

# ***Licht***

***(geometrische optica)***

***Dictaat klas 3HV***



# Licht

## (geometrische optica)

Dictaat klas 3HV

<b>Inhoud</b>	bladzijde
– Bronvermelding	2
§ 1 Inleiding	3
§ 2 Het oog	4
§ 3 Zien – terugkaatsing (reflectie)	5
§ 4 Kleur	6
§ 5 Lichtbundels, schaduwvorming	7
§ 6 Spiegelbeelden	8
§ 7 Lenzen (1)	10
§ 8 Breking	12
§ 9 Totale terugkaatsing	13
§ 10 Lenzen (2) – beeldvorming: de lensformule, vergroting	15
§ 11 Lenzen (3) – beeldvorming: constructies	18
§ 12 De fotocamera	21
§ 13 Tot slot: wat is licht?	22
– Werkbladen	23 en verder

Juli 2023

### Bronnen:

Voorblad: *Magic Glasses*, Edwin Romanzo Elmer (1850-1923): [https://commons.wikimedia.org/wiki/File:Magic\\_glasses.jpg](https://commons.wikimedia.org/wiki/File:Magic_glasses.jpg)

Blz.

3, 12, 13, 22

Bouwens, ir. R.E.A. e.a. (2013). *BINAS, informatieboek havo/vwo voor het onderwijs in de natuurwetenschappen* (6<sup>e</sup> editie). Groningen: Noordhoff Uitgevers. ISBN 978-90-01-81749-7.

3 Examen natuurkunde-1 Havo, 2001 1e tijdvak

4 [https://commons.wikimedia.org/wiki/File:Eye\\_scheme\\_multilingual.svg](https://commons.wikimedia.org/wiki/File:Eye_scheme_multilingual.svg) (bewerkt)

6 <https://commons.wikimedia.org/wiki/File:Spectrum4websiteEval.png> en

[https://commons.wikimedia.org/wiki/File:Dispersion\\_prism.jpg](https://commons.wikimedia.org/wiki/File:Dispersion_prism.jpg)

<https://www.surendranath.org>

12 <https://commons.wikimedia.org/wiki/File:Refraction-with-soda-straw.jpg>

15 [https://commons.wikimedia.org/wiki/File:TIR\\_in\\_PMMA.jpg](https://commons.wikimedia.org/wiki/File:TIR_in_PMMA.jpg)

21 [https://commons.wikimedia.org/wiki/File:Camera\\_video.PNG](https://commons.wikimedia.org/wiki/File:Camera_video.PNG)

[https://commons.wikimedia.org/wiki/File:Camera\\_obscura\\_1.jpg](https://commons.wikimedia.org/wiki/File:Camera_obscura_1.jpg)

[https://commons.wikimedia.org/wiki/File:Rolleiflex\\_camera.jpg](https://commons.wikimedia.org/wiki/File:Rolleiflex_camera.jpg)

[https://commons.wikimedia.org/wiki/File:Kodak\\_Stereo\\_Camera.jpg](https://commons.wikimedia.org/wiki/File:Kodak_Stereo_Camera.jpg)

[https://www.panasonic.nl/html/nl\\_NL/index\\_NL/index.html](https://www.panasonic.nl/html/nl_NL/index_NL/index.html)

[https://commons.wikimedia.org/wiki/File:Diaphragm\\_iris\\_types.svg](https://commons.wikimedia.org/wiki/File:Diaphragm_iris_types.svg)

22 <https://www.strw.leidenuniv.nl/~israel/univlif.pdf>

<https://hubblesite.org/>

21,28 [https://commons.wikimedia.org/wiki/File:Reflex\\_camera\\_numeric.svg](https://commons.wikimedia.org/wiki/File:Reflex_camera_numeric.svg)

Applets, filmpjes: zie de bronvermeldingen op de betreffende pagina's van <https://bruningonline.nl>



Op dit dictaat rust een Creative Commons Licentie: *Naamsvermelding-Niet-commercieel-Gelijk delen 3.0 Nederland*. Om de licentie te bekijken klikt u hieronder. Gebruik als bronvermelding: 'https://bruningonline.nl'.  
[Creative Commons](https://creativecommons.org/licenses/by-nc-sa/3.0/nl/)

# 1 Inleiding

Licht is doodgewoon en tegelijk heel bijzonder. Spiegelbeelden, schaduwen – iedereen weet ervan. Maar zons- en maansverduisteringen spreken al sinds de oudheid tot de verbeelding. En hoe snel gaat licht, en waar komen kleuren vandaan?

Dit dictaat gaat over het natuurverschijnsel licht. Het sluit aan bij wat je uit de biologielessen al weet over het oog. Daarna leer je de werking van spiegels en lenzen nauwkeurig te beschrijven. Zo nauwkeurig, dat je er ook aan kunt rekenen. Met die kennis kun je precies begrijpen wat de ooglenzen doet. En waarom sommige mensen een bril nodig hebben, en hoe een fotocamera werkt.

Je vindt in dit dictaat theorie, proeven en opgaven. De applets die worden genoemd staan op de natuurkundesite, evenals de filmpjes. Extra stof is aangegeven met E.

In de volgende tabel staan de belangrijkste begrippen en formules.

Begrip	Omschrijving, definitie	Formule
Lichtsnelheid ( $c$ )	De voortbewegingssnelheid van licht. $c = 3,00 \cdot 10^8$ m/s in lucht en vacuüm. In andere doorzichtige stoffen, zoals glas en perspex, is $c$ kleiner.	--
Normaal Invalshoek ( $i$ ) Terugkaatsinghoek ( $t$ ) Brekingshoek ( $r$ )	Loodrechte hulplijn op een grensvlak. Hoek tussen de normaal en de invallende lichtstraal. Hoek tussen de normaal en de teruggekaatste lichtstraal. Hoek tussen de normaal en de gebroken lichtstraal.	--
Absorptie	Licht dat door een voorwerp niet wordt doorgelaten en ook niet wordt teruggekaatst, wordt geabsorbeerd. De stralingsenergie wordt dan omgezet in andere vormen van energie, meestal warmte.	--
Terugkaatsing (reflectie)	<i>Diffuse</i> terugkaatsing: terugkaatsing tegen een ruw oppervlak, in alle richtingen. Ook wel: verstrooiing. Gekleurde voorwerpen kaatsen wit licht selectief terug.  <i>Spiegelende</i> terugkaatsing: terugkaatsing tegen een zeer glad oppervlak, in één richting.	--  $i = t$
Doorlating	Doorzichtige voorwerpen laten licht door. Bijna altijd wordt het licht dan gebroken.	--
Breking (refractie)  Brekingsindex ( $n$ )	Verandering van de voortbewegingsrichting van licht op de grens van twee doorzichtige voorwerpen.  Materiaalconstante die aangeeft hoe sterk een doorzichtige stof het licht breekt. Hoe groter de brekingsindex, hoe sterker de breking. Heeft geen eenheid.	<i>Vanuit lucht</i> : $\frac{\sin i}{\sin r} = n$  <i>Naar lucht</i> : $\frac{\sin i}{\sin r} = \frac{1}{n}$  $n = \frac{c_1}{c_2}$
Lens  Lenssterkte ( $S$ )  Lensformule  Vergroting ( $N$ )	Een bol of hol stuk doorzichtig glas of plastic. Een bolle of positieve lens <i>convergeert</i> invallend licht. Een holle of negatieve lens <i>divergeert</i> invallend licht.  Getal dat aangeeft hoe sterk een lens het licht breekt. Eenheid: dioptrie.  Formule die beeldvorming door lenzen beschrijft.  Getal dat aangeeft hoeveel keer een beeld groter is dan het origineel. Heeft geen eenheid.	--  $S = \frac{1}{f}$ met $f$ = brandpuntsafstand in m  $\frac{1}{v} + \frac{1}{b} = \frac{1}{f}$ met: • $v$ = voorwerpsafstand, • $b$ = beeldsafstand, • beide afstanden in m  $N = \frac{\text{lengte beeld}}{\text{lengte origineel}}$ of $N = \frac{b}{v}$

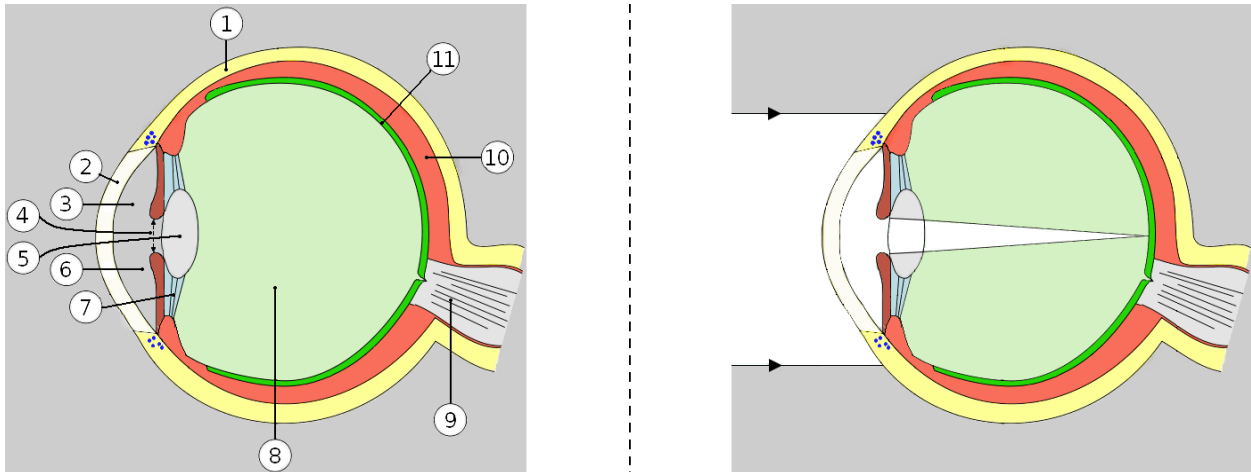


## 2 Het oog

Je weet al een en ander over de bouw en de werking van het menselijk oog. Daarom kun je deze paragraaf zelfstandig maken en leren. Dat kan individueel of met een paar klasgenoten. Een voordeel van werken met een groepje is dat je het werk kunt verdelen. Voorwaarde is wel dat uiteindelijk iedereen alles heeft genoteerd en alles snapt.

Vragen stellen aan de docent kan natuurlijk altijd. Zie ook de applets op de natuurkundesite.

Hieronder zie je twee keer een schematische doorsnede van het menselijk oog.



### Opgaven

- Zie de linkerfiguur en vul in.
  - Pupil : nummer .....; functie: .....
  - Iris : nummer .....; functie: .....
  - Ooglens : nummer .....; functie: .....
  - Netvlies : nummer .....; functie: .....
- In de rechterfiguur valt er een evenwijdige, witte lichtbundel op het oog.
  - Welk onderdeel van het oog maakt van die bundel een scherp punt op het netvlies?
  - Omschrijf met zo weinig mogelijk woorden wat dat onderdeel met de evenwijdige lichtbundel doet.

### Proef 1: scherp stellen

Houd je hand op ca. 30 cm voor je ogen, met gespreide vingers. Zorg dat je door je vingers heen iets ver weg kunt zien, bijvoorbeeld een flatgebouw.

- Stel je ogen scherp op je vingers. Merk op dat je nu het flatgebouw niet scherp ziet.
- Stel nu scherp op het flatgebouw. Ga na dat nu je vingers onscherp zijn.

### Conclusie uit proef 1

Je ogen kunnen scherp stellen op dichtbij *of* op veraf. *Tegelijk* dichtbij en veraf scherp zien kan niet.

Het *nabijheidspunt* is de kortste afstand voor je ogen waarop je nog scherp kunt zien. Een goed functionerend oog heeft een nabijheidspunt rond 30 cm en kan dus scherp stellen vanaf 30 cm tot 'oneindig' ver.

