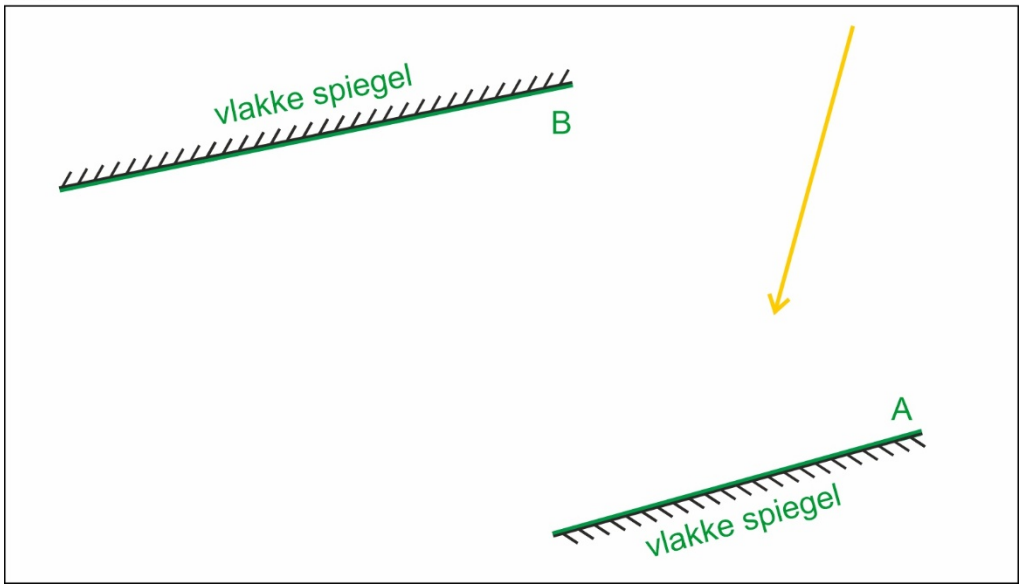
i	
t	

situatie 2



i	
t	

situatie 3



i_B	
t_B	

situatie 4

Zorg dat je uit je lichtkastje een evenwijdige lichtbundel van meerdere lichtstralen krijgt.
Laat meerdere evenwijdige lichtstralen op de **bolle** spiegel vallen.
Teken de situatie in bovenstaand hok. Je hoeft hier geen hoeken op te meten.

situatie 5

Zorg dat je uit je lichtkastje een evenwijdige lichtbundel van meerdere lichtstralen krijgt.
Laat meerdere evenwijdige lichtstralen op de **holle** spiegel vallen.
Teken de situatie in bovenstaand hok. Je hoeft hier geen hoeken op te meten.

Conclusies
Welk verband kun je vinden tussen de hoek van inval en de hoek van terugkaatsing?
Gebruik hiervoor je resultaten van situatie 1, 2 en 3.

Wat kun je concluderen over het effect van een bolle lens?

Wat kun je concluderen over het effect van een holle lens?

Nu jullie je onderzoek hebben gedaan, kunnen jullie een idee voor de burgemeester op gaan stellen.

Mogelijke oplossingen

Idee 1 – oplossing door middel van een vlakke spiegel
Teken bovenop de rechterberg een spiegel. Laat met een lichtstraal vanuit de zon zien dat de spiegel onder de juiste hoek getekend is om de lichtstraal naar het dorp te kaatsen. Maak gebruik van je bevindingen van de hoek van inval en de hoek van terugkaatsing.

Idee 2 – oplossing door middel van een kromme spiegel
Teken bovenop de rechterberg een holle of een bolle spiegel. Laat met meerdere lichtstralen vanuit de zon zien hoe deze lichtstralen in het dorp terecht zouden komen.

Leg uit waarom je gebruik maakt van een holle spiegel of juist van een bolle spiegel.

Colofon

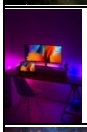
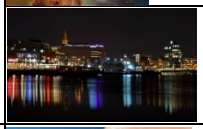
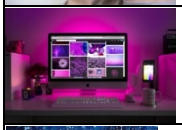
Deze reader is onderdeel van het lesmateriaal dat is ontwikkeld voor het vak natuurkunde bij het Roercollege Schöndeln in Roermond. Dit bestand is onderdeel van een complete lesmethode die het gehele curriculum voor het vak natuurkunde van VWO 2 t/m VWO 6 dekt.
De gehele lesmethode is te vinden op de site https://www.rwi-natuurkunde.nl.

