**§1: Lichtbreking**

Een dunne lichtbundel - een **lichtstraal** - beweegt langs een rechte lijn totdat die een grensvlak tegenkomt. 0p het grensvlak verandert de lichtstraal van richting (**lichtbreking**).

De **normaal**: gestippelde lijn, loodrecht op het grensvlak. De hoek tussen de invallende lichtstraal en de normaal is de **hoek van inval** (∟i). De hoek tussen de uittredende lichtstraal en de normaal is de **hoek van breking** (∟r).

* Bij de overgang van lucht naar perspex breekt de lichtstraal naar de normaal toe: is *∟r* dan kleiner dan *∟i*.
* Bij de overgang van perspex naar lucht breekt de lichtstraal van de normaal vandaan: *∟r* is groter dan *∟i*.
* Lichtstralen die loodrecht op het perspex vallen, veranderen niet van richting.

Het verband tussen ∟*i* en ∟*r* kun je onderzoeken met een halfronde perspexschijf. Een lichtstraal wordt door zo’n schijf gebroken. De breking bij de overgang van lucht naar perspex kun je meten door de hoek van inval te veranderen en telkens ∟*i* en ∟*r* af te lezen. Aan de ronde kant van het perspex is ∟*i* = 0⁰ en wordt de lichtstraal dus niet gebroken.

Je de lichtstraal ook eerst op de ronde kant van de perspex schijf baten vallen. Dan meet je de breking bij de overgang van perspex naar lucht. Het resultaat van de metingen staan in een tabel. Let erop dat de waarden van ∟*i* en ∟*r* in de tabel ‘omgewisseld’ lijken te zijn. Er is een belangrijk verschil: in de tabel stopt de rij meetresultaten een hoek 90⁰.

Als één van de hoeken groter is dan 90⁰, wordt de lichtstraal niet meer gebroken maar volledig teruggekaatst. In dat geval geldt de **spiegelwet**:

∟*i* = ∟*t*

De hoek van inval waarbij de hoek van breking gelijk is aan 90⁰, heet de **grenshoek**. Als de hoek van inval kleiner is dan of is aan de grenshoek, dan wordt de lichtstraal gebroken. Als de hoek van inval groter is dan de grenshoek, dan wordt die lichtstraal aan het grensvlak teruggekaatst en gaat terug het glas in.

Je kunt met een **lens** een evenwijdige bundel zonlicht concentreren in één punt. Voor de lens lopen de lichtstralen evenwijdig aan de **hoofdas**. Dat is de lijn die door het midden van de lens loopt, loodrecht op de lens. Na de lens bewegen de lichtstralen naar elkaar to en komen samen in één punt: het **brandpunt**.

Het brandpunt wordt aangegeven met de letter F (van *focus*, het Latijnse woord voor ‘haard, vuur, gloed'). De afstand tussen het midden van de lens en het brandpunt F heet de **brandpuntsafstand** f. De brandpuntsafstand n belangrijke eigenschap van een lens. Hoe kleiner de brandpuntsafstand, des te sterker breekt de lens het licht.

Een lens is vereenvoudigd tot twee prisma's (driehoekige stukken glas) en één rechthoek. De prisma's breken een lichtstraal twee keer: de eerste keer naar de normaal toe, de tweede keer bij de normaal vandaan. Daardoor wordt de lichtstraal naar de hoofdas toe afgebogen. De lichtstraal die op het middelste deel van de 'lens valt, rechtdoor. Verderop komen de drie getekende lichtstralen samen in brandpunt.

Wet van Snellius :

n = Sin i/ sin r

Sin r = sin I/n

Sin I = n x sin r

i = inval

r = breking

n = **brekingsindex**

Hoe groter n, hoe sterker het licht wordt gebroken.

 **§2: Lenzen**
Positieve of bolle lenzen zijn in het midden dikker dan aan de rand. Een **positieve lens** maakt van een evenwijdige bundel licht een **convergente** bundel. De lens buigt de lichtstralen naar de hoofdas toe en werkt dus **convergerend** (van het Latijnse *com* = ‘samen’ en *vergere* = neigen). Hoe boller de lens, des te sterker is de convergerende werking.

