



Blok 3

INHOUD

BASISSTOF

T1	De fotocamera	66
W1		68
T2	De lens	69
W2		73
T3	Beeldvorming door een lens	76
W3		78
T4	De fotocamera en het oog	80
W4		85

HERHAALSTOF

H1	De eigenschappen van een lens	86
H2	Beeldconstructies	89
H3	Vergroting	92
H4	De lenzenformule	94

EXTRASTOF

E1	Brillen	95
E2	Meer over de fotocamera	100
E3	Oefenvragen en opgaven	106

LEERDOELEN

- 1 Je moet weten hoe een fotocamera zonder lens werkt. [P1, T1, W1]
- 2 Je moet weten waarvoor een diafragma dient. [P1, T1, W1]
- 3 Je moet weten hoe het beeld bij een fotocamera zonder lens verandert als je een diafragma gebruikt. [P1, T1, W1]
- 4 Je moet kunnen verklaren waarom het beeld bij een camera zonder lens onscherp is en bij een camera met lens scherp. [P1, T1, W1]
- 5 Je moet kunnen verklaren waarom het beeld bij een fotocamera op zijn kop staat. [P1, T1, W1]
- 6 Je moet weten wat we onder beeldafstand b en voorwerpsafstand v verstaan. [P1, T1, W1]
- 7 Je moet weten hoe de beeldafstand verandert bij een grotere of kleinere voorwerpsafstand. [P1, T1, W1, P2, T2, W2]
- 8 Je moet weten wat we onder de convergerende werking van een bolle lens verstaan en op welke manier deze afhangt van de brandpuntsafstand. [P1, T1, W1, P2, T2, W2]
- 9 Je moet weten waarom je bij een camera met lens scherp moet stellen. [P1, T1, W1, P4, T4, W4]
- 10 Je moet weten wat we onder goede beeldvorming verstaan. [P1, T1, W1, P4, T4, W4]
- 11 Je moet weten hoe evenwijdige lichtstralen gebroken worden door een bolle lens. [P2, T2, W2]

Lichtbeelden



- 12** Je moet weten wat we onder de brandpunten en de brandpuntsafstand f van een lens verstaan. [P2, T2, W2]
- 13** Je moet weten hoe je de brandpuntsafstand van een lens bepaalt. [P2, T2, W2]
- 14** Je moet weten wat we onder de hoofdas en onder het optisch middelpunt van een lens verstaan. [P2, T2, W2]
- 15** Je moet weten hoe evenwijdig invallende stralen gebroken worden door een holle lens. [P2, T2, W2]
- 16** Je moet de loop van de drie bijzondere lichtstralen door een bolle lens kunnen tekenen. [P2, T2, W2]
- 17** Je moet met behulp van de drie bijzondere lichtstralen het beeld B van een gegeven voorwerp L kunnen construeren:
- a** als de voorwerpsafstand groter is dan de brandpuntsafstand ($v > f$);
 - b** als de voorwerpsafstand kleiner is dan de brandpuntsafstand ($v < f$). [P2, T2, W2, P3]
- 18** Je moet weten wat we bedoelen met een reëel beeld en met een virtueel beeld. [T2, W2]
- 19** Je moet weten onder welke omstandigheden een reëel beeld of een virtueel beeld ontstaat. [T2, W2]
- 20** Je moet weten dat een holle lens een divergerende werking heeft. [T2, W2]
- 21** Je moet de lenzenformule kennen en ermee kunnen rekenen bij de vorming van een reëel beeld. [P3, T3, W3]
- 22** Je moet het begrip vergroting kennen. [P3, T3, W3]
- 23** Je moet weten hoe je de vergroting berekent uit:
- a** de grootte van het beeld en van het voorwerp;
 - b** de beeldafstand en de voorwerpsafstand. [P3, T3, W3]
- 24** Je moet weten hoe de vergroting gebruikt wordt bij een vergrotingstoestel en een diaprojector. [P3, T3, W3]
- 25** Je moet de werking van de ooglenzen kennen. [P4, T4, W4]
- 26** Je moet weten hoe de brandpuntsafstand van het oog verandert als bij gelijkblijvende beeldafstand de voorwerpsafstand verandert. [P4, T4, W4]
- 27** Je moet weten wat we onder het accommoderen van het oog verstaan. [P4, T4, W4]
- 28** Je moet drie oogafwijkingen kennen en weten hoe je deze kunt corrigeren met een bril. [T4, W4]
- 29** Je moet weten hoe de keuze van het diafragma afhangt van de weersomstandigheden. [T4]
- 30** Je moet weten hoe de keuzen van belichtingstijd en diafragma met elkaar samenhangen. [T4]

T1 De fotocamera

Met een fotocamera worden beelden van voorwerpen vastgelegd. Een camera vormt van zo'n voorwerp een beeld door het licht dat het voorwerp uitzendt of terugkaatst, op te vangen. Bij een camera zonder lens is de beeldvorming vrij primitief. Er ontstaat dan geen scherp beeld.

In figuur 1 is de stralengang bij een camera zonder lens getekend. Marlies staat voor de camera. Zij kaatst het licht dat op haar valt, in alle richtingen terug. Vanuit elk punt van Marlies valt een heel smal lichtbundeltje in de camera. Twee van deze bundeltjes zijn getekend in figuur 1. Aan de hand van de tekening kun je zien dat elke punt van Marlies als vlekje wordt afgebeeld.

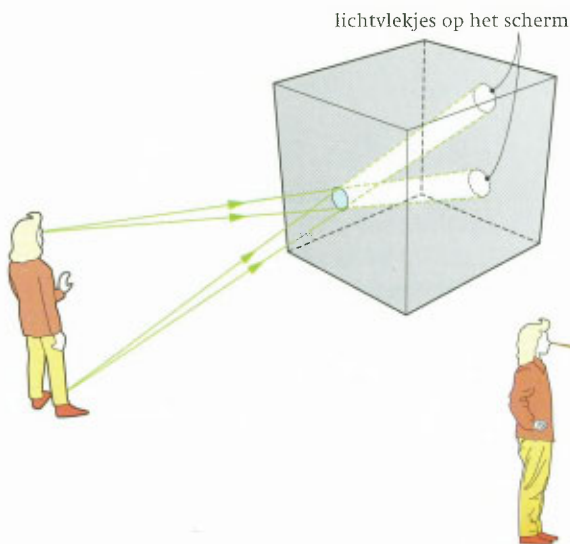
Het topje van haar neus wordt een vlekje. Het puntje van haar schoen wordt ook een vlekje. Het beeld is dus onscherp.



CAMERA OBSCURA

Een camera zonder lens wordt een camera obscura genoemd (Latijn voor: donkere kamer).

FIG. 1 De stralengang bij een camera obscura.



Met een verstelbare opening, een *diafragma*, kan het doorgelaten bundeltje smaller gemaakt worden. De vlekjes worden dan kleiner. Het beeld wordt daardoor iets scherper. Toch blijven het vlekjes.

Het nadeel van een kleine opening is dat er minder licht in de camera valt. Het beeld wordt donkerder (minder lichtsterk).

Je kunt het beeld van de camera verbeteren door een lens te gebruiken. Een lens bestaat uit glas of kunststof. Als de lens in het midden dikker is dan aan de zij-kanten, noemen we het een *bolle lens*. Met een bolle lens kun je het licht van een bundel samenbrengen naar één punt. De lens zorgt ervoor dat de stralen in de camera niet verder uiteenlopen, maar juist naar elkaar toelopen. We noemen dit *convergeren*. De vlekjes op de achterwand worden nu punten. Wanneer de camera goed is ingesteld, ontstaat een scherpe afbeelding van het voorwerp op de achterwand (figuur 2).

FIG. 2 De stralengang bij een camera met lens.

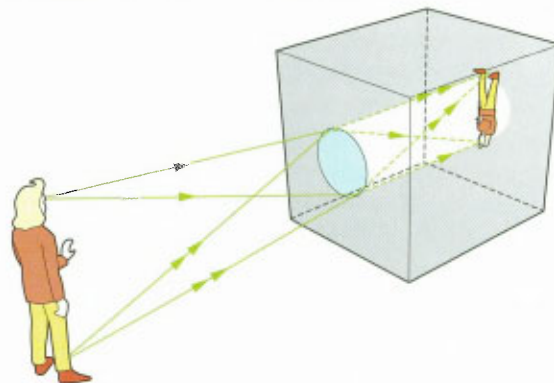
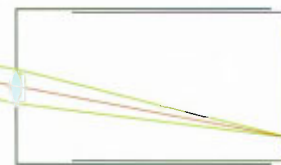


FIG. 3 Het beeld bij een camera met lens.



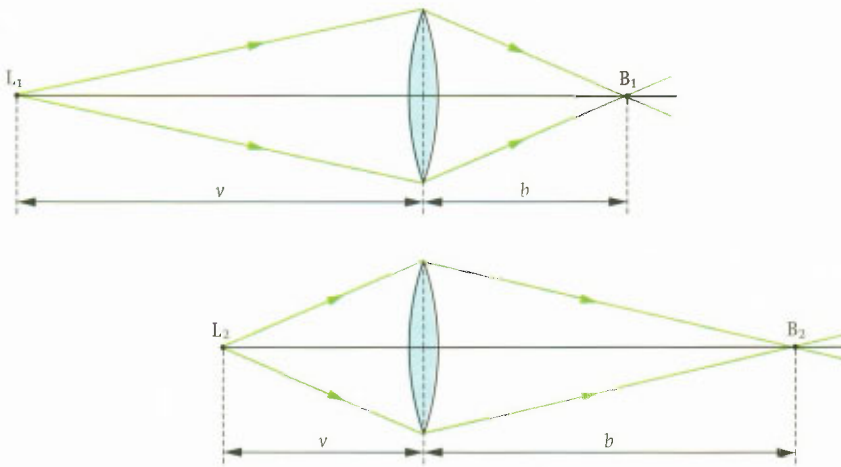


FIG. 4 De plaats van het beeld verandert als het voorwerp dichterbij komt.

Je ziet dat het voorwerp door de lens omgekeerd wordt afgebeeld. In figuur 3 zie je van opzij hoe het puntje van de neus van Marlies wordt afgebeeld.

Je moet de camera scherp stellen om een scherp beeld van een voorwerp te krijgen. Bij een dichtbij gelegen voorwerp moet je de afstand tussen de lens en de achterwand vergroten. Bij een ver weg gelegen voorwerp moet je de afstand tussen de lens en de achterwand verkleinen.

De afstand tussen de lens en de achterwand noemen we de beeldafstand b . De afstand tussen het voorwerp en de lens heet de voorwerpsafstand v .