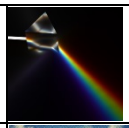
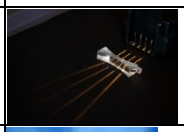
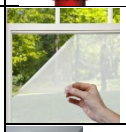
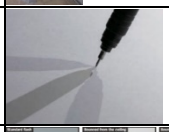
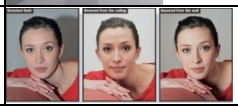
De afbeeldingen die in dit lesmateriaal zijn gebruikt zijn in ruwweg vier groepen te verdelen:

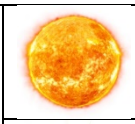
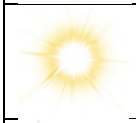
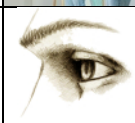
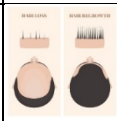
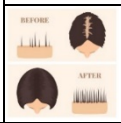
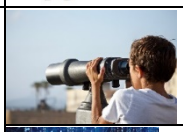
- Afbeeldingen die zelf zijn gemaakt. Deze zijn niet gemarkeerd.
- Afbeeldingen afkomstig uit het publieke domein (creative commons CC0). Hieronder vallen de afbeeldingen van onder andere Pixabay, Pexels, Unsplash en HiClipart. Deze zijn niet gemarkeerd.
- Afbeeldingen die zijn ingekocht bij onder andere iStock, ShutterStock, DepositPhotos en Dreamstime. Deze zijn niet gemarkeerd.
- Afbeeldingen afkomstig uit het publieke domein, maar die onder de creative commons licentie (CC BY) vallen. Deze afbeeldingen zijn gemarkeerd met "©".

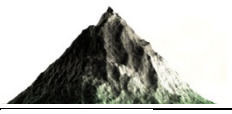
In onderstaande lijst is herkomst en de auteursrechthebbende voor de diverse afbeeldingen weergegeven voor zover die bij mij bekend zijn. Mocht iemand van mening zijn dat er een afbeelding tussen zit waar auteursrecht op zit dan kan dat gemeld worden bij somlrw02@soml.nl.
Afbeeldingen die niet in onderstaande lijst zijn opgenomen zijn geheel zelf gemaakt.

Reader:

Blz.	Afbeelding	Herkomst / auteursrecht
1		UnSplash https://unsplash.com Image credit: Wren Meinberg
		UnSplash https://unsplash.com Image credit: Alexandru Acea
		Shutterstock https://www.shutterstock.com id-nummer: shutterstock_1507097018
		Pixabay https://pixabay.com Image credit: Uwe Jacobs
6		Dreamstime https://nl.dreamstime.com/ id-nummer: dreamstime_m_10910515
		Pixabay https://pixabay.com Image credit: Martin Slavoljubovski
		Pixabay https://www.pexels.com Image credit: Designecologist
		Shutterstock https://www.shutterstock.com id-nummer: shutterstock_762900733

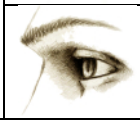
6		iStock https://www.istockphoto.com id-nummer: iStock-1139225463
7		Image credit: Nick Merritt via Flickr https://www.flickr.com CC BY 2.0
		Flickr.com https://www.flickr.com Image credit: Kyle McDonald CC BY-NC-SA 2.0
7		Shutterstock https://www.shutterstock.com id-nummer: shutterstock_1450634522
8		FreeImages https://www.freeimages.com Image credit: thesaint
		Dreamstime https://nl.dreamstime.com/ id-nummer: dreamstime_m_106618498
		Shutterstock https://www.shutterstock.com id-nummer: shutterstock_1450634522
8		HiClipart https://www.hiclipart.com
		HiClipart https://www.hiclipart.com
8		FreeImages https://www.freeimages.com
		Pexels https://www.pexels.com/photo/hand-x-ray-result-207496/ Publiek domein
10		HiClipart https://www.hiclipart.com
		HiClipart https://www.hiclipart.com
13		Bol.com https://www.bol.com Productfoto
		Topglass.be https://www.topglass.be/douchedeuren/ Productfoto
13		https://kaden.watch.impress.co.jp Productfoto
13		https://www.learningwithexperts.com