Negatieve of holle lenzen zijn in het midden dunner dan aan de rand. Een **negatieve lens** buigt de lichtstralen af naar buiten en werkt **divergerend** (*dis* betekent in het Latijn ‘*uiteen'*). Een evenwijdige bundel zonlicht voor de lens wordt een **divergente** bundel na de lens.

In de bioscoop maakt de lens van de filmprojector een afbeelding van de film op het scherm. Een lens in de camera beeldt de wereld voor de lens verkleind af op een lichtgevoelige beeldchip. En de lens in je oog maakt een afbeelding op je netvlies.

Met een positieve lens kun je dus een vergroot of verkleind beeld van een voorwerp maken. Als je een foto neemt, valt er licht van het voorwerp op de lens. De lens zorgt ervoor dat het licht uit een punt L van het voorwerp ook weer in één punt B van het beeld bij elkaar komt. Die punten noem je het **voorwerpspunt** L en het **beeldpunt** B. Een foto bestaat uit miljoenen van zulke beeldpunten. Een foto is scherp als de beeldpunten heel klein zijn en elkaar niet overlappen. Bij een onscherpe foto is elk beeldpunt een cirkeltje en overlappen die cirkeltjes elkaar gedeeltelijk.

Met een tekening op schaal kun je uitzoeken waar het beeld achter de lens ontstaat. Dat noem je: het beeld **construeren**. Je gebruikt daarvoor **constructiestralen** waarvan je precies weet hoe ze lopen. Deze stralen beginnen in een handig gekozen punt van het voorwerp (waar in werkelijkheid miljoenen lichtstralen vandaan komen):

* Constructiestraal 1 loopt vóór de lens evenwijdig aan de hoofdas en gaat na de lens door het brandpunt F.
* Constructiestraal 2 gaat door het midden van de lens en verandert dus niet van richting.

Het beeldpunt ligt dan op het snijpunt van deze twee stralen. Je kunt je constructie nauwkeuriger maken door een derde constructiestraal te tekenen:

* Constructiestraal 3 gaat voor de lens door het brandpunt en loopt na de lens evenwijdig aan de hoofdas.

Hoe teken je construeert het beeld van een voorwerp:

1. Teken de hoofdas. Teken de lens als een verticale streep. Teken aan beide kanten van de lens het brandpunt op de juiste afstand en zet er de letter F bij.
2. Teken het voorwerp als een pijl V1 V2, op de juiste afstand voor de lens. V2 ligt op de hoofdas, V1 daarboven.
3. Teken de drie constructiestralen vanuit V1. Teken het beeldpunt B, waar de lichtstralen samenkomen
4. Teken het beeld als een pijl B1 B2. Dan ligt Br op de hoofdas en ligt B, daaronder. Het beeld staat dus (vergeleken met het voorwerp) ondersteboven.

In een vuurtoren wordt een grote positieve lens gebruikt om het licht van een felle lamp te bundelen. Zo'n lens wordt niet uit één stuk glas geslepen, want dan zou hij veel te zwaar worden. In plaats daarvan wordt een lens gebruikt die is opgebouwd uit ringen van glas. Elke ring is dan een stukje van een positieve lens. Fresnellenzen breken het licht vrijwel net zo als een gewone lens. Mooie beelden kun je er niet mee maken, maar ze zijn wel heel geschikt om licht te bundelen.

**§3: Camera’s en projectoren**
Om goed beeld te krijgen, moet je eerst **scherpstellen**. Bij een beamer zijn er twee manieren om het beeld scherp te stellen. Je kunt het scherm verschuiven totdat de lichtstralen vanuit één punt van het voorwerp weer in één punt van het beeld samenkomen. Je kunt ook het scherm laten staan en, net als bij een camera, de afstand tussen het lcd-schermpje en de lens aanpassen.