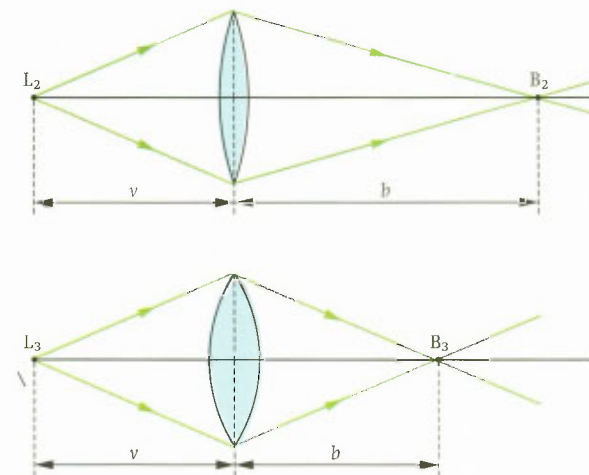
Blijkbaar geldt voor een bolle lens:

- als de voorwerpsafstand v groter wordt, wordt de beeldafstand b kleiner;
- als de voorwerpsafstand v kleiner wordt, wordt de beeldafstand b groter.

Dit is afgebeeld in figuur 4. Het voorwerp L_2 staat dichterbij dan L_1 . De lichtstralen lopen verder uiteen. De lens heeft dan meer moeite om de lichtstralen bij elkaar te brengen. Het beeld B_2 ligt dan ook verder van de lens.

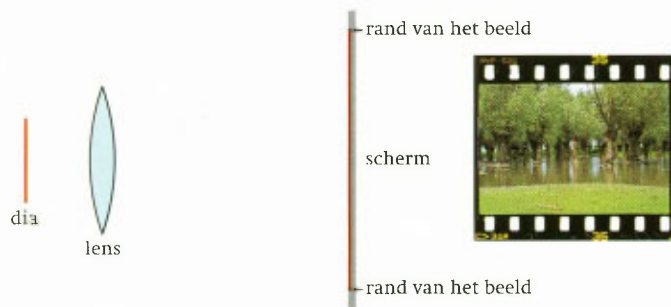
Vervang je de lens uit figuur 4 door een sterkere (= bollere) lens, dan ligt het beeld weer dichterbij de lens (figuur 5). De bollere lens is blijkbaar in staat om het licht meer af te buigen. We zeggen dat de bollere lens sterker convergeert.

FIG. 5 Een bollere lens convergeert sterker.



- 1 Wat bedoelen we bij de beeldvorming van een lens met:
 - a een scherp beeld;
 - b de voorwerpsafstand;
 - c de beeldafstand;
 - d het convergeren van licht;
 - e het diafragma?
- 2 Wat gebeurt er met het beeld van een camera zonder lens bij verkleining van het diafragma, als je let op:
 - a de scherpste van het beeld;
 - b de grootte van het beeld;
 - c de helderheid van het beeld?
- 3 Welke voordelen heeft een camera met lens boven een camera zonder lens?

FIG. 6 Het beeld van een dia op een scherm.



- 4 Hoe moet je bij een camera met lens de beeldafstand veranderen:
 - a als je een scherp beeld wilt van een voorwerp dichterbij;
 - b als je een bollere lens gebruikt en het voorwerp op dezelfde plaats blijft?
- 5 Een lens beeldt een dia af op een scherm (figuur 6). De randen van het beeld zijn in de tekening aangegeven.

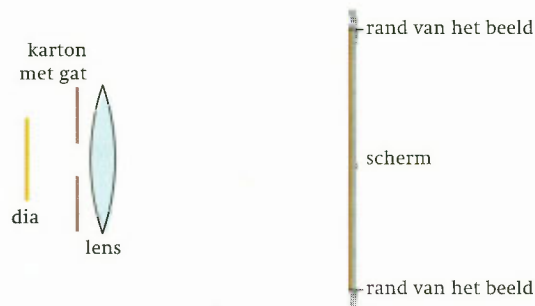
Neem de tekening over.

 - a Teken de lichtbundel die vanuit het bovenste punt van de dia via de lens op het scherm valt.
 - b Teken met een andere kleur de lichtbundel vanuit het onderste punt van de dia.
- 6 Je verkleint de opening van de lens uit opgave 5 (figuur 7) met een stukje karton waar een gat in zit. De voorwerpsafstand is niet veranderd.
 - a Hoe verandert het beeld van een camera met lens als je een kleiner diafragma neemt?

Neem de tekening over.

 - b Teken opnieuw de lichtbundel die vanuit het bovenste punt van de dia op het scherm valt.
 - c Teken met een andere kleur de bundel vanuit het onderste punt.

FIG. 7 Beeldvorming met een kleiner diafragma.



Je kunt de eigenschappen van een bolle lens onderzoeken door bijzondere lichtstralen of lichtbundels op de lens te laten vallen. De loop van de lichtstralen wordt door de lens veranderd. We noemen dit *lichtbreking* (figuur 8).

De belangrijkste eigenschappen van de lens worden hierna besproken.

Hoofdas en optisch middelpunt

De lijn die door het midden van de lens gaat en loodrecht op de lens staat, heet de hoofdas. Het midden van de lens noemen we het optisch middelpunt O (figuur 9).

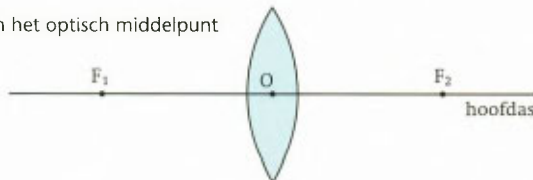


DE LIGGING VAN HET OPTISCH MIDDELPUNT
Eigenlijk is het optisch middelpunt hier het punt dat precies tussen beide brandpunten ligt, zodat $F_1O = OF_2$. Alleen bij symmetrische lenzen valt O samen met het midden van de lens.

FIG. 8 Het aansteken van een krant door convergentie van zonnestralen met een bolle lens.



FIG. 9 De hoofdas, beide brandpunten en het optisch middelpunt bij een lens.



Brandpunt, brandpuntsafstand en brandvlak

Evenwijdige lichtstralen die loodrecht op de lens vallen, komen altijd samen in één punt: het brandpunt F (F van focus; dit betekent: brandpunt).

Een lens heeft twee brandpunten, één links, en één rechts van de lens. Beide brandpunten liggen op de hoofdas en even ver van het optisch middelpunt (figuren 10 en 11). De afstand van het brandpunt tot het optisch middelpunt heet de brandpuntsafstand f . De brandpuntsafstand is een eigenschap van de lens zelf, waaraan je niets kunt veranderen.

Een vlak door een brandpunt dat loodrecht op de hoofdas staat heet een *brandvlak* (zie figuur 10).

FIG. 10 Een evenwijdige bundel van links gaat door het brandpunt rechts van de lens.

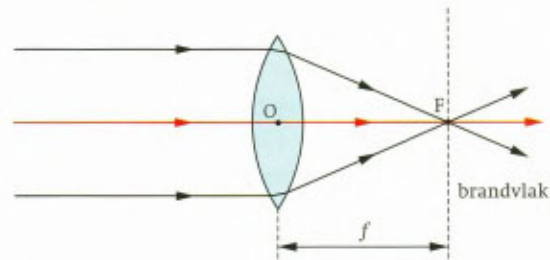
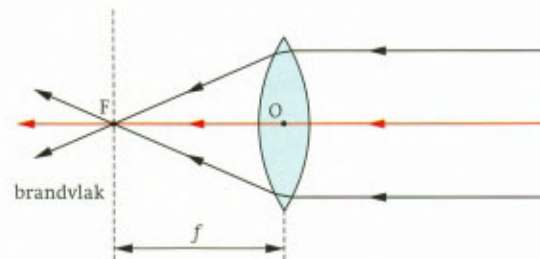


FIG. 11 Een evenwijdige bundel van rechts gaat door het brandpunt links van de lens.

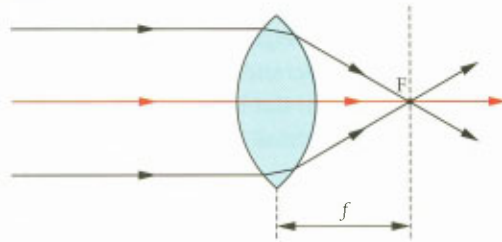


Sterkte van de lens

Een bollere lens heeft een kleinere brandpuntsafstand (figuur 12). Zo'n lens noemen we sterker. Hij convergeert sterker. (Convergeren betekent: de lichtstralen bij elkaar brengen.)

Een lens is dus sterker als de brandpuntsafstand kleiner is.

FIG. 12 Brandpunt bij een bollere lens: de brandpuntsafstand is kleiner.

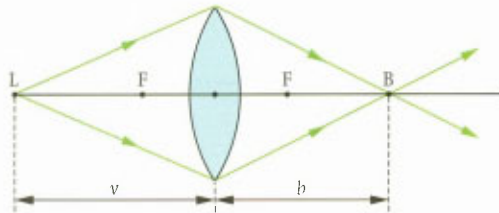


Voorwerpsafstand en beeldafstand

De afstand van een voorwerp L tot de lens heet de voorwerpsafstand v (figuur 13). De afstand van het beeld B tot de lens heet de beeldafstand b .

De voorwerpsafstand en de beeldafstand kun je veranderen door de afstand tussen de lens en het voorwerp te veranderen. Als bij een bolle lens de voorwerpsafstand toeneemt, wordt de beeldafstand kleiner en omgekeerd (zie figuur 4). De brandpuntsafstand van een lens kun je niet veranderen.

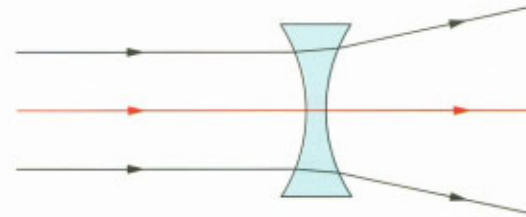
FIG. 13 Voorwerpsafstand en beeldafstand bij een bolle lens.



Holle lens

Als een bundel evenwijdige stralen op een holle lens valt, lopen de stralen na breking uit elkaar. De holle lens maakt van een evenwijdige bundel een *diverge-rende* bundel. De holle lens heeft dus een divergerende werking (figuur 14).

FIG. 14 De divergerende werking van een holle lens: de lichtstralen lopen na breking uit elkaar.



Positieve en negatieve lens

Voor de eenvoud stellen we een bolle lens voortaan voor door een lijn met een + teken erboven (figuur 15). Logischerwijs wordt een holle lens dan aangegeven door een lijn met een - teken erboven (figuur 16).