### Opgave

- Dichtbij of ver weg – accommoderen
  - Leg uit dat een lichtbundel die afkomstig is van een voorwerp in de verte, bij het oog vrijwel recht is.
  - Is het oog in de rechterfiguur bovenaan dus ingesteld op dichtbij scherp zien of juist op ver weg?
  - Leg uit dat een lichtbundel die afkomstig is van een voorwerp dichtbij (bijvoorbeeld een letter op deze bladzij), naar het oog toe steeds wijder wordt (je noemt dat *divergent*).
  - Leg uit of de ooglens bij het lezen sterker moet zijn dan in de rechterfiguur of juist minder sterk.
  - Zoek uit wat *accommoderen* is en hoe je je ogen scherp stelt op dichtbij of juist op veraf.

### 3 Zien – terugkaatsing (reflectie)

#### Proef 2: zien

In het klaslokaal hangt een wit projectiescherm. Als het lokaal is verduisterd zie je het scherm niet of nauwelijks. Als je het scherm met een beamer of een lamp beschijnt ziet iedereen het duidelijk.

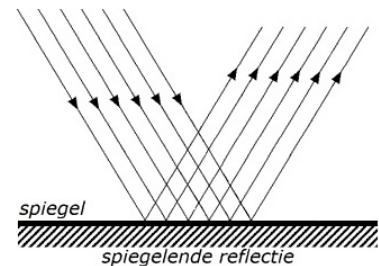
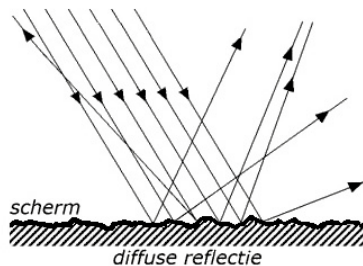
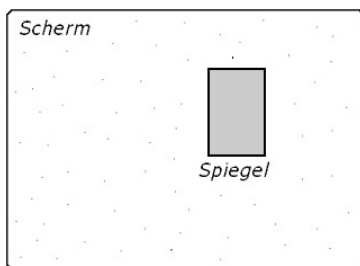
#### Conclusie uit proef 2

Je ziet een niet-lichtgevend voorwerp alleen als er licht op valt.

#### Verklaring van proef 2 – diffuse reflectie

Het scherm kaatst het lamplicht terug. Het teruggekaatste licht bereikt je ogen: dan zie je het scherm. Het schermoppervlak lijkt glad, maar nauwkeuriger bekeken is het toch ruw. Daardoor kaatst het schermoppervlak het beamerlicht in alle richtingen terug. Omdat het licht in alle richtingen wordt teruggekaatst ziet iedereen het, overal in het lokaal.

*Diffuse reflectie is terugkaatsing tegen een ruw oppervlak, in alle richtingen. Ook wel: verstrooiing. Voorwerpen kun je zien doordat ze buitenlicht of kunstlicht diffuus reflecteren.*



#### Proef 3: een spiegel

Hang een kleine, vlakke spiegel tegen het witte projectiescherm, niet in het midden. Beschijn scherm plus spiegel weer met een lamp of een beamer, zodat iedereen in het lokaal het kan zien (zoals bij proef 2).

- Bijna iedereen ziet de spiegel *donker* afsteken tegen het scherm. Slechts een paar mensen zien hem juist erg licht.
- Sproei met een plantenspuit een laagje kleine waterdruppeltjes op de spiegel. Beschijn dan het scherm plus de spiegel opnieuw. Nu ziet iedereen de spiegel *licht* (en het scherm).

#### Verklaring van proef 3 – spiegelende reflectie

- Het oppervlak van de spiegel is heel, heel glad: letterlijk *spiegelglad*. Daardoor kaatst het spiegeloppervlak het licht maar in één richting terug. Je noemt dat *spiegelende reflectie*. Alleen de mensen die (toevallig) in de richting van de teruggekaatste lichtbundel zitten zien de spiegel licht.
- Met een laagje waterdruppeltjes is het spiegeloppervlak niet meer glad. Dan weerkaatst de spiegel het licht niet meer spiegelend maar diffuus, waardoor iedereen in het lokaal de spiegel licht ziet.

*Spiegelende reflectie is terugkaatsing tegen een zeer glad oppervlak, in één richting.*

#### Opgaven

- Verklaar dat je in een stilstaand wateroppervlak kunt spiegelen en in een bewegend wateroppervlak niet.
  - Verklaar dat je in een heldere etalageruit kunt spiegelen en in een beslagen etalageruit niet.
- Spiegels voor huishoudelijk gebruik zijn van glas, met op de achterkant een laagje metaal. Industriële spiegels zijn van massief, gepolijst metaal.
  - Waarom moet het metaal gepolijst worden?

Bij natuurwetenschappelijk onderzoek en in de industrie gebruikt men massieve, metalen spiegels omdat je in glazen spiegels een dubbele terugkaatsing krijgt.

- Verklaar die dubbele terugkaatsing.

## 4 Kleur

Een *spectroscop* is een onderzoeksinstrument waarmee je licht nauwkeurig kunt bestuderen. In een spectroscop zit vaak een prisma. Dat is een driehoekig stuk glas.

De zon is een natuurlijke lichtbron – elke ster is een natuurlijke lichtbron. De maan niet, de maan weerkaatst zonlicht. Lampen zijn kunstmatige lichtbronnen.

### Proef 4: spectroscop

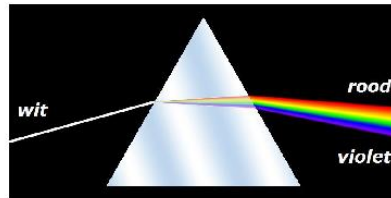
Bestudeer het licht van verschillende lichtbronnen met een spectroscop en/of met een cd.

### Conclusie uit proef 4

Wit licht is samengesteld uit verschillende kleuren. Samen geven die wit als kleurindruk.

### Het spectrum – de verschillende kleuren licht

Blijkbaar is wit zélf geen echte kleur maar een optelsom van alle kleuren. Als je met een spectroscop of een cd goed kijkt zijn dat rood, oranje, geel, groen, blauw, (indigo) en violet. Die verzameling kleuren heet het *zichtbare spectrum*, kortweg het spectrum. De spectroscop en de cd splitsen het witte licht dus in de *spectrale kleuren*. Omgekeerd krijg je wit licht als je licht van alle spectrale kleuren mengt.



Een cd en een prisma



Het spectrum

rood oranje geel groen blauw violet

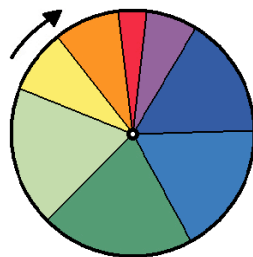
### Gekleurde voorwerpen

Een gekleurd, ondoorzichtig voorwerp kaatst wit buitenlicht of lamplicht selectief terug: alleen zijn eigen kleur. Een rood voorwerp bijvoorbeeld kaatst alleen het rood terug. De andere kleuren uit het witte licht worden geabsorbeerd. Via het voorwerp bereikt dus alleen rood licht je ogen. Daarom zie je het voorwerp rood.

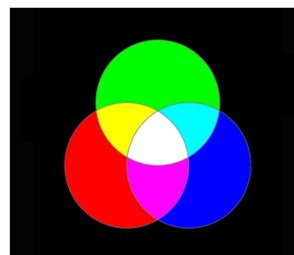
### Proef 5: draaiende kleurenschijf

Zie de figuur hier linksonder: een ronde, platte schijf is verdeeld in een aantal delen. Elk deel heeft een andere kleur. Alle kleuren van het spectrum komen voor.

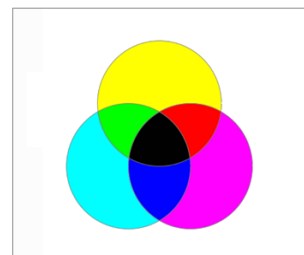
Laat de schijf met behulp van een elektromotor heel snel ronddraaien. Je ziet dat hij dan grijs lijkt.



Draaiende  
kleurenschijf



Licht mengen



Verf mengen

### Verklaring van proef 5

Het rode deel van de schijf kaatst alleen rood terug en absorbeert de andere kleuren. Het groene deel kaatst alleen groen terug en absorbeert de rest. Zoiets geldt voor elk gekleurd deel. Al met al kaatst de schijf dus alle kleuren terug en absorbeert ze tegelijk ook. Als je hem heel snel ronddraait zie je de gekleurde delen niet meer afzonderlijk maar alleen het totale resultaat: het midden tussen alles terugkaatsen (wit) en alles absorberen (zwart), dus grijs.

### De blauwe hemel en de gele zon

Zonlicht is eigenlijk wit, want alle kleuren zitten erin. Dat wij de zon geel zien komt doordat het blauwe en het violette deel van het zonlicht tegen de deeltjes (moleculen, atomen) van de dampkring worden verstrooid. De dampkring zien we daardoor lichtblauw ('hemelsblauw', een mengsel van blauw en violet). Van het witte zonlicht bereiken dus alleen de kleuren rood, oranje geel en groen *rechtstreeks* onze ogen. Samen zijn die kleuren geel. Bij op- en ondergaande zon is dat effect sterker en wordt de zon zelfs oranjerood.

### Licht mengen en verf mengen

Lichtkleuren mengen is wat anders dan verfkleuren mengen. Alle kleuren licht worden samen wit, alle kleuren verf worden samen zwart. Licht mengen is *additief* mengen, verf mengen is *subtractief* mengen.

### **Opgaven**

- Bestudeer het verschil tussen licht mengen en verf mengen met de applet [Kleuren mengen](#) op de natuurkundesite. Geef een verklaring voor het verschil.
- Je kijkt door een stuk groen glas naar het witte licht van een lamp.
  - Welke kleur lijkt het lamplicht nu te hebben?
  - Leg je antwoord op vraag a uit.
- Leg uit hoe de Nederlandse vlag er uit ziet in:
  - rood licht.
  - wit licht.
  - blauw licht.
  - groen licht.
- Leg uit of er ook zwart licht bestaat.

## **5 Lichtbundels, schaduwvorming**

### Proef 6: laserlicht

*Waarschuwing: pas op met laserlicht! Kijk niet rechtstreeks in de bundel!*

- Laat laserlicht vanaf een paar meter op een muur vallen. Je ziet de laser, een lichte stip op de muur en daartussen niets bijzonders.
- Strooi wat poeder of krijtstof in de baan van het laserlicht. Je ziet nu ook de laserbundel, vanaf de laser tot aan de stip op de muur.

### Verklaring van proef 6

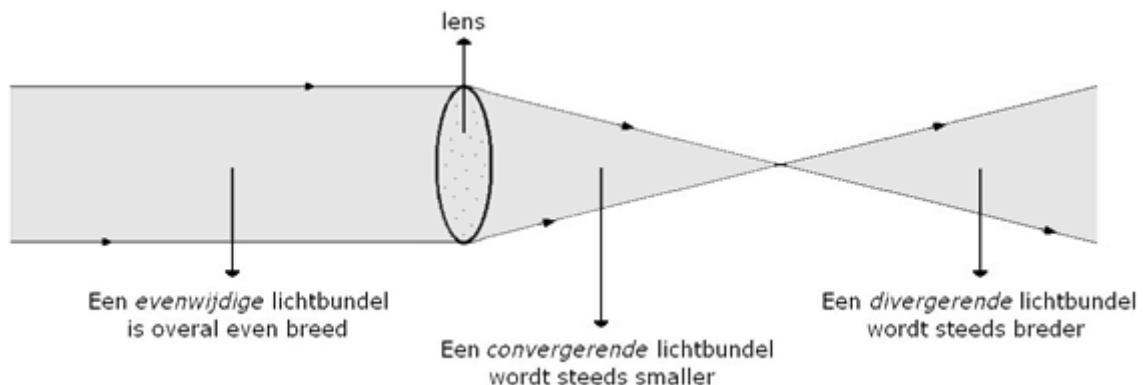
- Het laserlicht gaat vanaf de laser langs een rechte lijn naar de muur. Het komt dus niet rechtstreeks in je ogen (gelukkig maar...) waardoor je het niet ziet. Tegen de muur wordt het licht diffuus weerkaatst, zodat een deel van het laserlicht via de muur je ogen wel bereikt en je een stip op de muur ziet.
- Ook de poederkorreltjes weerkaatsen het laserlicht diffuus. Dan zie je dus de hele bundel.