Alle lichtstralen komen achter de lens samen

Bij het scherpstellen van een camera of een beamer zijn drie afstanden van belang:

* de afstand tussen de lens en het voorwerp: dit is de **voorwerpsafstand** v ;
* de afstand tussen de lens en het scherpe beeld: dit is de **beeldafstand** b ;
* de afstand van de lens tot het brandpunt: dit is de **brandpuntsafstand** f.

Lenzenformule : 1/f = 1/v + 1/b

Als je de afmetingen van het voorwerp en van het beeld kent, kun je de **vergroting** N berekenen. In formulevorm:

N = lengte beeld/lengte voorwerp N=b/v

Een lenzentelescoop heeft op zijn minst twee lenzen: het **oculair** vlak bij je oog en het **objectief** aan de kant van het voorwerp (object). Het objectief is altijd groot, zodat het veel licht kan verzamelen. Daardoor kun je voorwerpen die ver weg staan en daardoor lichtzwak zijn, toch helder zien.

**§4: Oog en bril**
Het **hoornvlies** en de **ooglens** werken samen als een positieve lens, zodat er op het netvlies een scherp beeld ontstaat. Dat beeld staat onderste- boven en is sterk verkleind (figuur 38). Het **glasachtig lichaam** houdt je oog in de goede vorm zodat de beeld- afstand hetzelfde blijft. Het **netvlies** bevat een groot aantal lichtgevoelige zintuigcellen die elk een elektrische puls geven, als er licht op valt. Deze pulsen worden door de oogzenuw doorgegeven aan de hersenen. Pas als je hersenen die pulsen ontvangen, zie je iets.

De **pupil** is een opening in de **iris** (het gekleurde deel van je oog). In fel zonlicht zijn je pupillen klein zodat er niet te veel licht op je netvlies valt. In het schemerdonker zijn je pupillen groot zodat je het licht zo goed mogelijk benut.

**Accommoderen**: Als de voorwerpsafstand v verandert en de beeldafstand b is constant, zal volgens de lenzenformule de brandpuntsafstand f moeten veranderen. Dat gebeurt door een kring van spiertjes rond de ooglens die de ooglens platter en boller kunnen maken.

Als je naar een voorwerp in de verte kijkt, valt het licht bijna evenwijdig op het oog. De lens hoeft dan niet erg sterk te zijn om het voorwerp scherp af te beelden. De spiertjes in je oog zijn dan ontspannen en de ooglens is vrij plat. De brandpuntsafstand is relatief groot. Als je naar een voorwerp vlakbij kijkt, moet de lens het licht sterker afbuigen. De lens moet dus boller zijn en de brandpuntsafstand kleiner. In je oog trekken de spiertjes rond de ooglens samen, waardoor die boller wordt.

Als je **bijziend** bent, zie je voorwerpen ver weg niet scherp. Dat komt doordat je ooglenzen in ongeaccommodeerde toestand te sterk zijn Het beeld van een voorwerp ver weg valt dan niet op maar voor het netvlies. Negatieve brillenglazen contactlenzen lossen dat probleem op. Ze divergeren de lichtbundel voordat die op de ogen valt Het beeld komt dan weer op het netvlies.

Als je **verziend** bent, kun je voorwerpen vlakbij niet goed zien. De het is dan in geaccommodeerde toestand te zwak en het beeld valt achter netvlies. Positieve helpen ooglens een handje zodat er wel een scherp beeld op het netvlies ontstaat zien, maar moet je Als je verziend bent, kun je wel scherp in de verte voortdurend accommoderen. Dat is vermoeiend en je krijgt er hoofdpijn van.

Veel oudere mensen zijn **oudziend**. Hun ooglenzen hebben in ongeaccommodeerde toestand de goede sterkte zodat ze in de verte scherp kunnen zien. Maar ze kunnen minder goed accommoderen, waardoor de ooglens niet meer voldoende bol kan worden. Je kunt dan van dichtbij niet meer scherp zien en je hebt de hulp nodig van een leesbril met positieve lenzen.

S (sterkte in dioptrie (dpt.)) = 1 ÷ f (brandpuntsafstand in meters)