FIG. 15 Schematische voorstelling van de stralengang door een bolle lens.

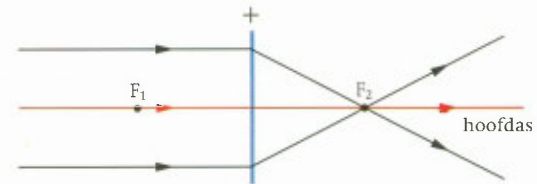
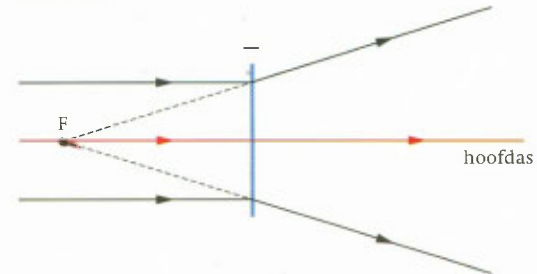


FIG. 16 De schematische voorstelling van de stralengang door een holle lens.

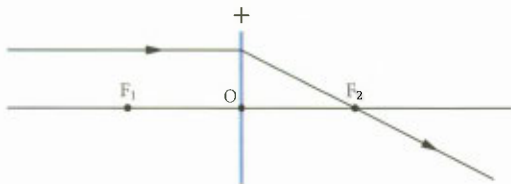


Drie bijzondere lichtstralen

Bij bolle lenzen onderscheiden we drie bijzondere lichtstralen:

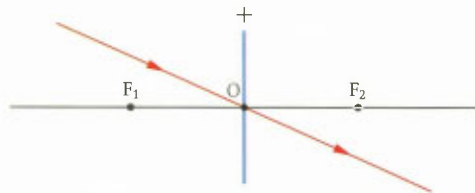
1 Alle lichtstralen die evenwijdig aan de hoofdas op de lens vallen, gaan na breking door het brandpunt F_2 (figuur 17).

FIG. 17 Een straal evenwijdig aan de hoofdas gaat na breking door het brandpunt.



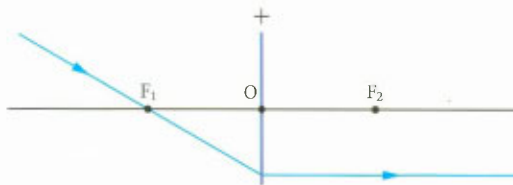
2 Lichtstralen door het optisch middelpunt O worden niet gebroken en gaan rechtdoor (figuur 18).

FIG. 18 Een straal door het optisch middelpunt gaat rechtdoor.



3 Lichtstralen die door het brandpunt F_1 op de lens vallen, gaan evenwijdig aan de hoofdas verder (figuur 19).

FIG. 19 Een straal door een brandpunt gaat na breking evenwijdig aan de hoofdas verder.



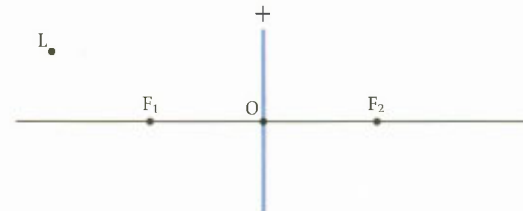
OPMERKING: Voor lichtstralen die van rechts op de lens vallen, moet je in punt 1 F_2 vervangen door F_1 en in punt 3 F_1 door F_2 . In de rest van dit hoofdstuk zullen we de lichtstralen echter steeds van links laten komen.

Beeldvorming bij een bolle lens

VOORWERPSAFSTAND GROTER DAN DE BRANDPUNTSAFSTAND

In de situatie dat $v > f$, kun je drie bijzondere lichtstralen gebruiken om bij een bolle lens het beeldpunt B te construeren (= zeer nauwkeurig tekenen). Het beeldpunt B is het punt waar alle lichtstralen, afkomstig vanuit het punt L, weer samenkomen (figuur 20). Als je van twee of drie lichtstralen weet hoe ze door de lens gebroken worden, kun je B vinden. Daardoor weet je hoe *alle* stralen lopen die vanuit L in B terechtkomen.

FIG. 20 Een lichtpunt L staat voor een bolle lens.



De eerste bijzondere lichtstraal (1) loopt vanuit L evenwijdig aan de hoofdas en gaat na breking door F_2 (figuur 21). De plaats van het beeldpunt B kun je nu nog niet bepalen.

De tweede bijzondere lichtstraal (2) loopt vanuit L door het optisch middelpunt O. Deze lichtstraal gaat rechtdoor. Beide stralen snijden elkaar in het beeldpunt B.

Je kunt de derde bijzondere lichtstraal (3) gebruiken om te controleren of je B op de juiste plaats hebt geconstrueerd.

In het beeldpunt B ontstaat een scherp beeld van het lichtpunt L. Alle lichtstralen vanuit L gaan dus na breking door de lens door B.

FIG. 21 Constructie van het beeldpunt van L.

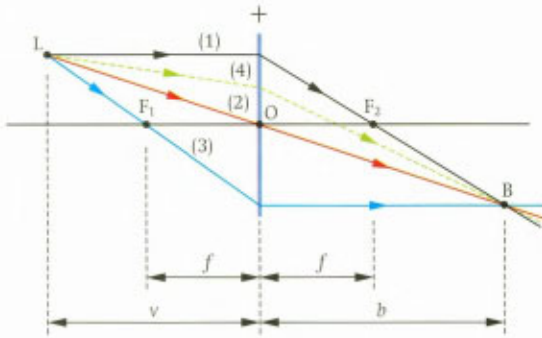


FIG. 22 De plaats van het beeld bij een kleinere voorwerpsafstand.

$f_1 = f_2 = 1,50$ cm. $v_1 = 2,80$ cm, $b_1 = 3,25$ cm;
 $v_2 = 2,35$ cm, $b_2 = 4,15$ cm.

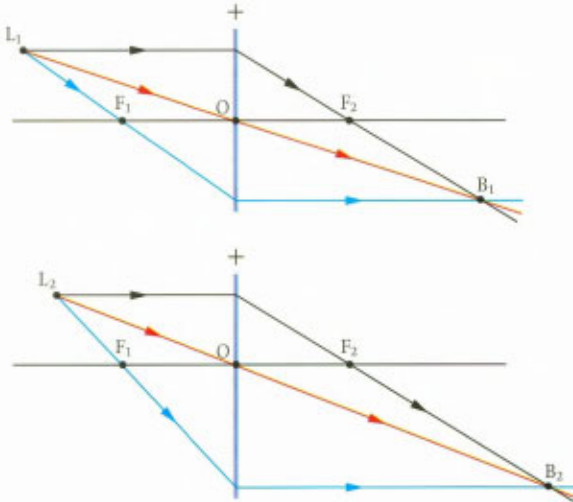
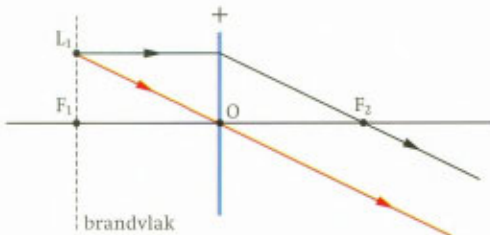


FIG. 23 Als het lichtpunt L samenvalt met het brandpunt (of in een punt van het brandvlak ligt), komt er een evenwijdige bundel uit de lens.



In figuur 21 is ook een willekeurige lichtstraal (4) van-
 uit L getekend, die na breking dus door B gaat.
 Omdat je het beeldpunt B op een scherm zichtbaar
 kunt maken, spreek je over een *reëel beeldpunt*.

VOORWERPSAFSTAND KLEINER DAN BRANDPUNTSAFSTAND

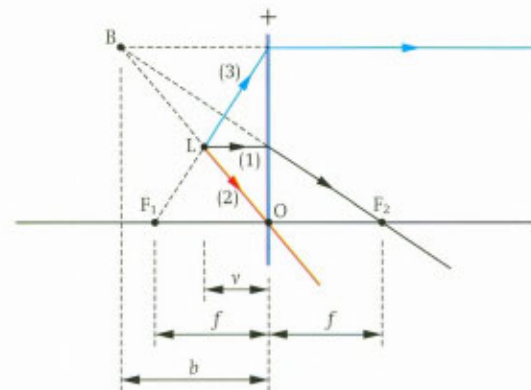
Als je de voorwerpsafstand kleiner maakt, wordt de
 beeldafstand groter (figuur 22).

Is de voorwerpsafstand gelijk aan de brandpunts-
 afstand, dan lopen de stralen die uit de lens komen
 evenwijdig (figuur 23). Er is dan geen beeldpunt meer.
 Maak je de voorwerpsafstand nòg kleiner, dan lopen
 de lichtstralen na breking uit elkaar. Deze stralen
 snijden elkaar niet aan de rechterkant van de lens
 (figuur 24). De stralen lijken uit een punt te komen
 dat links van de lens ligt!

Voor de drie bijzondere lichtstralen betekent dit
 (zie figuur 24):

- lichtstraal 1, evenwijdig aan de hoofdas, gaat na bre-
 king door F_2 ,
- lichtstraal 2 door O, gaat rechtdoor,
- lichtstraal 3, die uit F_1 lijkt te komen, gaat na bre-
 king evenwijdig aan de hoofdas verder.

FIG. 24 Als de voorwerpsafstand kleiner is dan de brandpunts-
 afstand, ontstaat een virtueel beeld.



De lichtbundel die uit de lens komt, divergeert. De lichtstralen lijken uit een punt te komen dat aan de linkerkant van de lens ligt. Dit punt noem je het beeldpunt B. Omdat je B niet op een scherm kunt afbeelden, noem je dit een *virtueel beeldpunt*. Je kunt zo'n beeldpunt wel zien, als je in de lens kijkt.

SAMENGEVAT

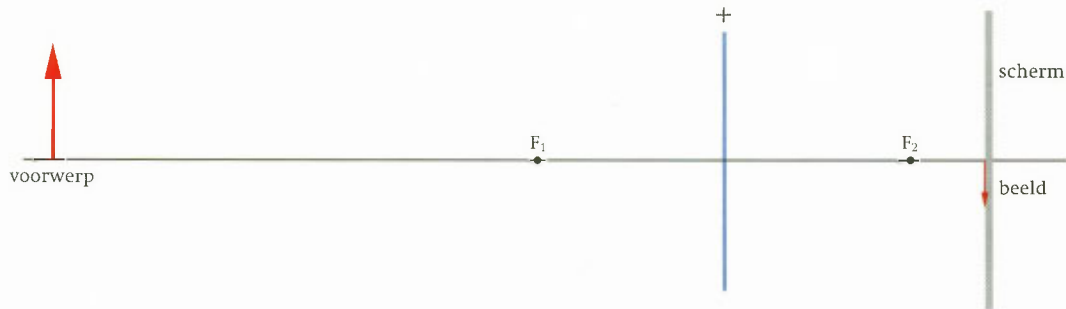
$v > f$ Je kunt met behulp van de drie bijzondere lichtstralen een reëel beeld construeren. Voorwerp en beeld liggen aan weerszijden van de lens. Deze situatie kom je tegen bij een fotocamera, het oog, een dia-projector en een vergrotingstoestel.