### Conclusie uit proef 6

Licht beweegt zich voort langs rechte lijnen.

### Soorten lichtbundels

Omdat licht zich langs rechte lijnen voortbeweegt zijn er drie soorten lichtbundels. Zie de figuur hieronder. Een licht*straal* is een heel smalle, evenwijdige lichtbundel.





### Proef 7: lichtbundels

Maak de drie lichtbundels zichtbaar met een lichtkastje en een bolle lens.

### Schaduwvorming

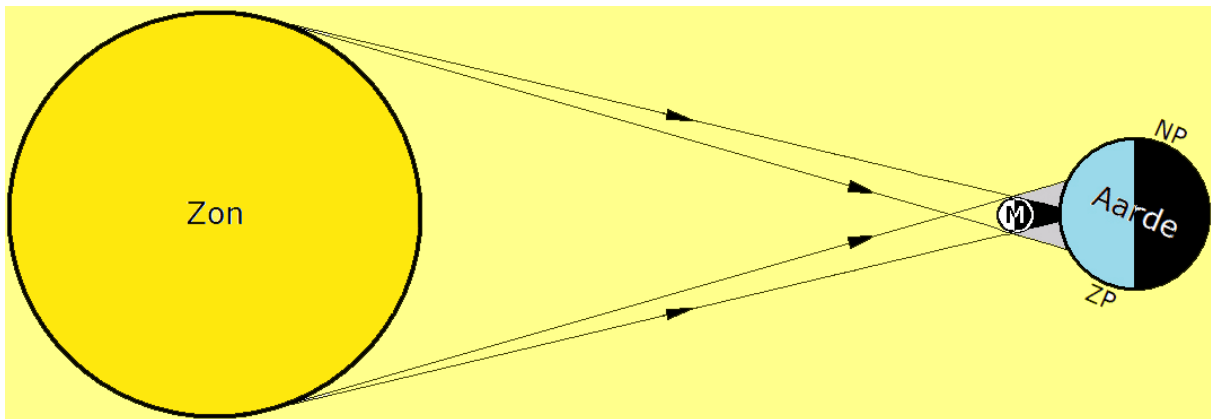
Achter een ondoorzichtig voorwerp ontstaat een donkere plek: schaduw. Licht beweegt zich immers rechtlijnig voort, dus kan niet achter het voorwerp komen. Als de lichtbron vergeleken met het voorwerp klein is, dan is de schaduw scherp begrensd. Anders heeft de schaduw onscherpe randen. Er is dan kernschaduw en halfschaduw. In de kernschaduw is het helemaal donker. Aan de rand, in de halfschaduw, komt nog een deel van het licht.

### Proef 8: schaduwen

Maak kern- en halfschaduw zichtbaar met een brede lichtbundel uit een lichtkastje en een ondoorzichtig voorwerp.

### Opgaven

10. a. De lichtbundels uit de koplampen van een auto zie je niet. Je ziet wel twee lichte plekken op het wegdek. Verklaar dat.  
b. Verklaar dat je bij mist de lichtbundels wel ziet.
11. Leg uit dat een kleine spaarlamp scherpere schaduwen geeft dan een grote tl-buis.
12. Hieronder zie je een schematische tekening van een zonsverduistering (niet op schaal). M is de maan.
  - a. Verklaar het ontstaan van de zonsverduistering.
  - b. Verklaar dat het middengebied van de zonsverduistering helemaal donker is en de rand half.



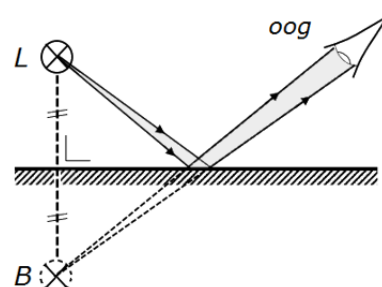
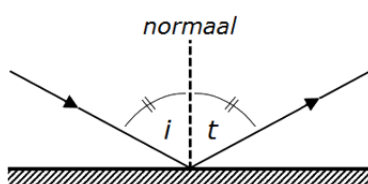
## 6 Spiegelbeelden

Een glasplaat, een stil wateroppervlak, een gepolijste metalen plaat – je kunt je in hun gladde oppervlak spiegelen. Elke spiegel heeft een heel glad oppervlak, letterlijk *spiegelglad*. Zie de figuur bij paragraaf 3: zo'n glad oppervlak kaatst invallend licht maar in één richting terug. Je noemt dat *spiegelende terugkaatsing* of *spiegelende reflectie*.

### De spiegelwet

Zie de linkerfiguur hieronder. Om spiegeling goed te kunnen beschrijven teken je in het punt waar een lichtstraal de spiegel treft een loodrechte hulplijn: zo'n loodrechte hulplijn noem je een *normaal*. De hoek tussen de invallende lichtstraal en de normaal heet de *invalshoek* ( $i$ ). De spiegel kaatst de lichtstraal nu zó terug, dat de *terugkaatsingshoek* ( $t$ ) altijd even groot is als de invalshoek. Dit is dus de spiegelwet:

**invalshoek = terugkaatsingshoek:  $i = t$**





### Hoe ontstaat een spiegelbeeld?

In de rechterfiguur op de vorige bladzij zie je hoe het spiegelbeeld van een lampje  $L$  ontstaat. Van het licht dat het lampje geeft zijn twee lichtstralen getekend. Die begrenzen een lichtbundel.

De lichtstralen worden door de spiegel teruggekaatst volgens  $i = t$ . Daardoor lijkt de bundel na terugkaatsing niet uit  $L$  te komen maar uit een punt  $B$ , dat even ver *achter* de spiegel ligt als  $L$  er voor. Een waarnemer (het oog) denkt daarom dat het licht uit  $B$  komt: hij ziet immers in  $B$  een lampje. Toch is die conclusie fout: het licht komt via de spiegel uit het echte lampje  $L$ , niet uit  $B$ . Spiegelen leidt dus tot gezichtsbedrog.

$B$  is het spiegelbeeld van  $L$ . Dat spiegelbeeld is *virtueel* want je kunt het niet op een scherm opvangen.

### Proef 9: spiegelbeeld

Zet een stukje vensterglas verticaal in een houder op tafel. Zet er een brandend waxinelichtje voor, op 10 cm van het glas. Leg op de plaats van het spiegelbeeld, dus achter het glas, een klein voorwerpje neer (bijvoorbeeld een gummetje). Meet de afstand van het voorwerpje tot het vensterglas.

### Conclusie uit proef 9

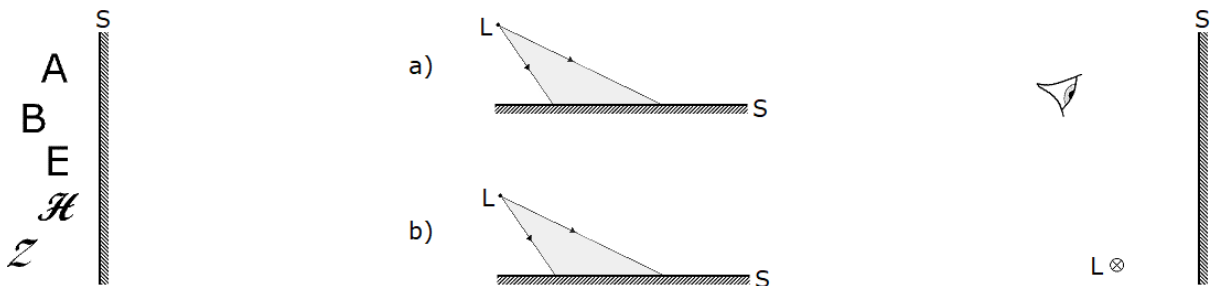
Een spiegelbeeld bevindt zich even ver achter de spiegel als het origineel er voor.

### Opgaven

*Construeren* betekent in de optica: *heel nauwkeurig tekenen*. Met een scherp geslepen potlood en een geodriehoek dus.

Bij opgaven met een hokje om het nummer hoort een werkblad, achter in dit dictaat.

13. Een evenwijdige lichtbundel van 1 cm breed valt onder een hoek van  $40^\circ$  op een spiegel.
- Teken de situatie.
  - Construeer de teruggekaatste lichtbundel.



14. Zie de linkerfiguur hierboven (en op het werkblad).  $S$  is een spiegel.

– Construeer de spiegelbeelden van de letters.

15. Zie de twee middelste figuren hierboven (en op het werkblad).  $L$  is een lampje,  $S$  is een spiegel.

a. Construeer in figuur a de teruggekaatste lichtbundel met behulp van de spiegelwet.

b. Construeer in figuur b de teruggekaatste bundel vanuit het spiegelbeeld van  $L$ .

16. Zie de rechterfiguur hierboven (en op het werkblad).  $L$  is een lampje,  $S$  is een spiegel.

– Construeer de lichtbundel die vanuit het lampje via de spiegel het oog treft.

17. Spiegelbeeld

Je vriendin is 1,65 m lang. Ze staat voor een wandspiegel. De bovenrand van de spiegel is precies 1,65 m boven de grond. Je vriendin kan zich van top tot teen spiegelen.

a. Teken de situatie.

b. Bepaal met een constructie de hoogte van de spiegel.

- E 18. De hoogte van een toren

Met een klein spiegeltje kun je de hoogte van een toren bepalen. Leg het spiegeltje op zekere afstand van de toren op de grond, bijvoorbeeld op 30 m. Zorg dat het horizontaal ligt. Ga nu achter het spiegeltje staan, in lijn met het spiegeltje en de toren. Meet hoe ver je achter het spiegeltje moet staan om het spiegelbeeld van de top van de toren te kunnen zien. Dat is bijvoorbeeld 1,2 m. Meet ook hoe hoog je ogen boven de grond zijn, bijvoorbeeld 1,6 m.

a. Teken de situatie.

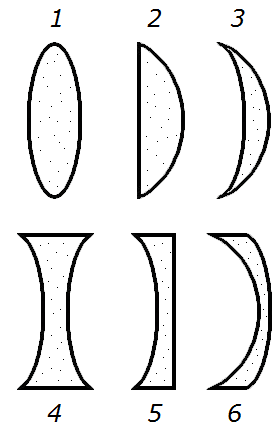
b. Bereken de hoogte van de toren.

## 7 Lenzen (1)

### Twee soorten lenzen

Een lens is een doorzichtig voorwerp, vaak van glas of perspex, met een speciale vorm. Er zijn twee soorten:

- Bolle lenzen. Die zijn in het midden dikker dan aan de rand. Ze heten ook positief of convergerend.
- Holle lenzen. Die zijn in het midden dunner dan aan de rand. Ze heten ook negatief of divergerend.



### Opgave

19. Ga na welke lenzen uit de figuur hiernaast hol zijn en welke bol.

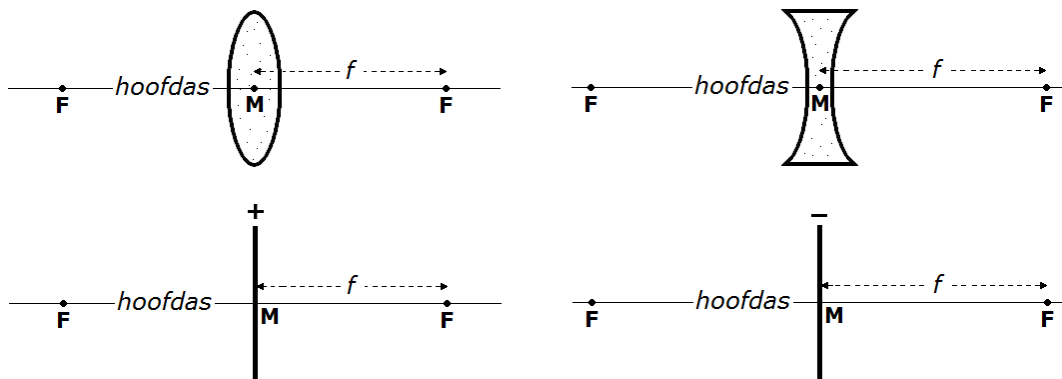
### Proef 10: lichtbundels, soorten lenzen, brandpunten

Je hebt een lichtkastje, een bolle lens en een holle lens.