14		HiClipart https://www.hiclipart.com
		HiClipart https://www.hiclipart.com
		Niet meer teruggevonden.
14		Bol.com https://www.bol.com Productfoto
15		Shutterstock https://www.shutterstock.com id-nummer: shutterstock_2355858637
15 **16** **17** **18** **19**		Niet meer teruggevonden.
18		Bol.com https://www.bol.com Productfoto
18		vkf-renzel.com https://www.vkf-renzel.com Productfoto
19		Shutterstock https://www.shutterstock.com id-nummer: shutterstock_1917946088
20		DepositPhotos https://depositphotos.com id-nummer: Depositphotos_313308864_L
		DepositPhotos https://depositphotos.com id-nummer: Depositphotos_463315198_L
20		HiClipart https://www.hiclipart.com
21		Pixabay https://pixabay.com Image credit: Luisella Planeta
		Shutterstock https://www.shutterstock.com id-nummer: shutterstock_762900733
		DepositPhotos https://depositphotos.com id-nummer: Depositphotos_10871247_L

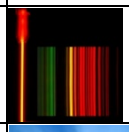
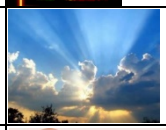
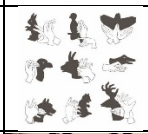
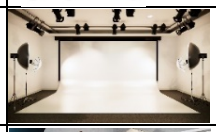
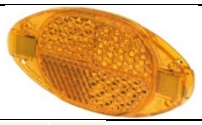
29		iStock https://www.istockphoto.com id-nummer: iStock-1328689113
29		HiClipart https://www.hiclipart.com
		HiClipart https://www.hiclipart.com
		HiClipart https://www.hiclipart.com
		iStock https://www.istockphoto.com id-nummer: iStock-1328689113

Colofon voor ondersteunende bestanden

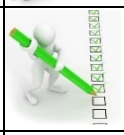
Antwoordbestanden:

Bestand	Afbeelding	Herkomst / auteursrecht
A2		HiClipart https://www.hiclipart.com
A3		HiClipart https://www.hiclipart.com
		HiClipart https://www.hiclipart.com
A4		HiClipart https://www.hiclipart.com
		HiClipart https://www.hiclipart.com
		Niet meer teruggevonden.
A5		Shutterstock https://www.shutterstock.com id-nummer: shutterstock_1917946088
A5		DepositPhotos https://depositphotos.com id-nummer: Depositphotos_313308864_L
		DepositPhotos https://depositphotos.com id-nummer: Depositphotos_463315198_L
A5		HiClipart https://www.hiclipart.com

Weektaken:

Nr.	Afbeelding	Herkomst / auteursrecht
W102		http://hyperphysics.phy-astr.gsu.edu
W103		FreeImages https://www.freeimages.com
W204		HiClipart https://www.hiclipart.com
W205		Shutterstock https://www.shutterstock.com id-nummer: shutterstock_585019654
W206		iStock https://www.istockphoto.com id-nummer: iStock-1220703213
W206		iStock https://www.istockphoto.com id-nummer: iStock-1196171739
W303		HiClipart https://www.hiclipart.com
W304		Dreamstime https://nl.dreamstime.com/ id-nummer: dreamstime_xxl_156690261
W305		HiClipart https://www.hiclipart.com
W404, W405		DepositPhotos https://depositphotos.com id-nummer: Depositphotos_313308864_L

Ondersteunende tekst in reader:

Blz.	Afbeelding	Herkomst / auteursrecht
2		DepositPhotos https://depositphotos.com id-nummer: Depositphotos_34675945_L
3		DepositPhotos https://depositphotos.com id-nummer: Depositphotos_5072119_L
4		DepositPhotos https://depositphotos.com id-nummer: Depositphotos_31075565_L
5		DepositPhotos https://depositphotos.com id-nummer: Depositphotos_123216062_L
24		DepositPhotos https://depositphotos.com id-nummer: Depositphotos_62068743_L
26		DepositPhotos https://depositphotos.com id-nummer: Depositphotos_31075557_L
27		DepositPhotos https://depositphotos.com id-nummer: Depositphotos_6399311_L