$v = f$ Er is geen beeld. Dit gebruik je als je een evenwijdige bundel wilt maken.

$v < f$ Je kunt met behulp van de drie bijzondere lichtstralen een virtueel beeld construeren. Voorwerp en beeld liggen dan aan dezelfde kant van de lens. Een virtueel beeld zie je bij een loep of vergrootglas.

- 1 Wat bedoelen we bij een lens met de begrippen:
 - a hoofdas;
 - b optisch middelpunt;
 - c brandpunt;
 - d lichtpunt (voorwerpspunt);
 - e beeldpunt;
 - f voorwerpsafstand;
 - g beeldafstand;
 - h brandpuntsafstand.
- 2 Wat is het verschil tussen de brandpuntsafstand van een lens en de beeldafstand?
- 3 Een voorwerp (het pijltje) wordt door een lens afgebeeld op een scherm (figuur 25). Meet in de tekening de voorwerpsafstand v , de beeldafstand b en de brandpuntsafstand f en noteer deze in je schrift.

FIG. 25 Een voorwerp afgebeeld op een scherm.



- 4 Wat is het verschil tussen de breking bij een bolle en een holle lens als er een evenwijdige bundel op valt?

- 5 Een bolle lens vormt van een lichtpunt L een beeldpunt op een scherm. In de tekening zijn de hoofdas en de beide brandpunten aangegeven (figuur 26).

a Hoe is in de tekening aangegeven dat het om een bolle lens gaat?

Neem de tekening over.

b Bepaal met behulp van de drie bijzondere lichtstralen de plaats van het beeldpunt.

c Meet de voorwerpsafstand en de beeldafstand.

d Wat voor soort lichtbundel komt er uit de lens?

- 6 Met dezelfde lens wil je een beeld vormen van een lichtpunt dat dichterbij staat (figuur 27).

Neem de tekening over.

a Bepaal met behulp van de drie bijzondere stralen de plaats van het beeldpunt.

b Meet de voorwerpsafstand en de beeldafstand.

c Hoe verandert de beeldafstand, als de voorwerpsafstand kleiner wordt?

FIG. 26 De beeldvorming bij een bolle lens.

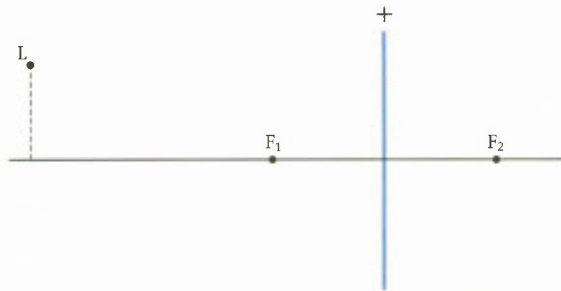


FIG. 27 De beeldvorming bij een kleinere voorwerpsafstand.

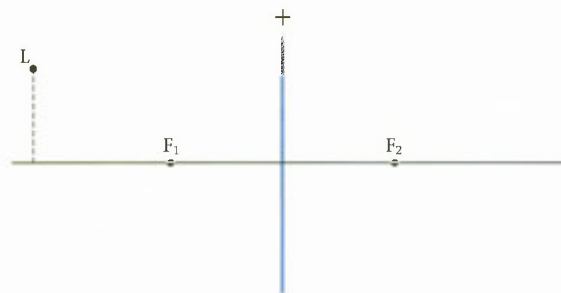
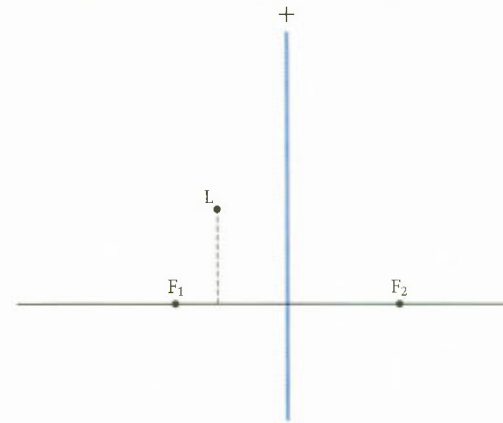


FIG. 28 Je maakt de voorwerpsafstand nóg kleiner.



- 7 Je verschuift het lichtpunt nóg verder naar de lens (figuur 28).

Neem de tekening over.

a Bepaal met behulp van de drie bijzondere lichtstralen de plaats van het beeldpunt.

b Wat voor soort lichtbundel komt er uit de lens?

c Hoe noem je het beeldpunt dat nu ontstaat?

- 8 **a** Wat is het verschil tussen een reëel en een virtueel beeld?

b Wanneer ontstaat bij een bolle lens een reëel beeld en wanneer een virtueel beeld?

- 9 De lens van een diaprojector beeldt een dia L_1L_2 af op een scherm (figuur 29). De dia wordt verlicht door een lamp, die links van de dia staat.

Neem de tekening over.

a Bepaal met behulp van de drie bijzondere lichtstralen de plaats van het beeldpunt van L_1 .

b Bepaal op dezelfde manier maar met een andere kleur de plaats van het beeldpunt van L_2 .

c Geef in de tekening de plaats van het beeldpunt van L_3 aan. (Geen lichtstralen tekenen.)

d Waar moet je het scherm plaatsen om een scherp beeld van de dia te krijgen?

e Wat valt je op als je de stand van de dia - ten opzichte van de hoofdas - vergelijkt met de stand van het beeld?

FIG. 29 De beeldvorming bij een diaprojector.

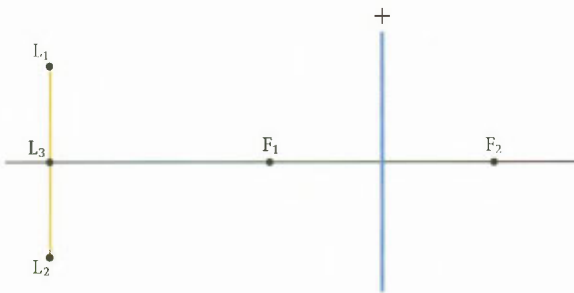


FIG. 30b Het beeld van een dia op een scherm.

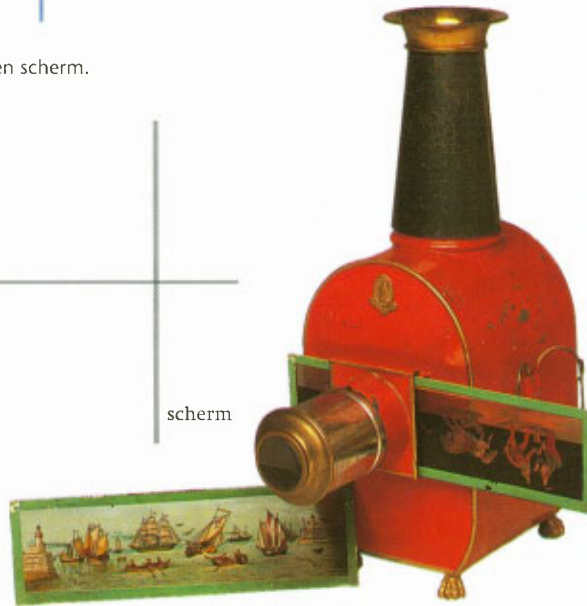
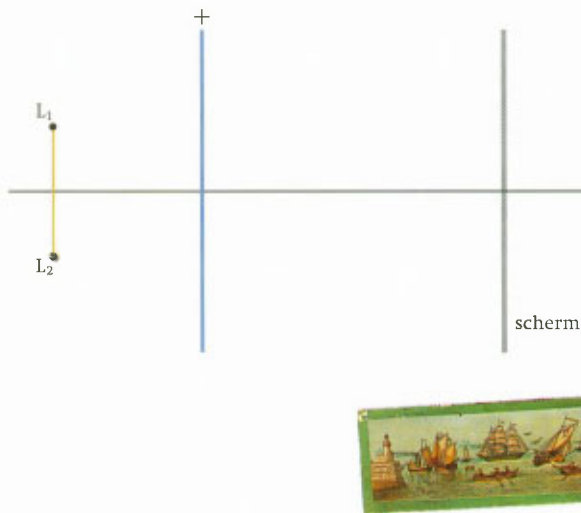


FIG. 30a Een ouderwetse 'toverlantaarn' (voorloper van de diaprojector).

- 10** Een dia L_1L_2 wordt door de lens van een diaprojector scherp afgebeeld op een scherm (figuur 30b).
 Neem de tekening over.
- a** Bepaal de plaats van het beeld van L_1 op het scherm.
 - b** Bepaal de plaats van het brandpunt van de lens en meet de brandpuntsafstand.
 - c** Hoe moet je het scherm verplaatsen om een groter beeld te krijgen?
 - d** Hoe moet je de lens verplaatsen om bij een groter beeld een scherp beeld te krijgen?

T3 Beeldvorming door een lens

Vergroting

Met een lens kun je een beeld vormen van een voorwerp. Meestal is de grootte van het beeld niet gelijk aan de grootte van het voorwerp. Zo vormt de lens in een camera een klein beeld op de film. Bij een dia-projector ontstaat een groot beeld op het scherm. Met de vergroting N bedoelen we de verhouding tussen de beeldgrootte en de voorwerpsgrootte:

$$\text{vergroting } N = \frac{\text{grootte van het beeld}}{\text{grootte van het voorwerp}} = \frac{B_1 B_2}{L_1 L_2}$$

VOORBEELD 1: Een bolle lens vormt van een kaars van 6 cm een beeld van 12 cm. De vergroting is dan:

$$N = \frac{12 \text{ cm}}{6 \text{ cm}} = 2$$

Het beeld is dus twee maal zo groot als het voorwerp. Als op het scherm een beeld ontstaat dat kleiner is dan het voorwerp, is de vergroting kleiner dan 1. Bij proeven met de lens kun je een verband ontdekken tussen de vergroting, de voorwerpsafstand en de beeldafstand. Het blijkt dat de vergroting gelijk is aan de verhouding tussen b en v :

$$N = \frac{b}{v}$$

Met behulp van deze formule kun je de grootte van een voorwerp bepalen als de beeldgrootte, de voorwerpsafstand en de beeldafstand bekend zijn. Vooral voor kleine voorwerpen kan dit van belang zijn.