- Laat loodrecht op de bolle lens een evenwijdige lichtbundel vallen.
  - Ga na dat de bolle lens een convergerende werking heeft.
- Laat loodrecht op de holle lens een evenwijdige lichtbundel vallen.
  - Ga na dat de holle lens een divergerende werking heeft.

Bij proef 10 zie je dat de bolle lens een evenwijdige lichtbundel naar één punt convergeert. Dat punt heet het (*hoofd*)*brandpunt* van de lens en wordt afgekort met de letter *F*. Een holle lens doet het tegenovergestelde: die maakt een evenwijdige lichtbundel divergerend. Die divergerende bundel lijkt uit één punt te komen. Ook dat punt noem je het (*hoofd*)*brandpunt*. Elke lens heeft twee hoofdbrandpunten, aan elke kant van de lens één.

Zie de figuur hieronder. Vaak teken je een lens schematisch, als een dikke lijn. Bij een bolle lens staat daar een plusteken boven, bij een holle lens een minteken. De denkbeeldige lijn door de twee hoofdbrandpunten en het midden van de lens heet de *hoofdas*. De *brandpuntsafstand* wordt afgekort met *f*.



### Proef 11: lenssterkte

- Neem een lichtkastje en twee bolle lenzen, de een boller dan de ander. Laat loodrecht op elke lens een evenwijdige lichtbundel vallen.
  - Ga na dat de bolste lens de sterkste convergerende werking heeft.
- Neem nu twee holle lenzen, de een holler dan de ander. Laat loodrecht op elke lens een evenwijdige lichtbundel vallen.
  - Ga na dat de holste lens de sterkste divergerende werking heeft.

Bij proef 11a en 11b zie je dat de sterkste lens de kleinste brandpuntsafstand heeft. Een opticien drukt de sterkte van brillenglazen en contactlenzen uit in een getal, de lenssterkte (*S*). De eenheid is dioptrie (dpt).

*De lenssterkte (S) is een getal dat aangeeft hoe sterk een lens het licht breekt.*

De lenssterkte bereken je met deze formule:

$$S = \frac{1}{f}$$

- *f* in meter (*m*) en *S* in dioptrie (*dpt*).
- Een bolle lens heeft een positieve sterkte, een holle lens een negatieve.

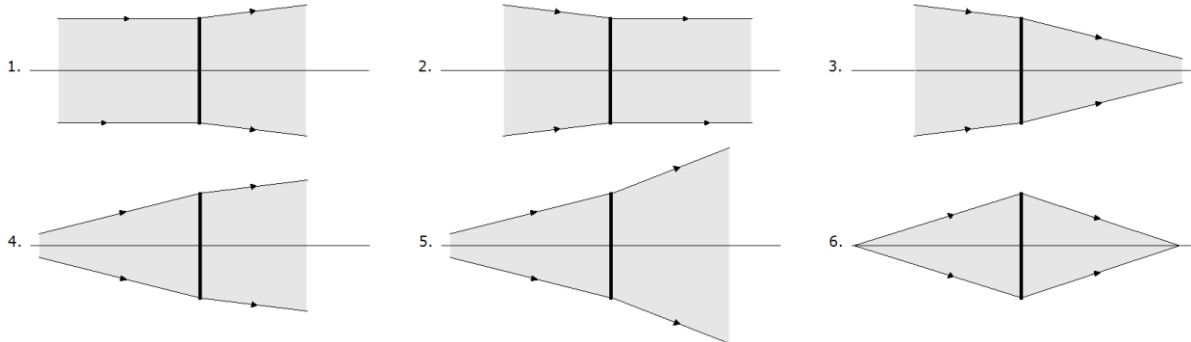
### Hoe komt dat?

Elke bolle lens heeft een convergerende werking, elke holle lens een divergerende. Hoe komt dat? Voor het antwoord op die vraag moet je eerst iets weten van *lichtbreking*. Lichtbreking wordt besproken in §8. In §10 worden lenzen verder besproken. Daar wordt ook de werking van lenzen verklaard.

### Opgaven

#### 20. Bol of hol?

Ga van elk van de zes lenzen hieronder na of hij bol of juist hol is.



21. Halverwege de vorige bladzij staat een figuur met twee lenzen, links een bolle en rechts een holle. De schaal van die figuur 1 : 2.

- Ga zonder berekening na welke lens uit die figuur de sterkste is: de bolle of juist de holle?
- Bepaal van elke lens de sterkte.

#### 22. De sterkte van een bril

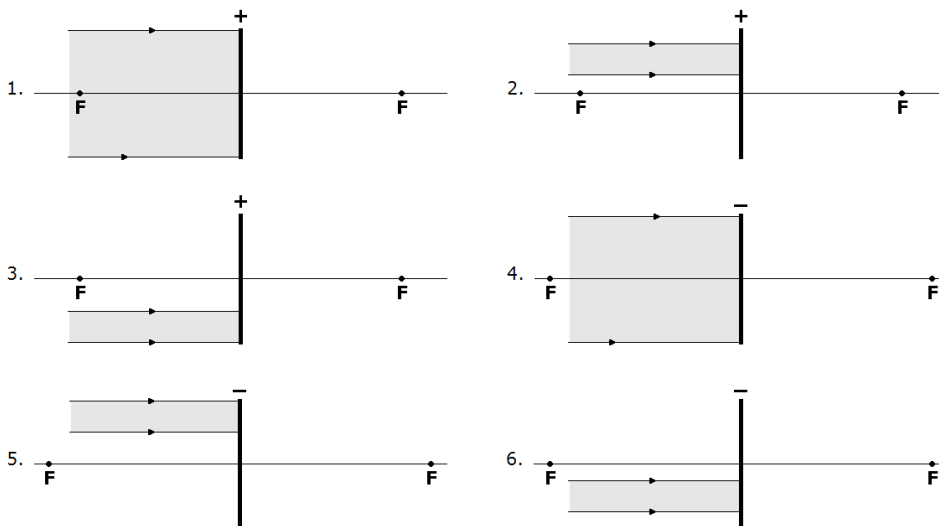
Hendrik heeft een bril met glazen van +1,5 dpt. Fatima heeft contactlenzen van -2,0 dpt.

- Zijn de brillenglazen van Hendrik bol of juist hol? En de contactlenzen van Fatima?
- Bereken de brandpuntsafstand van de brillenglazen en die van de contactlenzen.

#### 23. Constructies

Hieronder zie je zes keer een lichtbundel die een lens treft.

- Construeer in elke figuur (op het werkblad) de verdere loop van de lichtbundel.



#### 24. Oogafwijkingen - bijziend en verziend

a. Stel dat de ooglenzen te bol zou zijn.

- Leg nauwkeurig uit wat er dan in het oog zou gebeuren.
- Leg uit of er positieve of juist negatieve brillenglazen (contactlenzen) nodig zijn.
- Zoek uit of iemand met te bolle ooglenzen bijziend is of juist verziend.

b. Stel dat de ooglenzen niet bol genoeg zou zijn.

- Leg nauwkeurig uit wat er dan in het oog zou gebeuren.
- Leg uit of er positieve of juist negatieve brillenglazen (contactlenzen) nodig zijn.
- Zoek uit of iemand met ooglenzen die niet bol genoeg kunnen worden bijziend is of juist verziend.

## 8 Breking

Bekijk het filmpje [Lichtbreking aan een wateroppervlak](#) op de website.

### Wat is breking?

Op de grens van twee doorzichtige stoffen kan een lichtstraal van richting veranderen. Je noemt dat *lichtbreking*, kortweg *breking*.

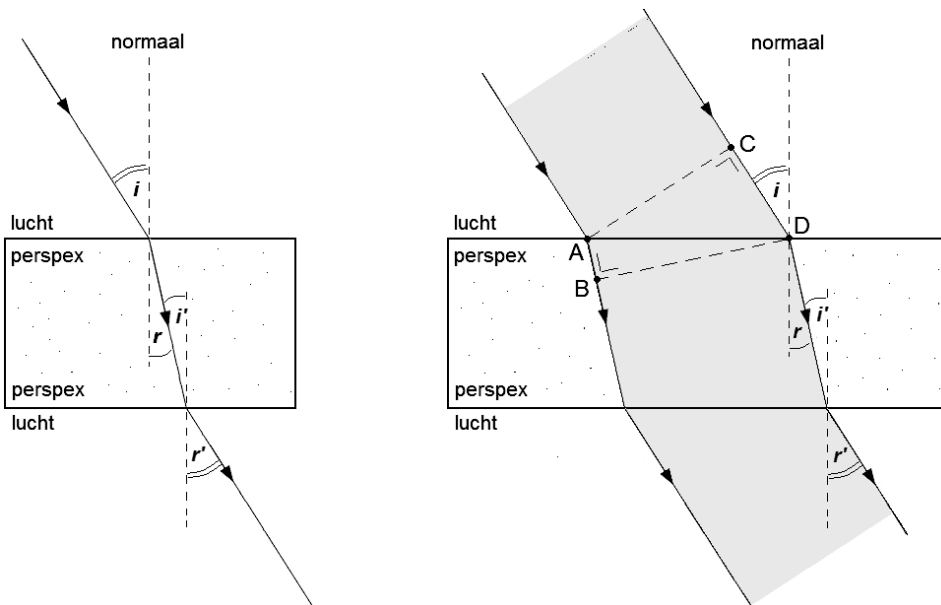
Door die verandering van richting zie je een voorwerp op een plaats waar het niet is. Zie bijvoorbeeld de foto hiernaast. In de vloeistof zie je het rietje op de verkeerde plek. Opnieuw gezichtsbedrog dus.



### De oorzaak van breking

Licht gaat ontzettend snel: de lichtsnelheid in lucht is (bijna)  $3,00 \cdot 10^8$  m/s. Door andere doorzichtige stoffen, zoals glas, perspex en water, is de lichtsnelheid kleiner (maar nog steeds heel groot). In perspex bijvoorbeeld  $2,00 \cdot 10^8$  m/s. Dat verschil van snelheid is de oorzaak van breking.

De linkerfiguur hieronder geeft een schematische voorstelling van breking. Een lichtstraal valt vanuit lucht schuin op een grensvlak tussen lucht en perspex. Je ziet dat daar de lichtstraal van richting verandert: hij breekt *naar de normaal toe*. Aan de onderkant van het perspex blok breekt de lichtstraal *van de normaal af* en loopt hij weer in de oorspronkelijke richting. Alleen is hij nu iets verschoven.



In de rechterfiguur is de lichtstraal sterk vergroot. Zo kun je zien hoe de breking ontstaat. De linkerkant van de lichtstraal is het eerst in het perspex, bij punt A. In het perspex is de lichtsnelheid kleiner. Dus als de rechterkant van de lichtstraal in lucht afstand CD aflegt, legt in dezelfde tijdsduur de linkerkant van de lichtstraal, die al in het perspex is, een kleinere afstand af: AB. Daardoor 'trekt de lichtstraal scheef'. Dat is nu precies breking.

Zie ook de applet [Breking van golven](#) op de natuurkundesite.

### Brekingsindex, brekingswet (wet van Snellius)

Licht wordt niet door elke doorzichtige stof even sterk gebroken. Water breekt licht minder sterk dan perspex, glas juist sterker, diamant veel sterker.

*De brekingsindex (n) van een doorzichtige stof geeft aan hoe sterk die stof het licht breekt. Hoe groter de brekingsindex, hoe sterker de breking.*

Elke stof heeft zijn eigen brekingsindex: de brekingsindex is een *materiaalconstante*. Je berekent de brekingsindex met de volgende formules.

$$\text{Vanuit lucht: } \frac{\sin(i)}{\sin(r)} = n \qquad \text{Naar lucht: } \frac{\sin(i)}{\sin(r)} = \frac{1}{n}$$

In deze formules is *sin* de afkorting van *sinus*. De sinus van een hoek vind je met de knop *sin* op je rekenmachine. Met de knoppencombinatie *shift-sin* of *2nd-sin* ga je weer terug naar de hoek zelf. De twee formules heten samen de *brekingswet* (of de wet van Snellius) omdat je er precies mee kunt uitrekenen hoe licht door doorzichtige stoffen wordt gebroken.