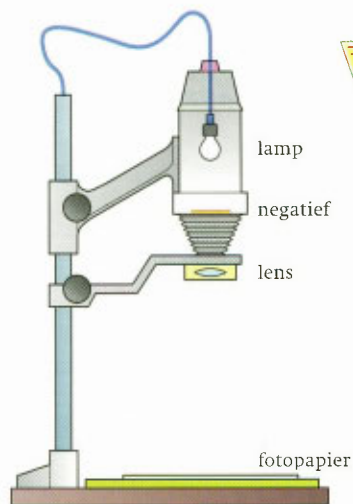
VOORBEELD 2: De dikte van een gloeidraad van een lamp kun je niet rechtstreeks meten. Met een lens beelden we de gloeidraad van de (heldere) lamp af op een scherm. Als de voorwerpsafstand 10 cm is, blijkt de beeldafstand 200 cm. Voor de vergroting vind je dan:

$$N = \frac{200 \text{ cm}}{10 \text{ cm}} = 20$$

Het beeld is dus 20 keer zo groot als het voorwerp. Als de beeldgrootte (= de dikte van de gloeidraad) 1,0 cm is, is de dikte van de gloeidraad in werkelijkheid:

$$\frac{1}{20} \times 1 \text{ cm} = 0,05 \text{ cm}$$

Een ander toestel dat gebruik maakt van de vergroting door een lens is het *vergrotingsapparaat* (figuur 31).



WERKEN MET EEN VERGROTINGSAPPARAAT

Het werken met een vergrotingsapparaat vereist enige vaardigheid. Als de voorwerpsafstand verandert, verandert niet alleen de beeldafstand maar ook de afstand van het negatief tot het fotografisch papier (= $v + b$). Je moet eerst het formaat kiezen van de afdruk die je wilt maken. Door het hele vergrotingsapparaat (lens en negatief) omhoog of omlaag te draaien kun je de vergroting instellen (keuze van b). Daarna zorg je door de lens te verdraaien (aanpassen van v) voor een scherp beeld.

FIG. 31 Een schematische voorstelling van een vergrotingsapparaat.

Een vergrotingsapparaat wordt gebruikt om een afdruk te maken van een foto-negatief op fotografisch papier.

Doordat de lens verschoven kan worden is de voorwerpsafstand instelbaar. Kies je een bepaalde voorwerpsafstand, dan ligt de beeldafstand vast en daarmee ook de grootte van de afbeelding. Maak je de voorwerpsafstand kleiner, dan wordt de beeldafstand groter. De vergroting neemt daardoor toe. Er ontstaat dus een grotere afbeelding.

De lenzenformule

Als een lens een beeld vormt van een voorwerp, hangt de plaats van het beeld af van de plaats van het voorwerp en de brandpuntsafstand van de lens. Uit proeven met een lens blijkt dat de beeldafstand toeneemt, als de voorwerpsafstand kleiner wordt en omgekeerd. Op het eerste gezicht valt daar geen verband tussen te ontdekken. Dat verband wordt pas duidelijk als je gaat rekenen. Het blijkt dat de breuken

$$\frac{1}{v} \text{ en } \frac{1}{b}$$

samen steeds hetzelfde getal opleveren. Dit getal is steeds gelijk aan

$$\frac{1}{f} \text{ (} f \text{ is de brandpuntsafstand).}$$

In formulevorm schrijven we dit als volgt:

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

We noemen dit de *lenzenformule*.

Rekenen aan de beeldvorming

Je hebt nu drie formules gevonden waarmee je berekeningen kunt uitvoeren aan de beeldvorming:

$$1 \quad N = \frac{B_1 B_2}{L_1 L_2}$$

$$2 \quad N = \frac{b}{v}$$

$$3 \quad \frac{1}{v} + \frac{1}{b} = \frac{1}{f}$$

Nu volgen twee voorbeelden waarbij je deze formules kunt toepassen.

VOORBEELD 1: Een voorwerp staat 7 cm voor een lens. De lens vormt van het voorwerp een scherp beeld op een scherm 17 cm achter de lens.

Je kunt de brandpuntsafstand als volgt berekenen:
 $v = 7$ cm en $b = 17$ cm.

$$\frac{1}{v} + \frac{1}{b} = \frac{1}{7} + \frac{1}{17} = 0,143 + 0,059 = 0,202$$

$$\frac{1}{f} = 0,202 \rightarrow f = \frac{1}{0,202} = 4,96 \text{ cm}$$



BRUKEN BEREKENEN

Voor het berekenen van breuken kun je een rekenmachine gebruiken.

Met de rekenmachine:

$$7 \text{ [1/x][+]} \text{ 17 [1/x][=]}$$

Het tussenresultaat is

$$\frac{1}{f}$$

Om f te vinden toets je weer $[1/x]$ in.

VOORBEELD 2: Een lens met een brandpuntsafstand van 10 cm vormt van een kaars een beeld op een scherm. De kaars is 8 cm lang en staat 15 cm voor de lens.

De grootte van het beeld kun je in drie stappen berekenen. Eerst moet je de beeldafstand berekenen. Daarna bereken je de vergroting en de grootte van het beeld. $f = 10$ cm en $v = 15$ cm

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

$$\frac{1}{15} + \frac{1}{b} = \frac{1}{10}$$

$$\frac{1}{b} = 0,10 - 0,067 = 0,033$$

$$b = \frac{1}{0,033} = 30 \text{ cm}$$

Voor de vergroting vind je nu:

$$N = \frac{b}{v} = \frac{30 \text{ cm}}{15 \text{ cm}} = 2$$

Het beeld is dus twee maal zo groot als het voorwerp. Het beeld van de kaars is dus $2 \times 8 = 16$ cm.

1 Een lens vormt op een scherm een scherp beeld van een kaars van 12 cm. Het beeld van de kaars is 30 cm lang.

Bereken de vergroting.

2 Met een camera maak je een foto van een meisje dat 170 cm lang is. Het beeld op de film is 2,1 cm groot.

Bereken de vergroting.

3 Met een diaprojector projecteer je een dia van 24 bij 36 mm op een scherm. Het beeld op het scherm is 120 bij 180 cm.

a Bereken de vergroting.

Het scherm staat 4,0 m van de lens van de projector.

b Bereken de afstand tussen de dia en de lens.

4 Met een lens maak je een beeld van een kaars op een scherm. Op het scherm ontstaat een verkleind beeld. Je schuift de kaars langzaam naar de lens.

a In welke richting moet je het scherm verschuiven om steeds een scherp beeld te krijgen?

b Wat gebeurt er met de grootte van het beeld?

c Wanneer is het beeld van de kaars even groot als de kaars zelf?

d Waarom is er geen beeld meer, als de kaars in het brandpunt van de lens staat?

5 Een voorwerp staat 24 cm voor een lens met een brandpuntsafstand van 8 cm.

Bereken de beeldafstand.

6 Een bolle lens vormt een beeld van een voorwerp (figuur 32).

a Meet in de tekening de voorwerpsafstand en de beeldafstand.

b Bereken de brandpuntsafstand van de lens.

c Bereken de vergroting.

FIG. 32 Een beeld gevormd door een bolle lens.

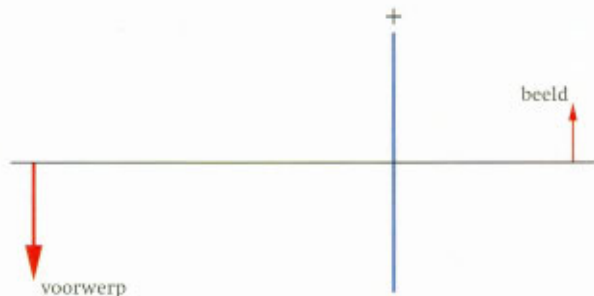


FIG. 33 Beeldvorming door een bolle lens.

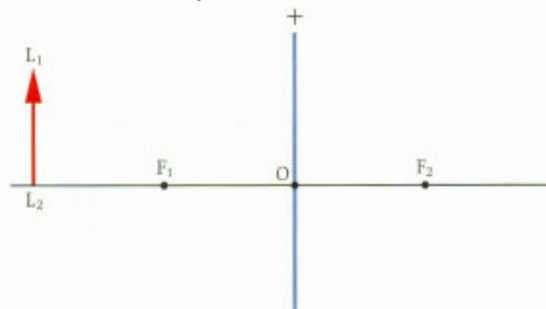
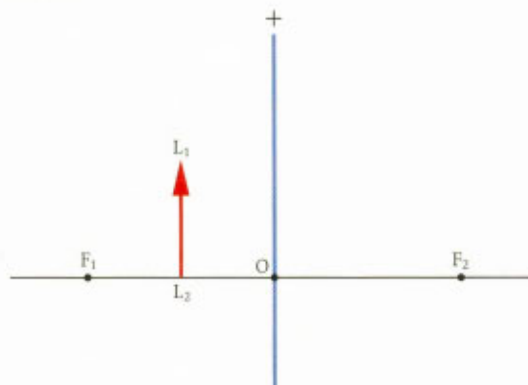


FIG. 34 Een voorwerp binnen brandpuntsafstand bij een bolle lens.



- 7 Een lens met een brandpuntsafstand van 10 cm vormt van een voorwerp een scherp beeld op een scherm. Het scherm staat 50 cm achter de lens.
 - a Bereken de voorwerpsafstand.
 - b Bereken de vergroting.
- 8 De gloeidraad van een lamp staat 24 cm voor een lens. Op een scherm 72 cm achter de lens ontstaat een scherp beeld van de gloeidraad.
 - a Bereken de brandpuntsafstand van de lens.
 - b Bereken de vergroting.
- 9 Een bolle lens vormt een scherp beeld van een voorwerp op een scherm (figuur 33).
 - a Meet in de tekening de voorwerpsafstand, de brandpuntsafstand en de grootte van het voorwerp.
 - b Neem de tekening over en bepaal met behulp van de drie bijzondere lichtstralen de plaats en de grootte van het beeld.
 - c Meet de beeldafstand en de grootte van het beeld.
 - d Bereken de beeldafstand met de lenzenformule.
 - e Bereken de vergroting.
 - f Vergelijk de berekende waarden met de gemeten waarden.
- 10 Een bolle lens vormt een beeld van een voorwerp (figuur 34).
 - a Construeer het beeld en meet de beeldafstand.
 - b Is het beeld reëel of virtueel?

- 11 Een diaprojector heeft een lens met een brandpuntsafstand van 8,0 cm. In de projector zit een dia van 24 bij 36 mm op 8,4 cm van de lens.
 - a Bereken hoe ver het scherm van de lens moet staan om een scherp beeld te krijgen.
 - b Bereken de grootte van het beeld op het scherm.
- 12 Met een vergrotingsapparaat maak je een afdruk van een negatief op briefkaartformaat. Het negatief van 24 bij 36 mm wordt belicht door een sterke lamp. De lens van het vergrotingstoestel vormt een scherp beeld van 10 bij 15 cm. De afstand tussen de lens en het fotografisch papier is 50 cm.
 - a Bereken de vergroting.
 - b Bereken de brandpuntsafstand van de gebruikte lens.
 - c Op welke manier kun je een afdruk maken op een kleiner formaat? Licht je antwoord toe.

T4 De fotocamera en het oog



FIG. 35 Foto van een opengewerkt fototoestel.

Als je de werking van een fotocamera vergelijkt met de werking van het oog, ontdek je een aantal interessante overeenkomsten. Bij de ontwikkeling van de camera is goed naar het voorbeeld van het oog gekeken.

Wil je nog meer weten over de fotocamera en/of de werking van het oog en/of het gebruik van een bril, dan kun je extrastof doen die hierover gaat.

De fotocamera

Tegenwoordig kan bijna iedereen een goede foto maken. De moderne camera is zo gebouwd dat er bijna niets mis kan gaan. Vroeger was dat wel anders. In de begintijd van de fotografie was er veel kennis en vaardigheid nodig om een goede foto te maken. Alleen een beroepsfotograaf kon met zo'n oude camera overweg.

In de loop van de tijd is er veel veranderd en verbeterd aan de fotocamera. Het is daardoor steeds gemakkelijker geworden om een foto te maken die niet alleen scherp is, maar ook voldoende lichtsterk is en die geen vervorming vertoont.

De belangrijkste onderdelen in een moderne camera (figuur 35) zijn:

- de lens;
- de afstandinstelling;
- het diafragma;
- de sluiter;
- het filmtransport.



SOORTEN CAMERALENZEN

De brandpuntsafstand van een cameralens wordt meestal gegeven in mm. Een standaardlens op een kleinbeeldcamera (negatief-formaat 24 bij 36 mm) heeft een brandpuntsafstand van 50 mm. De *standaardlens* geeft op de foto een getrouwe afbeelding van de werkelijkheid, zonder veel vertekening. Een lens met een kleinere brandpuntsafstand ($f = 35$ mm en $f = 28$ mm) noemt men een *groothoeklens*. Met zo'n lens kun je een groot voorwerp van dichtbij op de foto zetten. Lenzen met een grotere brandpuntsafstand (bijvoorbeeld 135 of 205 mm) noemt men *telelenzen*.

De lens van een camera, ook wel het *objectief* genoemd, heeft meestal een brandpuntsafstand tussen de 3 en 5 cm. De lens moet voor een scherp beeld zorgen op de film.

Omdat de beeldafstand afhangt van de voorwerpsafstand, moet je de beeldafstand kunnen veranderen. Je moet de camera scherp kunnen instellen. Daarvoor dient de *afstandinstelling*.

Als je een foto wilt maken van een voorwerp dat ver weg staat, dan moet je de afstand instellen op oneindig (het symbool voor oneindig is ∞). De stralen die op de lens vallen lopen dan bijna evenwijdig en komen na breking samen in het brandpunt (figuur 36). De beeldafstand is in dit geval gelijk aan de brandpuntsafstand.

Je fotografeert nu een voorwerp dat dichterbij staat en laat de afstandinstelling op oneindig staan. Er ontstaat dan een onscherp beeld op de film (figuur 38). Om een scherp beeld te krijgen moet je de beeldafstand vergroten door de lens uit te draaien. De beeldafstand wordt dan groter dan de brandpuntsafstand (figuur 39).

Op de *afstandinstelling* staan de voorwerpsafstanden aangegeven. Stel je de camera op zo'n afstand in, dan vormt de lens van een voorwerp op die afstand een scherp beeld.



TELELENS EN ZOOMLENS

Met een *telelens* kun je een voorwerp dat veraf staat, 'dichtbij' halen (figuur 37). Sommige camera's zijn zo uitgevoerd dat je de standaardlens kunt verwisselen voor een tele- of een groot-hoeklens.

Makkelijker is een *zoomlens* (spreek uit: zoemlens). Dit is een lens waarvan je de brandpuntsafstand kunt regelen. Met een zoomlens $f = 35$ tot 205 mm kun je een willekeurige brandpuntsafstand kiezen tussen 35 en 205 mm.



FIG. 37 Een foto genomen met een 'gewone' lens en een foto genomen met een telelens.

FIG. 36 De stralengang bij een voorwerp dat ver weg staat.

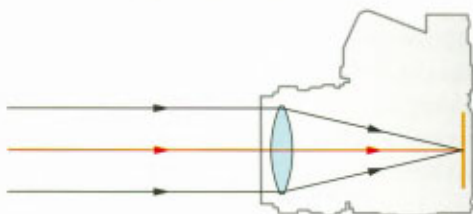


FIG. 38 De stralengang bij een voorwerp dat dichtbij staat zonder scherp te stellen.

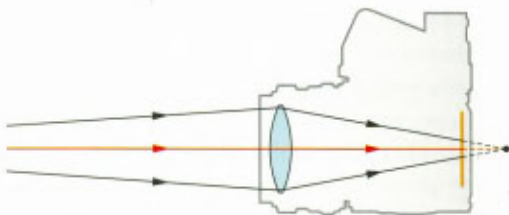
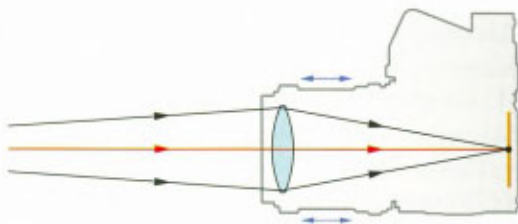


FIG. 39 De stralengang bij een voorwerp dat dichterbij staat, nu met scherpstellen.



In de fotocamera zit een film met een laagje lichtgevoelig materiaal. Als er te veel licht op de film valt, wordt deze overbelicht. Bij te weinig licht wordt de film onderbelicht. Met het diafragma kun je de hoeveelheid licht regelen die op de film valt. Het diafragma bestaat uit een opening waarvan je de grootte kunt regelen.

Bij stralend zonnig weer valt er veel licht op de lens. Door een kleine diafragma-opening (stand 'zon'; diafragma-nummer 22 of 16) te nemen, kun je ervoor zorgen dat de film niet overbelicht wordt. Bij somber, regenachtig weer moet je de diafragma-opening zo groot mogelijk nemen (stand 'wolken'; diafragma-nummer 2 of 2,8). De film wordt anders onderbelicht. De hoeveelheid licht die op de film valt, hangt niet alleen af van het diafragma. Je kunt ook de belichtingstijd regelen. Op het moment dat je de knop indrukt, wordt er een soort schermpje achter de lens weggetrokken. Het licht kan dan door de lens op de film vallen. De belichtingstijd bepaalt hoe lang het schermpje wordt weggetrokken.



DIAFRAGMAGETALLEN

Op de diafragmaring staan soms getallen oplopend van 1,7 tot 22: de diafragmagetallen. Bij het grootste getal hoort de kleinste diafragma-opening. Bij het kleinste getal staat het diafragma helemaal open. De lens laat dan al het opvallende licht door. De waarde van het kleinste getal hangt af van de diameter van de lens en de afstand lens-film.

FIG. 40 Een foto van een snel bewegend voorwerp gemaakt met een lange belichtingstijd. De achtergrond is scherp, maar het voorwerp zelf niet.

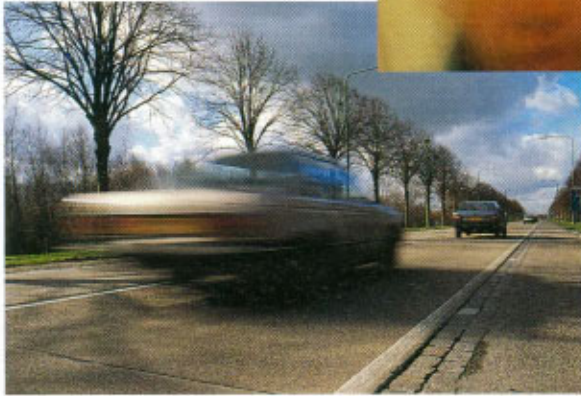
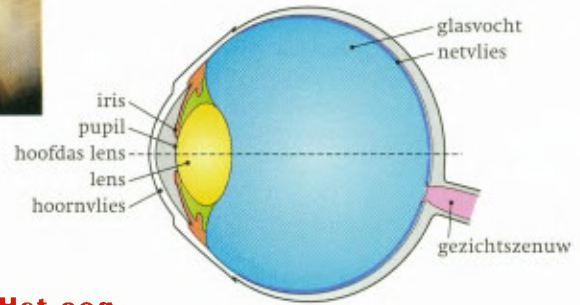


FIG. 41 Een onscherpe foto, doordat de camera tijdens de opname werd bewogen.

FIG. 42 Een schematische voorstelling van het oog.



Het oog

De belangrijkste onderdelen van het oog die bij de beeldvorming een rol spelen, zijn (figuur 42):

- de oog lens;
- de iris met de pupil;
- het netvlies.



DIAFRAGMA EN BELICHTINGSTIJD

De keuze van de belichtingstijd en het diafragma hangen met elkaar samen. Wil je snel bewegende voorwerpen fotograferen (sportfoto's), dan moet je een korte belichtingstijd kiezen ($1/500$ s), want anders wordt de foto onscherp (figuur 40). Daar hoort dan een groot diafragma ($1,8$) bij, want de lens moet in die korte tijd voldoende licht doorlaten.



STILSTAANDE VOORWERPEN FOTOGRAFEREN

Bij het fotograferen van stilstaande voorwerpen kun je langere belichtingstijden nemen, samen met een klein diafragma. De keuze van de langste belichtingstijd hangt af van de vaste hand van de fotograaf. Meestal lukt het nog wel om de camera $1/60$ s stil te houden. Voor nog langere belichtingstijden is een statief nodig, anders wordt de foto onscherp (figuur 41).