De tabel hiernaast geeft de brekingsindex van een aantal doorzichtige stoffen. De brekingsindex heeft geen eenheid.

Stof	Brekingsindex (n)
IJs	1,31
Perspex	1,49
Glas	1,51
Diamant	2,42
Water	1,33
Alcohol	1,36

Proef 12, onderzoek: de brekingswet

Neem een lichtkastje en een rechthoekig blok perspex. Controleer de brekingswet (de wet van Snellius).

- E Je kunt de brekingsindex ook anders berekenen: uit de verschillende lichtsnelheden. Voor bijvoorbeeld de brekingsindex van perspex geldt:

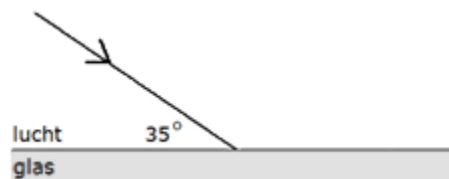
$$n_{\text{perspex}} = \frac{c_{\text{lucht}}}{c_{\text{perspex}}}$$

L

### Opgaven

Gebruik zo nodig bovenstaande tabel.

25. Vanaf de duikplank bezien lijkt een (met water gevuld) zwembad ondieper dan het is.
  - Leg dat nauwkeurig uit, met behulp van een schets.
26. Ramen in oude gebouwen zijn vaak van heel oud glas. Dat is niet altijd zo mooi glad als nieuw glas.
  - Leg uit dat je de buitenwereld door zo'n oud raam een beetje vertekend ziet.
27. Vul in, met behulp van je rekenmachine:
  - a.  $\sin 10^\circ = \dots$
  - b.  $\sin 30^\circ = \dots$
  - c.  $\sin 45^\circ = \dots$
  - d.  $\sin 60^\circ = \dots$
  - e.  $\sin 90^\circ = \dots$
  - f.  $\sin \dots^\circ = 0$
  - g.  $\sin \dots^\circ = 0,2$
  - h.  $\sin \dots^\circ = 0,5$
  - i.  $\sin \dots^\circ = 1$
  - j.  $\sin \dots^\circ = 1,2$  (!)
28. Een lichtstraal valt onder een invalshoek van  $20^\circ$  op een vlakke glasplaat.
  - a. Bereken de brekingshoek.
  - b. Maak een constructie van de situatie. Teken ook hoe de lichtstraal de glasplaat verlaat.
  - c. Leg uit of een lichtstraal, die onder dezelfde invalshoek een glad oppervlak treft, sterker wordt gebroken of juist minder sterk.
  - d. Leg uit of de lichtsnelheid in water groter is dan die in glas of juist kleiner.
29. Zie de figuur hiernaast.
  - Bereken de brekingshoek.
30. Breking van perspex naar lucht
  - a. Een lichtstraal gaat vanuit een blokje perspex naar lucht. De invalshoek is  $35^\circ$ .
    - Bereken de brekingshoek.
  - b. Een andere lichtstraal verlaat het blokje perspex met een brekingshoek van  $57^\circ$ .
    - Bereken de invalshoek.
31. Controleer je antwoorden op de opgaven 28 t/m 30 met de applets [Breking en terugkaatsing \(1\)](#) en [Breking en terugkaatsing \(2\)](#).



## 9 Totale terugkaatsing

### Totale terugkaatsing

Als een lichtstraal vanuit glas naar lucht gaat, wordt hij van de normaal af gebroken. De brekingshoek is dus altijd groter dan de invalshoek. Als je de invalshoek té groot maakt komt de lichtstraal het glas helemaal niet meer uit. Hij wordt alleen nog teruggekaatsd. Je noemt dat *totale terugkaatsing*.

Bekijk het filmpje [Laserwaterval, totale terugkaatsing](#) op de website. Zie verder opgave 32.

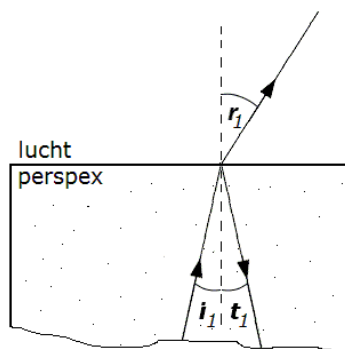
### Opgave

32. Een lichtstraal gaat vanuit een blokje glas naar lucht. Bereken de brekingshoek als:
  - a. de invalshoek  $21^\circ$  is.
  - b. de invalshoek  $31^\circ$  is.
  - c. de invalshoek  $41^\circ$  is.
  - d. de invalshoek  $45^\circ$  is. (!)

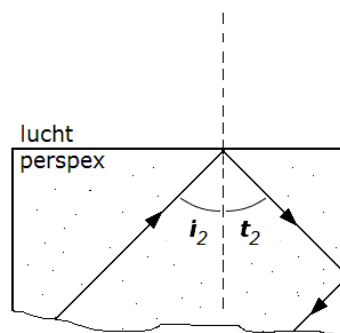
Uit opgave 32a t/m c blijkt dat bij breking vanuit glas naar lucht twee dingen gelden: dat een grotere invalshoek ook een grotere brekingshoek geeft, en dat die brekingshoek altijd groter dan de invalshoek is. Bij opgave 32c is de brekingshoek bijna  $90^\circ$ . Bij opgave 32d geeft je rekenmachine een foutmelding: er is kennelijk geen brekingshoek meer te berekenen. Die invalshoek ( $45^\circ$ ) is dus te groot. Voor glas ligt de grens bij  $41,4^\circ$ . Je zegt: de *grenshoek* van glas is  $41,4^\circ$ . Elke doorzichtige stof heeft zijn eigen grenshoek. Zie ook de figuur hieronder.

Je berekent de grenshoek ( $g$ ) met de volgende formule.

$$\sin(g) = \frac{1}{n}$$



$i_1 < g$  : breking en terugkaatsing



$i_2 > g$  : totale terugkaatsing

### Opgaven

33. Hierboven gaat het over totale terugkaatsing van glas naar lucht.  
 – Kan je omgekeerd, van lucht naar glas, ook totale terugkaatsing krijgen? Licht je antwoord toe.
34. Een lichtstraal gaat vanuit een blokje perspex naar lucht.  
 a. Bereken de grenshoek van perspex.  
 b. Leg uit of je breking en terugkaatsing, of alleen terugkaatsing hebt als:  
 •  $i = 10^\circ$ .      •  $i = 40^\circ$ .  
 •  $i = 20^\circ$ .      •  $i = 50^\circ$ .  
 •  $i = 30^\circ$ .
35. a. Een lichtstraal gaat onder een invalshoek van  $32^\circ$  vanuit een glasplaat naar lucht.  
 – Toon met een berekening aan dat de lichtstraal de glasplaat inderdaad verlaat (dus dat er geen totale terugkaatsing is).  
 b. Een andere lichtstraal gaat vanuit dezelfde glasplaat een invalshoek van  $52^\circ$ .  
 – Toon met een berekening aan dat deze lichtstraal de glasplaat niet verlaat (dus dat er wel totale terugkaatsing is).
36. Een lichtstraal valt onder een invalshoek van  $23^\circ$  vanuit lucht op een blokje perspex.  
 a. Bereken de brekingshoek,  
 b. Ga met een berekening na of de lichtstraal het blokje aan de andere kant weer verlaat.
37. a. Een lichtstraal gaat vanuit glas naar lucht. De invalshoek is  $35^\circ$ .  
 – Reken uit of de lichtstraal het glas verlaat, of totaal wordt teruggekaatst.  
 b. Dezelfde vraag, nu voor diamant.
- E 38. Leg met behulp van de tabel met brekingsindices uit in welke stof totale terugkaatsing het vaakst voorkomt.
- E 39. Uit de formule voor de brekingsindex naar lucht kun je de formule voor de grenshoek afleiden.  
 – Geef die afleiding.

### Glasvezel

Totale terugkaatsing wordt toegepast in de glasvezel-techniek. Zoals elektrische stroom door kabels van koperdraad kan gaan, kan licht door *glasvezelkabels*. Dat zijn draden van een speciaal soort soepel glas. Zie de figuur hiernaast: tegen de zijkant van de glasvezelkabel is er steeds totale terugkaatsing. De lichtsignalen komen daardoor pas helemaal aan het eind uit de kabel.



Computers bijvoorbeeld kunnen op het glasvezelnet aangesloten worden. Als je een e-mail verstuurt worden de elektrische signalen van je computer eerst omgezet in lichtsignalen. Via glasvezelkabels gaan die naar een andere computer. Vlak voordat ze die andere computer bereiken worden ze weer in elektrische signalen omgezet, zodat die andere computer ze kan verwerken.



Totale terugkaatsing in een staafje PMMA

Ook in de medische techniek worden glasvezels gebruikt. Met een *endoscoop* kan een arts je lichaam van binnen bekijken. De endoscoop bestaat uit een bundel soepele glasvezels, die in je lichaam wordt gebracht. Lamplicht gaat via een glasvezelkabel naar binnen en verlicht het deel van je lichaam dat wordt onderzocht. Het in je lichaam teruggekaatste licht gaat via een andere glasvezelkabel (uit dezelfde bundel) weer terug naar buiten. Op een beeldscherm kan daarmee een beeld van de onderzochte plek gemaakt worden.

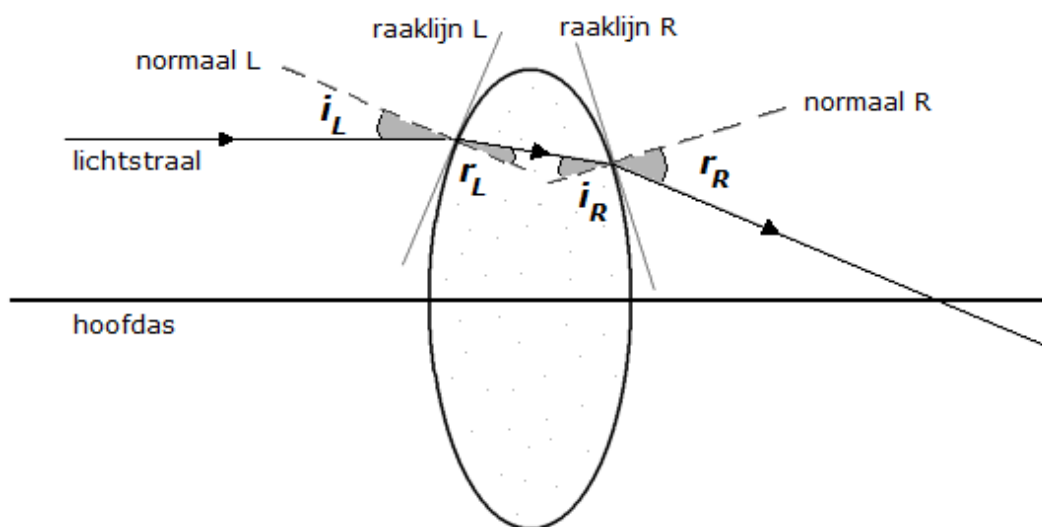
## 10 Lenzen (2) – beeldvorming: de lensformule, vergroting

### E Verklaring van de convergerende werking van een bolle lens

Zie §7: elke bolle lens heeft een convergerende werking, elke holle lens een divergerende. Hoe komt dat? Dat is te verklaren met lichtbreking.

In de onderstaande figuur zie je een lichtstraal die de bovenste helft van een bolle, glazen lens treft. De lichtstraal loopt evenwijdig aan de hoofdas. Hij wordt twee keer gebroken: links van lucht naar glas dus naar de normaal (L) toe, rechts van glas naar lucht dus van de normaal (R) af. Door de bolle vorm van de lens zijn beide brekingen naar beneden, naar de hoofdas toe.