AUTOMATISCHE KOPPELING BELICHTINGSTIJD EN DIAFRAGMA

Bij moderne automatische camera's kiest de camera zelf de juiste belichtingstijd bij het ingestelde diafragma.

Wanneer je voorwerpen scherp ziet, vormt je oog lens een scherp beeld op je netvlies. Het netvlies bestaat uit lichtgevoelige cellen, die het opvallende licht omzetten in elektrische signalen. Deze signalen worden door de gezichtszenuw naar de hersenen geleid.

Om voorwerpen op verschillende afstanden scherp te kunnen zien, zou de beeldafstand steeds aangepast moeten worden. Bij de fotocamera gebeurt dit door de lens in of uit te draaien. Maar in het oog kan er niet met de lens of het 'scherm' (netvlies) geschoven worden. De beeldafstand is steeds gelijk.

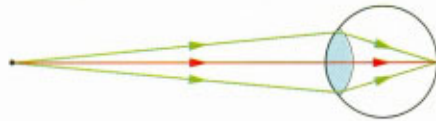
Om toch steeds een scherp beeld te krijgen past de oog lens zich aan. De oog lens kan meer of minder bol worden en daardoor het opvallende licht meer of minder convergeren. We noemen dit het *accommoderen* (letterlijk: aanpassen) van het oog.

Kijk je naar een voorwerp ver weg, dan valt er een bundel op je oog lens die bijna evenwijdig is. Je oog lens brengt de lichtstralen samen in één punt op je netvlies (figuur 43). Je oog is dan *niet-geaccommodeerd* en de lens is het minst bol.

FIG. 43 Stralengang bij een niet-geaccommodeerd oog.



FIG. 44 Stralengang als een voorwerp dichterbij staat.



Staat het voorwerp dichterbij, dan moet je ooglenzen meer convergeren. De lens moet dus boller zijn (figuur 44). Hoe dichterbij het voorwerp staat, des te meer je oog moet accommoderen.

De ooglenzen is het meest bol als het oog maximaal is geaccommodeerd. Het voorwerp staat dan in het *nabijheidspunt*. De *nabijheidspuntsafstand* is de kleinste mogelijke voorwerpsafstand waarbij je nog een scherp beeld ziet.

Het is meestal wel mogelijk om nòg dichterbij gelegen voorwerpen gedurende zeer korte tijd scherp te zien, maar dat is zeer vermoeiend. Voor een normaal oog varieert de nabijheidspuntsafstand van 15 cm (bij kinderen) tot 30 cm (bij volwassenen).

Je kunt een voorwerp alleen zien als er voldoende licht van het voorwerp op je netvlies terechtkomt. Bij te veel licht wordt je netvlies overbelicht. Net als bij de camera heeft je oog de mogelijkheid om de hoeveelheid licht te regelen. Daarvoor dient de *pupil*, de opening in de iris. Bij weinig licht is de pupil het grootst. Is er te veel licht, dan is de pupil het kleinste.

Oogafwijkingen

Een op de drie mensen heeft hulpmiddelen nodig om scherp te kunnen zien. Vroeger was dat goed te zien. Iemand met een oogafwijking droeg een bril. Met de komst van contactlenzen is dat niet meer zo duidelijk. Er zijn drie vaak voorkomende oogafwijkingen:

- bijziendheid;
- verziendheid;
- oudziendheid.

BIJZIENDHEID

Iemand die bijziend is, kan voorwerpen ver weg niet scherp zien. Wanneer het oog in rust is (ooglenzen niet-geaccommodeerd) convergeert de ooglenzen zó sterk dat het beeld vóór het netvlies komt te liggen (figuur 45). De ooglenzen is dus boller dan normaal.

Een holle lens kan ervoor zorgen dat er wèl een scherp beeld op het netvlies ontstaat (figuur 46). De holle lens heeft een divergerende werking. De lichtbundel die uit de bril op het bijziend oog valt, is sterker divergerend. Zodoende kan het (te sterk convergerende) oog hiervan nog wèl een scherp beeld op het netvlies vormen.

Een bijziende kan voorwerpen dichtbij wèl scherp zien zonder bril (vandaar de naam bijziende).

VERZIENDHEID

Iemand die verziend is, kan voorwerpen dichtbij niet scherp zien. Wanneer het oog in rust is (ooglenzen niet-geaccommodeerd), convergeert de ooglenzen te zwak. Daardoor ontstaat van een ver weg gelegen voorwerp een beeld achter het netvlies (figuur 47). De ooglenzen is dus minder bol dan normaal.

FIG. 45 Als de ongeaccommodeerde ooglenzen te bol is ontstaat een onscherp beeld.



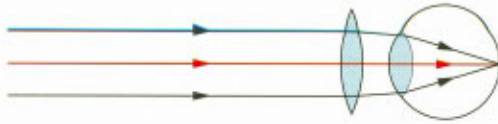
FIG. 46 Toepassing van een holle lens bij een bijziend oog.



FIG. 47 Beeldvorming bij een verziend, niet-geaccommodeerd oog.



FIG. 48 Toepassing van een positieve lens bij een verziend oog.



Een verziende moet dus accommoderen om van een voorwerp ver weg een beeld op het netvlies te krijgen. Dat is vermoeiend en leidt tot hoofdpijnklaften. Een bolle lens kan ervoor zorgen dat bij het ongeaccommodeerd oog wél een scherp beeld op het netvlies ontstaat (figuur 48). De lichtbundel die uit de bril op het verziend oog valt, is sterker convergerend.

Zodoende kan het (te zwak convergerende) oog hiervan nog wél een scherp beeld op het netvlies vormen. Een verziende ziet voorwerpen ver weg scherp (door te accommoderen) maar dichtbij niet (vandaar de naam verziende).

OUZDIENDHEID

Het oog van een oudziende gedraagt zich voor voorwerpen in de verte als een normaal oog. Maar van dichtbij gelegen voorwerpen kan dit oog geen scherp beeld meer vormen.

De oorzaak hiervan is dat door het ouder worden de ooglenzen een deel van zijn elasticiteit verliest. Bij een maximaal geaccommodeerd oog wordt de ooglenzen dan niet bol genoeg meer. Daardoor is de lens voor kleine voorwerpsafstanden te zwak convergerend. Van voorwerpen dichtbij komt het beeld achter het netvlies te liggen (figuur 49).

Mensen die last hebben van oudziendheid, lezen de krant meestal met gestrekte armen. Bij die (grotere) voorwerpsafstand ontstaat wel een scherp beeld, maar het beeld is wél minder duidelijk. Het voorwerp staat immers verder van het oog, zodat het beeld op het netvlies kleiner wordt. Daardoor zijn veel letters moeilijk te herkennen. En aan een voorwerp zijn details moeilijk te zien.

FIG. 49 Bij oudziendheid ligt het beeld van een voorwerp dichtbij (maximale accommodatie) achter het netvlies.

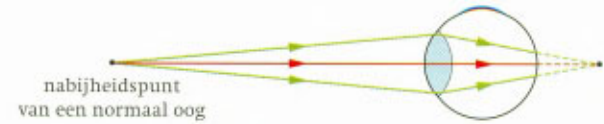
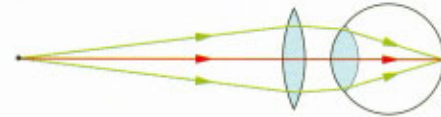


FIG. 50 Met een positieve lens kan een oudziende voorwerpen dichtbij wél scherp zien.



Met een bril met bolle lenzen kan ook bij kleinere voorwerpsafstanden voor een scherp beeld gezorgd worden (figuur 50). Het ver weg gelegen nabijheidspunt van de oudziende wordt door de bril dichtbij gehaald. De nabijheidspuntafstand wordt weer gelijk aan die bij een normaal oog. Het netvliesbeeld wordt dus ook weer groter.

Daardoor is het beeld zowel scherp als duidelijk.

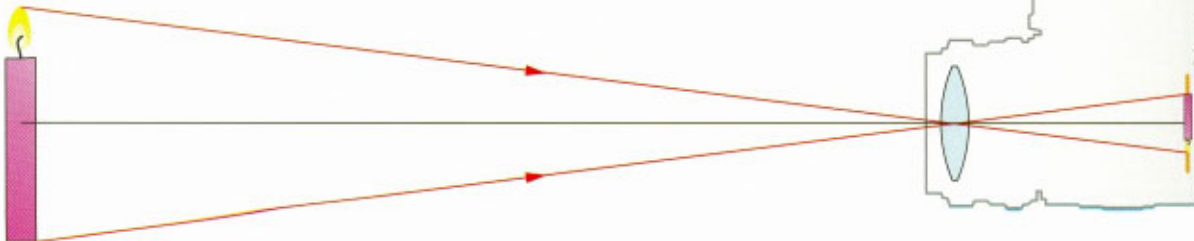
Iemand die oudziend is kan voorwerpen ver weg wél zonder accommoderen scherp zien (in tegenstelling tot een verziende). Je ziet veel oudere mensen dan ook lezen met een bril met halve glazen. Als ze iets ver weg willen zien, kijken ze over hun brilleglazen heen (figuur 51).

FIG. 51 Over de brilleglazen heen kijken.



- 1 Schrijf de belangrijkste onderdelen van een fotocamera op. Geef bij elk onderdeel aan waar dit voor dient.
- 2 Als je een foto maakt van een voorwerp ver weg, is de beeldafstand gelijk aan de brandpuntsafstand van de lens.
Leg dit uit.
- 3 Op de afstandinstelling van een fotocamera staat een rij getallen, bijvoorbeeld: ∞ ; 10; 5; 3; 2; 1,5; 1,2; 1; 0,9. Hoe kleiner het getal, des te groter is de afstand tussen de lens en de film.
Leg dit uit.
- 4 Marieke wil een foto maken van haar vriendje, die 3,0 m van de cameralens staat. De lens heeft een brandpuntsafstand van 5,0 cm.
Bereken hoe groot de afstand tussen de lens en de film moet zijn om een scherp beeld te krijgen.
- 5 Met een camera maak je een foto van een kaarsje (figuur 52). De schaal is 1 : 2, dus 1 cm in de figuur is in werkelijkheid 2 cm.
 - a Bepaal door meting in de tekening de (werkelijke) grootte van voorwerps- en beeldafstand.
 - b Bereken de (werkelijke) brandpuntsafstand van de lens.

FIG. 52 De cameralens beeldt een kaarsje af op de film (schaal 1 : 2).