Op dezelfde manier wordt een andere lichtstraal, ook evenwijdig aan de hoofdas maar gericht op de onderste helft van de lens, twee keer naar boven gebroken, ook naar de hoofdas toe.



### Opgaven

- E 40. Een lichtbundel, evenwijdig aan de hoofdas, valt op een bolle, glazen lens. De lichtbundel verlicht de hele lens.
  - Verklaar dat de lens van de evenwijdige lichtbundel een convergerende maakt.
- E 41. Verklaar de divergerende werking van een holle lens met een duidelijke constructie.

### Beeldvorming met lenzen – reële en virtuele beelden

In § 6 zag je dat je met een spiegel van een voorwerp een beeld kunt maken. Zo'n spiegelbeeld is virtueel. Met een lens kun je ook beelden maken. Lensbeelden zijn echter niet altijd virtueel. Ze kunnen ook *reëel* zijn.

Reële beelden kun je op een scherm projecteren. Het beeld op een bioscoopscherm bijvoorbeeld is reëel, het beeld dat je oog lens op het netvlies maakt ook.

Virtuele beelden kun je zien als je in de spiegel of door de lens kijkt. Het beeld dat je door een bril ziet is virtueel, het beeld dat je door een loep ziet ook.



### Proef 13: beeldvorming met een positieve lens

Je hebt de beschikking over een *optische bank* met toebehoren. Een optische bank is een rail met schaalverdeling waarover je houders kunt schuiven. In die houders passen lampjes, lenzen en een klein projectiescherm.

#### a. Reële beeldvorming

- Zet links op de optische bank een lampje, rechts een projectiescherm. Zet daartussen een positieve (bolle) lens met  $f = 15$  cm. Verschuif het scherm tot je een scherp beeld van het lampje ziet.
  - Ga na dat er slechts voor één positie van het scherm een scherp beeld is. Controleer dat bij verschillende posities van de lens.
  - Ga na dat het beeld zowel vergroot als verkleind kan zijn. Omdat je deze beelden kunt projecteren noem je ze *reëel*.
- Onderzoek: de lensformule  
De *voorwerpsafstand* ( $v$ ) is de afstand van het lampje tot de lens.  
De *beeldafstand* ( $b$ ) is de afstand van de lens tot het scherm.
  - Vul onderstaande tabel in voor ten minste 5 verschillende waarden van  $v$ , alle groter dan 15 cm.

$v$ (cm)	$b$ (cm)	$\frac{1}{v} + \frac{1}{b}$	$\frac{1}{f}$

Tabel:  
Lensformule met  $f = 15$  cm

#### b. Virtuele beeldvorming

Neem de lens uit de houder en houd hem boven de tekst van dit dictaat, op minder dan 15 cm afstand. Je ziet de letters dan vergroot. Kijk dan ónder de lens en de letters zijn nog steeds even groot. Zo'n beeld heet *virtueel*. Je kunt het niet projecteren, je ziet het alleen: als je door de lens kijkt.

### Conclusies uit proef 13

- Met een positieve (bolle) lens kun je reële en virtuele beelden maken.
  - $v > f$  geeft een reëel beeld,
  - $v < f$  geeft een virtueel beeld.
  - ( $v = f$  geeft geen beeld).
- Een reëel beeld...
  - ...kan kleiner of groter zijn dan het origineel.
  - ...is omgekeerd: de bovenkant van het origineel komt overeen met de onderkant van het beeld.
- Een virtueel beeld...
  - ...is altijd groter dan het origineel.
  - ...staat altijd rechtop: de bovenkant van het origineel komt overeen met de bovenkant van het beeld.
- Voor elk beeld, reëel of virtueel, passen voorwerpsafstand ( $v$ ) en beeldafstand ( $b$ ) bij elkaar volgens de *lensformule*:

$$\frac{1}{v} + \frac{1}{b} = \frac{1}{f}$$

Let op: elke lens heeft zijn eigen lensformule, want elke lens heeft zijn eigen brandpuntsafstand ( $f$ ).

### De vergroting

Je zag bij proef 13 dat een beeld soms groter dan het origineel is en soms kleiner. Dat wist je waarschijnlijk al. Een bioscoopbeeld is immers sterk vergroot, een foto meestal sterk verkleind.

*De vergroting* ( $N$ ) is een getal dat aangeeft hoeveel keer een beeld groter is dan het origineel.

Er zijn twee formules voor de vergroting:

$$N = \frac{\text{lengte beeld}}{\text{lengte origineel}} \quad \text{of} \quad N = \frac{b}{v} \quad \text{De vergroting heeft geen eenheid.}$$

## Opgaven

42. a. Wanneer heet een beeld reëel? Geef twee voorbeelden van een reëel beeld.  
b. Wanneer heet een beeld virtueel? Geef twee voorbeelden van een virtueel beeld.
43. Vergroting  
a. Bereken steeds de vergroting.  
– Een filmacteur is 1,80 m lang. Op het bioscoopscherm is zijn lengte 3,60 m.  
– Je mobiel is 7 cm lang. In een advertentie in de krant is dat 3,5 cm.  
– De letter 'N' van een tekst is in het echt 4 mm hoog. Door een vergrootglas lijkt dat 6 mm.  
– De voordeur van je huis is 2 m hoog. Op een foto is dat 2 cm.  
– Je kijkt naar het bord. Dat is 75 cm hoog. Het beeld op je netvlies is 0,6 cm hoog.  
b. Bereken steeds de vergroting.  
– Een afbeelding is drie keer zo groot als het origineel.  
– Een afbeelding is drie keer zo klein als het origineel.  
– Een afbeelding is vier keer zo groot als het origineel.  
– Een afbeelding is vier keer zo klein als het origineel.  
c. Wat weet je over de waarde van de vergroting als het beeld groter is dan het origineel?  
d. Wat weet je over de waarde van de vergroting als het beeld kleiner is dan het origineel?  
e. Kan de vergroting negatief zijn?
44. Foto  
Je maakt een foto van je vriendin. Ze is 1,65 m lang. Op de chip van je camera is ze 4,2 cm lang.  
– Bereken de vergroting.
45. Nog een foto  
Je maakt met je mobiel een foto van de voordeur van je woning. Je mobiel is 8,6 mm dik.  
a. Leg uit of je een reëel beeld van de deur maakt of juist een virtueel beeld.  
b. Staat het beeld op de lichtgevoelige chip rechtop of juist omgekeerd?  
Je staat op 6 m van de deur.  
c. Bereken de brandpuntsafstand van het lensje in je mobiel.  
d. Bereken de lenssterkte.
46. Reëel beeld  
Een bolle lens heeft een brandpuntsafstand van 80 cm. Je zet op 120 cm voor de lens een lampje. Je wilt van dat lampje een scherp beeld maken op een klein tafelscherm.  
a. Hoe groot is de voorwerpsafstand?  
b. Leg uit dat de lens een reëel beeld van het lampje maakt. Ontstaat dit achter of juist voor de lens?  
c. Bereken hoe ver je het scherm achter de lens moet zetten.  
d. Bereken de vergroting.  
e. Het lampje is 0,8 cm groot. Bereken de grootte van het beeld.  
f. Controleer je antwoorden met de applet [Lenzen en spiegels – beeldvorming](#).
- E 47. Virtueel beeld  
Een bolle lens heeft  $f = 80$  cm. Je zet op 20 cm voor de lens een lampje van 0,8 cm groot.  
a. Leg uit dat de lens een virtueel beeld van het lampje maakt. Ontstaat dit achter of juist voor de lens?  
b. Bereken de beeldafstand.  
c. Bereken de vergroting.  
d. Het lampje is 0,8 cm groot. Bereken de grootte van het beeld.  
e. Hoe kun je dit virtuele beeld zien?  
f. Controleer je antwoorden met de applet [Lenzen en spiegels – beeldvorming](#).
48. Foto  
De lichtgevoelige chip in je camera meet 24 x 36 mm. Je maakt een foto van een tafel van 2,3 m breed, op 5 m afstand. De tafel past precies op de foto.  
a. Bereken de vergroting.  
b. Bereken de diepte van je camera.
- E 49. Ooglens  
Een klasgenoot staat 3,2 m voor je. Op je netvlies ontstaat een haarscherp beeld.  
a. Is dit beeld reëel of virtueel? Geef een toelichting.  
b. Staat dit beeld rechtop of omgekeerd? Geef een toelichting.  
c. Geef een gemotiveerde schatting van de vergroting.
50. De sterkte van de ooglenzen  
Je kunt scherp zien vanaf 30 cm tot oneindig ver. De diepte van een menselijk oog is gemiddeld 2,5 cm.  
– Bereken met deze gegevens de grootste en de kleinste sterkte van de menselijke ooglenzen.
- E 51. Je maakt met een bolle lens met een brandpuntsafstand van 10 cm van een voorwerp een reëel beeld. Je wilt dat het beeld 3 keer zo groot is als het voorwerp.  
– Bereken hoe ver je het voorwerp voor de lens moet zetten.

## 11 Lenzen (3) – beeldvorming: constructies

In §10 heb je gezien dat je aan beeldvorming kunt rekenen. Als je de brandpuntsafstand van de lens weet en ook hoe ver het origineel voor de lens staat (de voorwerpsafstand), dan kun je van het beeld twee dingen uitrekenen: de beeldsafstand (dat is: op welke plaats het beeld ontstaat) en de vergroting (dat is: hoe veel keer het groter is dan het origineel).

In deze paragraaf leer je dat je beeldsafstand en vergroting ook *grafisch* kunt vinden, met een *constructie*. Maak je zo'n constructie op schaal dan kun je in de constructie meten en op die manier de beeldsafstand en de vergroting bepalen. De volgende twee schema's tonen je precies hoe je dat doet, in vier stappen. In de schema's stelt de pijl een origineel of een beeld voor.

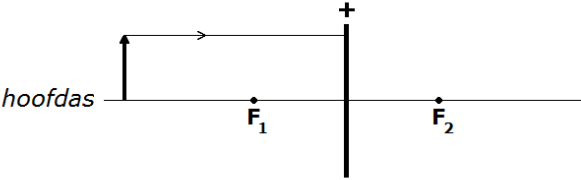
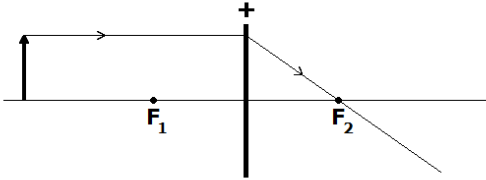
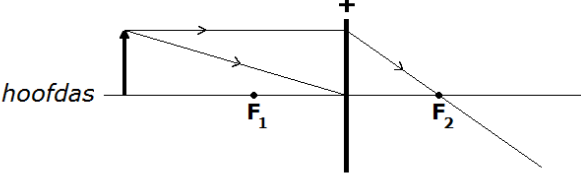
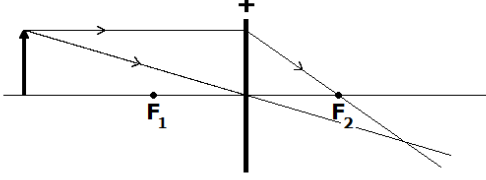
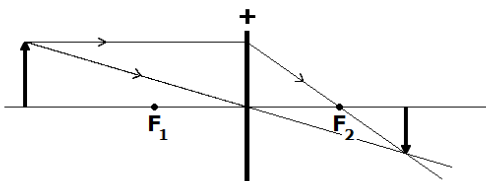
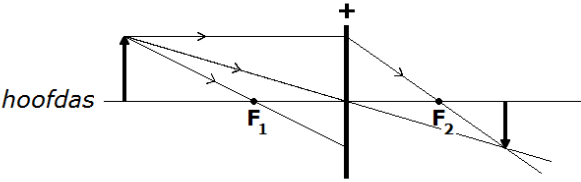
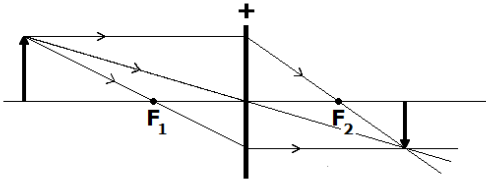
### Constructiestralen

Je gebruikt steeds drie *constructiestralen*. Dat zijn drie bijzondere lichtstralen, waarvan je precies weet hoe de lens ze breekt.

1. Een lichtstraal evenwijdig aan de hoofdas. Die gaat na breking door het brandpunt aan de andere kant.
2. Een lichtstraal door het midden van de lens. Die wordt niet gebroken.
3. Een lichtstraal die door het brandpunt gaat. Die loopt na breking evenwijdig aan de hoofdas.

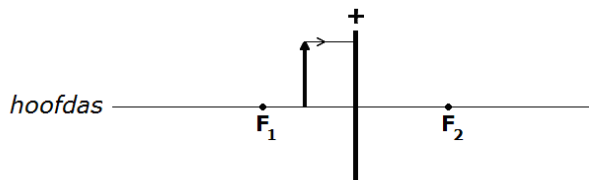
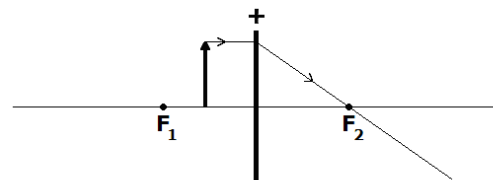
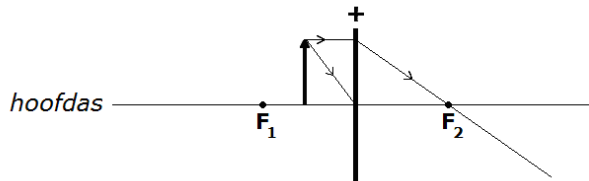
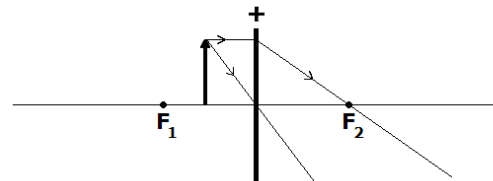
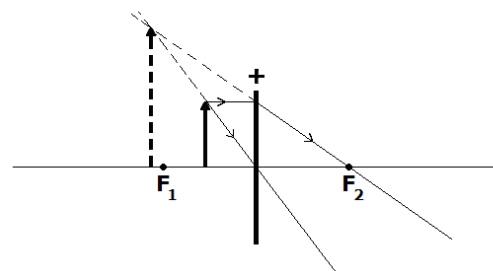
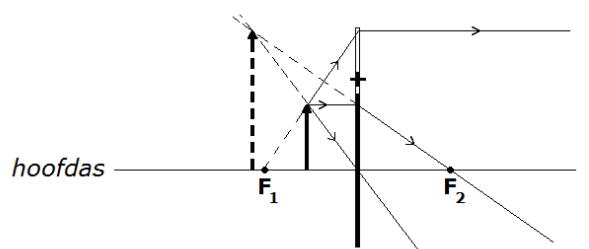
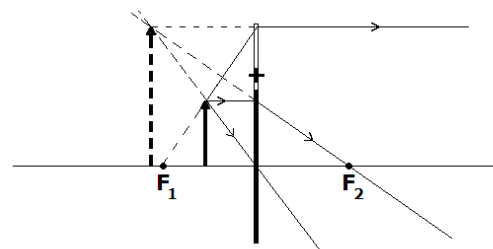
### Schema 1: de constructie van een reëel beeld.

Zie ook de applets [Positieve en negatieve lens – beeldvorming \(1\)](#) en [\(2\)](#).

<p><b>1.</b> Een lichtstraal evenwijdig aan de hoofdas...</p> 	<p>...wordt zó gebroken dat hij door <math>F_2</math> gaat.</p> 
<p><b>2.</b> Een lichtstraal door het midden van de lens...</p>  <p>• Het snijpunt van de gebroken lichtstralen geeft de plaats van het beeld.</p>	<p>...wordt niet gebroken..</p>  <p></p>
<p><b>3.</b> Controle: een lichtstraal door <math>F_1</math> ...</p> 	<p>...wordt zó gebroken dat hij achter de lens evenwijdig aan de hoofdas loopt. Hij gaat dan door hetzelfde beeldpunt.</p> 

**Schema 2: de constructie van een virtueel beeld**

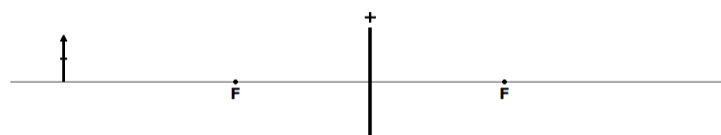
Zie ook de applets [Positieve en negatieve lens – beeldvorming \(1\)](#) en [\(2\)](#).

<p>1. Een lichtstraal evenwijdig aan de hoofdas...</p> 	<p>...wordt zó gebroken dat hij door <math>F_2</math> gaat.</p> 
<p>2. Een lichtstraal door het midden van de lens...</p>  <p>• Het snijpunt van de gebroken lichtstralen geeft de plaats van het beeld. Het beeld is virtueel, want de lichtstralen snijden elkaar niet echt.</p>	<p>...wordt niet gebroken.</p>  
<p>3. Controle: als de lens groter zou zijn lijkt een lichtstraal, die (schijnbaar) vanuit <math>F_1</math> komt en na breking dus evenwijdig aan de hoofdas loopt...</p> 	<p>...uit hetzelfde beeldpunt te komen.</p> 

**Opgaven**

**52. Reëel beeld**

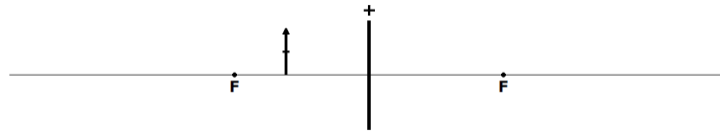
Zie figuur: een voorwerp, weergegeven als pijl, staat op zekere afstand voor een positieve lens.



- Bepaal door meting in de figuur (op het werkblad) de voorwerpsafstand. Deze figuur is op schaal 1 : 2.
- Bepaal door constructie de beeldsafstand en de vergroting.
- Controleer je antwoorden op vraag b met een berekening.
- Construeer de loop van de lichtbundel die vanuit een punt halverwege het voorwerp komt en de hele lens beschijnt.

53. Virtueel beeld

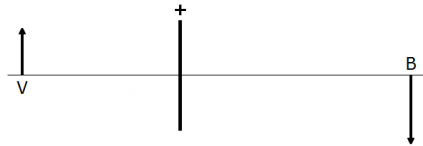
Zie figuur: een ander voorwerp, weergegeven als een pijl, staat wat dichterbij een positieve lens.



- Bepaal door meting in de figuur (op het werkblad) de voorwerpsafstand. Deze figuur is op schaal 1 : 2.
- Bepaal door constructie de beeldsafstand en de vergroting.
- Controleer je antwoorden op vraag b met een berekening.
- Construeer de loop van de lichtbundel die vanuit een punt halverwege het voorwerp komt en de hele lens beschijnt.

54. Constructie

De figuur toont een voorwerp (V), een bolle lens en het beeld (B) dat de lens van het voorwerp maakt. De brandpunten van de lens zijn niet aangegeven.



- Leg uit dat de voorwerpsafstand in dit geval groter is dan de brandpuntsafstand.
  - Construeer in de figuur (op het werkblad, schaal 1 : 4) de plaats van de twee brandpunten en bepaal door meting de brandpuntsafstand.
  - Controleer je antwoord op vraag b met een berekening.
  - Construeer de loop van de lichtbundel die vanuit de top van het voorwerp komt en de hele lens beschijnt.
55. Beeld en origineel even groot  
Je wilt van een voorwerp een reëel beeld maken dat even groot is als dat voorwerp. Je gebruikt een positieve lens met een brandpuntsafstand van 15 cm. Je projecteert het beeld op een tafelscherm.
- Hoe groot is de vergroting?
  - Bereken hoe ver je het voorwerp voor de lens moet zetten.
  - Bereken hoe ver je het tafelscherm achter de lens moet zetten.
  - Controleer je antwoorden op a en b met een constructie.

## 12 De fotocamera

Een fotocamera werkt bijna net zo als een oog. In plaats van het netvlies is er een lichtgevoelige sensor (of een lichtgevoelige film).



Van links naar rechts:

een speldeprikkamera, een antieke spiegelreflexcamera (vorige eeuw), een stereocamera, een moderne digitale camera.

### Scherp stellen

De lens van een camera kun je niet meer of minder bol maken. Scherp stellen gaat dus anders dan bij het oog. Je schuift de lens wat verder van de chip of wat dichterbij. Zo pas je de beeldsafstand aan: een grote beeldsafstand voor voorwerpen dichtbij en een kleine voor veraf.

### Hoeveelheid licht

Voor een goede foto is behalve de scherpste ook de hoeveelheid licht belangrijk. Met te weinig licht wordt de foto te donker, met te veel licht juist te schel. De hoeveelheid licht regel je met het *diafragma*. Als er te veel licht is bedekt het diafragma een deel van de lens. Door de overgebleven opening komt dan minder licht de camera binnen.

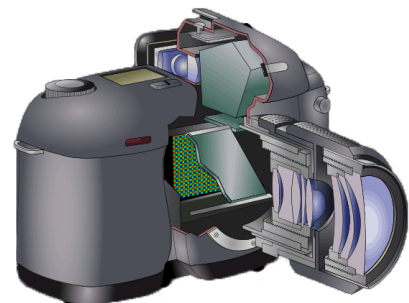


Met een diafragma regel je de effectieve lensopening.

### Spiegelreflexcamera

Professionele fotografen werken vaak met een full-frame spiegelreflexcamera. *Full frame* betekent dat de lichtgevoelige sensor 24 bij 36 mm meet. *Spiegelreflex* betekent dat je via de zoeker rechtstreeks door de lens kijkt. Je ziet de foto dus vooraf. Een opklapbaar spiegelkje achter de lens en een vijfkantig prisma in de zoeker leiden het licht dat door de lens binnenkomt naar je oog. Als je de foto maakt, dus als je de sluiterknop indrukt, klapt het spiegelkje weg zodat het licht niet meer naar de zoeker gaat maar naar de sensor.

Omdat het spiegelkje de weg naar de sensor lichtdicht afsluit, kun je de lens van de camera vervangen zonder dat er licht op de sensor valt. Zo kun je een telelens gebruiken als je een opname van veraf wilt maken, of een groothoeklens voor een groepsfoto. Hiernaast zie een schematische, opengewerkte tekening van een spiegelreflexcamera.



Een full-frame spiegelreflexcamera, opengewerkt.

### Opgaven

56. Op het werkblad staat de spiegelreflexcamera vergroot.

- Geef de volgende onderdelen aan: lenzen, diafragma, opklapbare spiegel, prisma, zoeker, sensor.
- Teken de loop van een lichtstraal precies door het midden van de lens die loodrecht op de lens valt.



E 57. Scherp stellen

Je fotografeert met een camera die een lens met een brandpuntsafstand van 50 mm heeft.

- Je fotografeert je vriendin vanaf 4,5 m.
  - Bereken de beeldsafstand.
- Dan fotografeer je het berglandschap op de achtergrond.
  - Leg uit of de beeldsafstand nu groter of juist kleiner moet zijn dan bij vraag a.
  - Bereken de nieuwe beeldsafstand.
- Bereken over welke afstand je het objectief hebt verschoven om na de foto van je vriendin scherp te stellen op de bergen.

E 58. Vergroting

Je hebt een full-frame spiegelreflexcamera gekocht. De sensor is 36 mm breed en 24 mm hoog. Je vriendin, 1,65 m lang, moet zo groot mogelijk op de foto.

- Leg het voordeel uit van het spiegelreflex-systeem.
- Bereken de maximaal haalbare vergroting.

### 13 Tot slot: wat is licht? Het elektromagnetisch spectrum

Wat is licht? Op die eenvoudige vraag bestaat geen eenvoudig antwoord.

Wel weten we waar licht vandaan komt. Bijna al het natuurlijke licht komt uit het heelal, van de zon en van de andere sterren. Een ster is een grote gasbol met een zeer hoge temperatuur: 3000 K voor een rode ster tot 50 000 K voor een blauwe. De zon is een lichtgele ster van circa 6000 K. Door die hoge temperatuur vindt in een ster *kernfusie* plaats. Lichte atoomkernen fuseren tot zwaardere. Daar komt veel energie bij vrij. Die energie wordt uitgestraald, onder andere als licht.

Ook weten we hoe snel licht gaat. Door lucht en vacuüm bijna 300 000 000 m/s (300 000 km/s). Je schrijft:  $c = 3,00 \cdot 10^8$  m/s, met als symbool voor de lichtsnelheid de letter *c*. Dat is de grootste snelheid in de natuur. Het licht van de plafondlampen in het klaslokaal is dus vrijwel meteen bij je ogen. Maar zonlicht is met deze snelheid altijd nog 8,3 minuten onderweg naar de aarde. Zo ontzettend ver is de zon dus. De dichtstbijzijnde ster na de zon heet *Proxima Centauri* en staat 4,28 lichtjaar van ons vandaan. Het licht van deze ster doet er dus 4,28 jaar over om bij ons te komen!

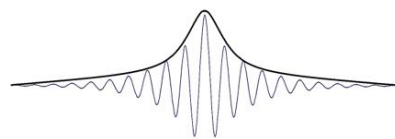
In andere doorzichtige stoffen, zoals glas, perspex en water, is de lichtsnelheid kleiner (maar nog steeds heel groot). In perspex bijvoorbeeld  $2,00 \cdot 10^8$  m/s.

Maar wat is licht? Dat hangt, gek genoeg, van de omstandigheden af.

Onder bepaalde omstandigheden gedraagt een lichtbundel zich als een bundel heel kleine energiepakketjes, massaloze deeltjes, zogeheten fotonen. Zijn de omstandigheden anders, dan gedraagt een lichtbundel zich als een golf, een zogeheten elektromagnetische golf. Licht gedraagt zich dus dubbelzinnig.



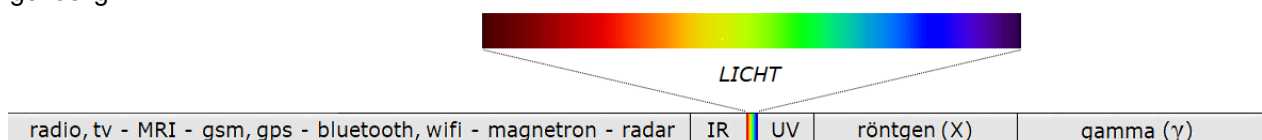
Spiraalvormig sterstelsel M101  
(25 miljoen lichtjaar van ons verwijderd)



Model van een foton:  
een zeer klein pakketje stralingsenergie

Er zijn veel meer elektromagnetische golven. Zie de afbeelding hieronder: van radio- en tv-golven via IR, licht en UV tot  $\gamma$ -straling: allemaal elektromagnetische golven. De ene soort gedraagt zich meer als golf, de andere juist meer als een bundel fotonen. Maar alle soorten gedragen zich eigenlijk dubbelzinnig. Ook hebben ze allemaal de lichtsnelheid. Samen vormen ze het elektromagnetisch spectrum.

Alleen licht kun je zien. Dat ligt aan onze ogen. Die zijn voor de andere elektromagnetische golven niet gevoelig.





**Werkbladen**

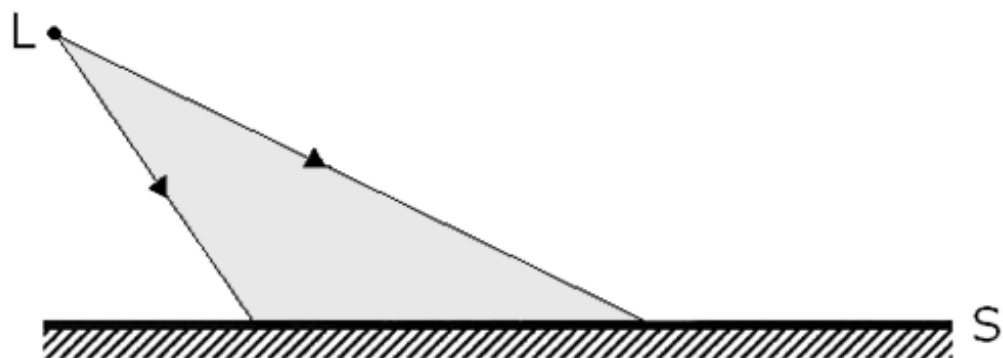
Op de volgende bladzijden vind je bij een aantal opgaven een werkblad.

---

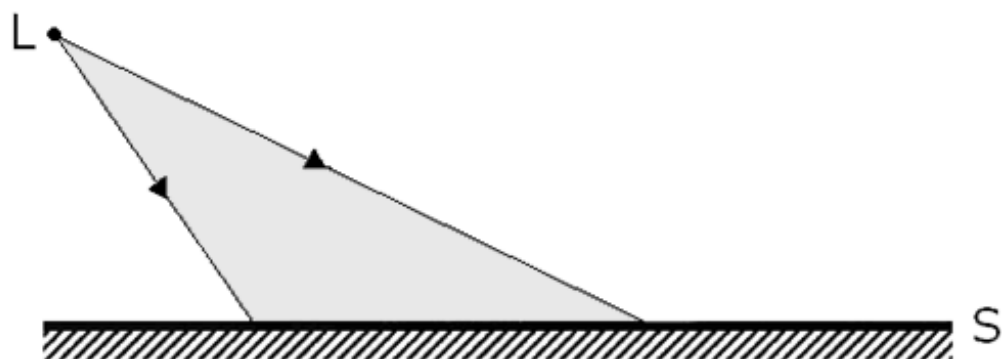
Werkblad bij opgave 14



a)



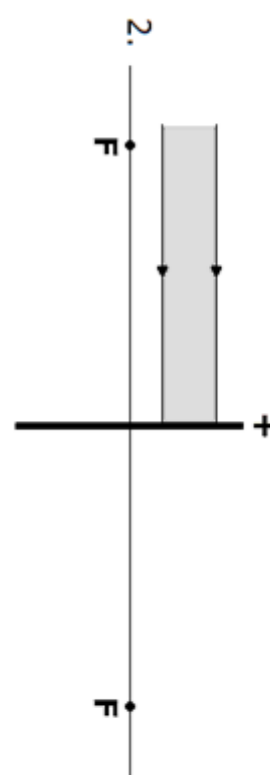
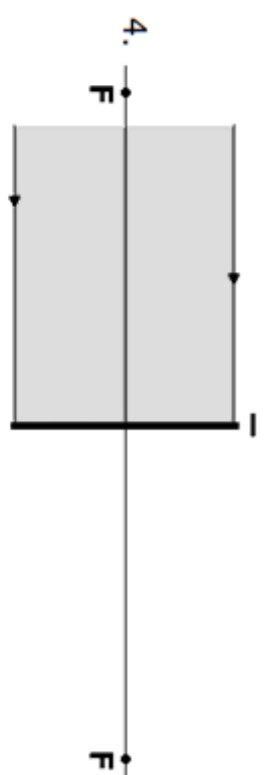
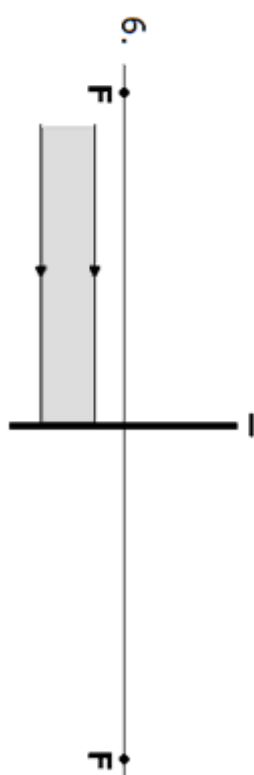
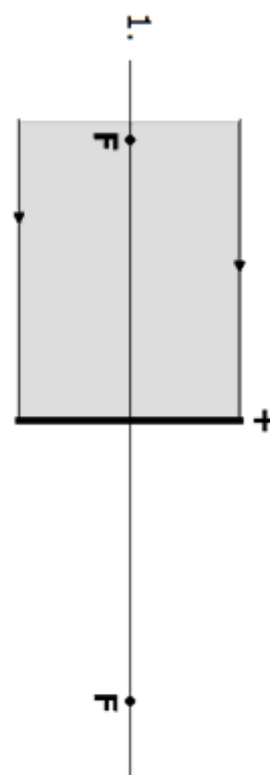
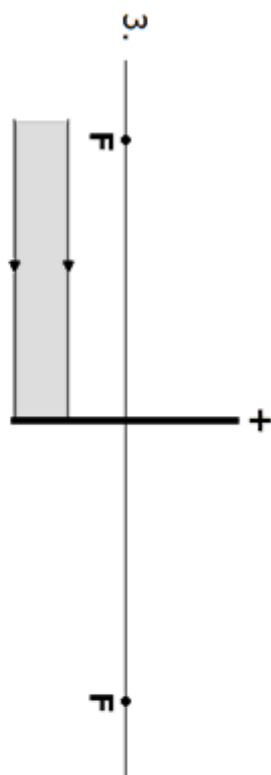
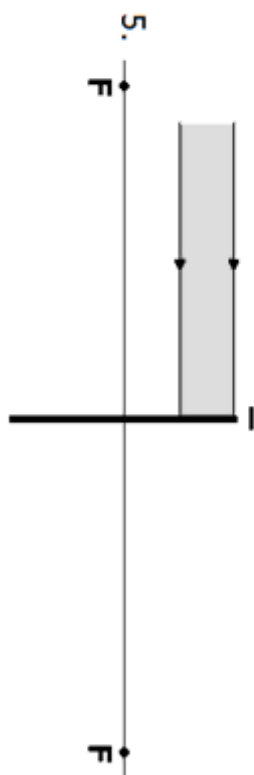
b)



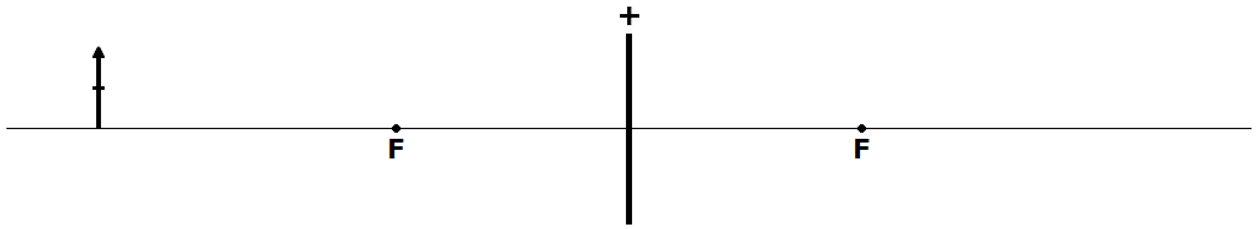


L ⊗

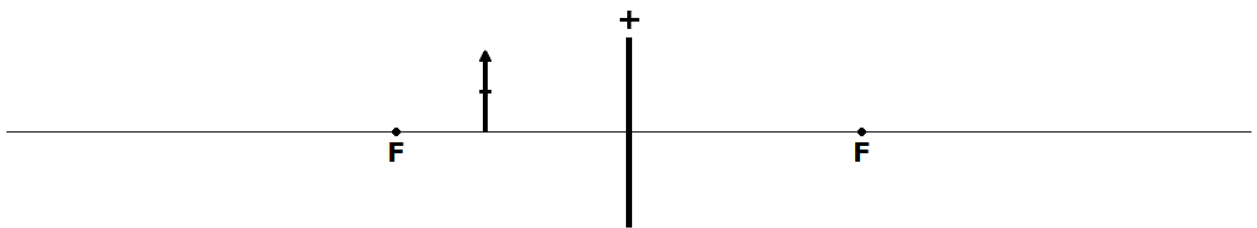




Werkblad bij opgave 52



Werkblad bij opgave 53



Werkblad bij opgave 54