- c Neem de tekening over (schaal 1 : 2). Geef in de tekening de lens schematisch weer en teken de film als scherm (dus contouren camera weglaten). Teken ook de beide brandpunten op schaal.
- d Construeer in je tekening het beeld van het kaarsje.
- e Meet in je tekening de grootte van het voorwerp (kaars + vlam) en de grootte van het beeld.
- f Bereken uit de meting van vraag e de vergroting. Controleer of dit klopt als je de vergroting berekent met je antwoorden op vraag a.
(Dit bevestigt of je de constructie juist hebt uitgevoerd.)
- 6 Maak een schematische tekening van het oog en geef in de tekening de belangrijkste onderdelen aan.
- 7 Het oog lijkt in veel opzichten op een fotocamera. Noem de onderdelen van de camera die dezelfde functie hebben als de ooglenzen, het netvlies, de pupil en de oogleden.
- 8 Welk verschil bestaat er tussen de scherpstelling bij een fotocamera en de 'scherpstelling' bij het oog?
- 9 Je oog is niet-geaccommodeerd als je naar een voorwerp kijkt dat ver weg staat.
Leg uit wat hiermee wordt bedoeld.

- 10 a** Wat verstaan we onder het nabijheidspunt van het oog?
b Zou je bij een fotocamera ook kunnen spreken over een nabijheidspuntafstand? Licht je antwoord toe.
- 11 a** Welke drie oogafwijkingen ken je?
b Hoe zijn deze afwijkingen met een bril te corrigeren?
- 12** Bij een normaal oog is de nabijheidspuntafstand ongeveer 30 cm.
a Is de nabijheidspuntafstand van een bijziend oog groter of kleiner? Licht je antwoord toe.
b Beantwoord vraag **a** ook voor een oudziend oog.
c Beantwoord vraag **a** ook voor een verziend oog.
- 13** Leesbrillen voor oudere mensen bestaan uit halve glazen. Waarom is dat zo?

BLOK 3 HERHAALSTOF

H1 De eigenschappen van een lens

In dit blok heb je een groot aantal proeven gedaan met lenzen. Hierdoor heb je een aantal eigenschappen van de lens ontdekt. Hieronder vind je daarover een aantal vragen en opdrachten. Probeer deze vragen te beantwoorden en de opdrachten uit te voeren. Als dat niet lukt, lees dan de bijbehorende tekst door aan het eind van deze herhaalstof.

- 1** Een bolle lens heeft een brandpuntsafstand van 3,0 cm.
a Maak een schematische tekening van de lens.
b Geef in de tekening aan wat de hoofdas is en wat het optisch middelpunt.
c Geef in de tekening de brandpunten aan.
d Teken drie lichtstralen die evenwijdig aan de hoofdas op de lens vallen.
e Geef in de tekening aan hoe deze stralen door de lens worden gebroken.
f Wat voor soort lichtbundel komt er uit de lens?
- 2 a** Wat bedoelen we met de convergerende werking van een bolle lens?
b Maak een schematische tekening van een bolle lens met een brandpuntsafstand van 2,0 cm.
c Laat in de tekening zien hoe evenwijdige lichtstralen door deze lens gebroken worden. Vergelijk deze lens met de lens uit opdracht **1**.
d Hoe weet je dat dit een bollere lens is?
e Wat weet je van de convergerende werking van een bollere lens?
- 3 a** Maak een schematische tekening van een holle lens met een brandpuntsafstand van 3,0 cm.
b Laat in de tekening zien hoe evenwijdige lichtstralen door de holle lens gebroken worden.
c Wat voor soort lichtbundel komt er uit de lens?

- 4** Met een bolle lens maak je een beeld van de gloeidraad van lamp L op een scherm. De lens heeft een brandpuntsafstand van 3,0 cm. De lamp staat zó ver van de lens dat de lichtstralen die op de lens vallen, evenwijdig lopen aan de hoofdas.
- a** Maak een schematische tekening van de lens.
 - b** Teken de evenwijdige lichtstralen en laat zien hoe deze lichtstralen door de lens gebroken worden.
 - c** Waar ontstaat het beeld van de gloeidraad?
- 5** Je schuift de lamp L naar de lens toe. De lamp staat dan op de hoofdas op 8,0 cm voor de lens.
- a** Wat gebeurt er met de beeldafstand als de voorwerpsafstand kleiner wordt?
 - b** Maak opnieuw een tekening van de lens. Geef in de tekening de brandpunten aan.
 - c** Geef in de tekening de plaats van de lamp aan en teken twee willekeurige lichtstralen die vanuit de lamp op de lens vallen.
 - d** Geef de plaats aan waar het beeld van de lamp zou kunnen ontstaan (kies een punt; niet rekenen)
 - e** Meet in de tekening de voorwerpsafstand en de beeldafstand en noteer deze afstanden.
- 6** Je verschuift de lamp tot op 5,0 cm van de lens.
- a** Maak weer een tekening van de lens met de brandpunten.
 - b** Geef in de tekening de plaats van lamp L aan en de plaats waar het beeld van de lamp zou kunnen ontstaan.
 - c** Meet de voorwerpsafstand en de beeldafstand en noteer deze.
 - d** Teken twee willekeurige lichtstralen vanuit de lamp die door de lens gebroken worden.
- 7** Vergelijk de tekeningen uit de opdrachten **4**, **5** en **6**.
- a** Wat gebeurt er met de voorwerpsafstand?
 - b** Wat gebeurt er met de beeldafstand?

- c** Wanneer is de beeldafstand gelijk aan de brandpuntsafstand?
- d** Wanneer ontstaat er op het scherm geen beeld meer?

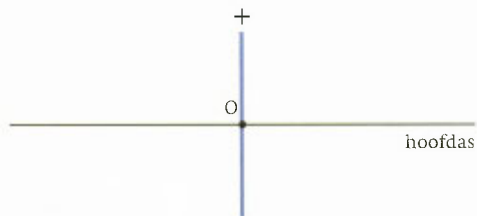
- 8** **a** Wat gebeurt er met de beeldafstand, als je een bollere lens gebruikt?
Je vervangt de lens uit opdracht **6** door een lens met een brandpuntsafstand van 2,0 cm.
- b** Teken de lens met de brandpunten.
 - c** Geef in je tekening de plaats van de lamp aan en de plaats waar het beeld van de lamp zou kunnen ontstaan.
 - d** Teken vanuit de lamp twee willekeurige lichtstralen die door de lens gebroken worden.
- 9** Vergelijk de tekeningen uit de opdrachten **6** en **8**.
- a** Hoe blijkt uit de schematische tekening van de lens dat je een bollere lens gebruikt?
 - b** Hoe blijkt uit de loop van de lichtstralen dat een bollere lens een grotere convergerende werking heeft?

Eigenschappen van een lens

SCHEMATISCHE TEKENING VAN EEN LENS

Een lens wordt schematisch weergegeven door een rechte lijn. De lijn die loodrecht op de lens staat en door het midden van de lens gaat, noemen we de *hoofdas*. Het midden van de lens heet het *optisch middelpunt O* (figuur 53). Een bolle lens geven we aan met een + teken boven de lens; een holle lens met een - teken.

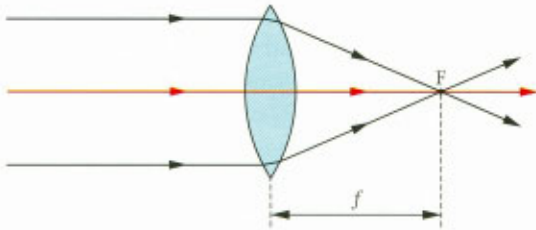
FIG. 53 Een schematische tekening van een bolle lens.



BRANDPUNTEN VAN EEN LENS

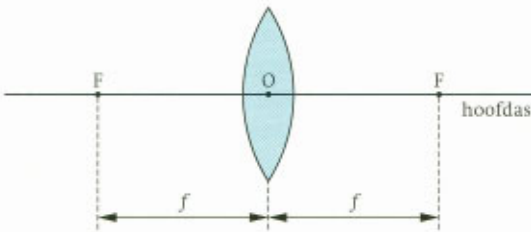
Lichtstralen die evenwijdig aan de hoofdas op een bolle lens vallen, gaan na breking door het brandpunt (figuur 54).

FIG. 54 Evenwijdige lichtstralen gaan na breking door het brandpunt.



Een lens heeft twee brandpunten F_1 en F_2 . Beide brandpunten liggen op de hoofdas aan weerszijden van de lens en op gelijke afstand van het optisch middelpunt O . De afstand van een brandpunt tot het optisch middelpunt noemen we de brandpuntsafstand f (figuur 55).

FIG. 55 Beide brandpunten en de brandpuntsafstand bij een bolle lens.



CONVERGERENDE WERKING VAN EEN BOLLE LENS

Een bolle lens maakt van een evenwijdige lichtbundel een convergerende bundel. De lichtstralen lopen na breking naar elkaar toe. We zeggen dat een bolle lens een convergerende werking heeft. Bij een holle lens lopen de evenwijdige lichtstralen na breking uit elkaar. Er ontstaat een divergerende bundel.

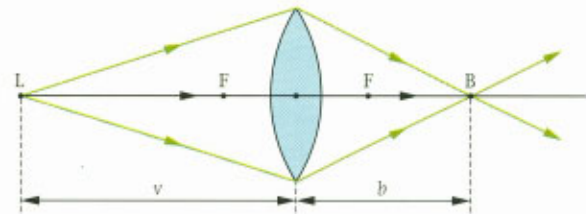
STERKTE VAN EEN LENS

Vergelijken we twee bolle lenzen met elkaar, dan heeft de lens met de kleinste brandpuntsafstand de grootste convergerende werking. De lens met de kleinste brandpuntsafstand noemen we de sterkste lens. Deze lens is het meest bol. Hoe boller de lens, des te sterker de lens.

BEELDVORMING DOOR EEN LENS

Een lens vormt een beeld van een voorwerp. De lichtstralen vertrekken vanuit het voorwerp en komen na breking samen in het beeld (figuur 56). De afstand van het voorwerp tot de lens noemen we de voorwerpsafstand v . De afstand van de lens tot het beeld heet de beeldafstand b .

FIG. 56 De beeldvorming bij een bolle lens.



Als een voorwerp ver van de lens staat, valt er een bundel op de lens die bijna evenwijdig is. Het beeld ontstaat dan in het brandpunt ($b = f$). Maken we de voorwerpsafstand kleiner, dan wordt de beeldafstand groter ($b > f$). Staat het voorwerp in het brandpunt ($v = f$), dan komt er een evenwijdige bundel uit de lens. Er is dan geen beeld meer.

Een lens vormt een beeld van een voorwerp. Alle lichtstralen die vanuit één punt van het voorwerp vertrekken, komen na breking in één punt van het beeld samen. De plaats van het beeld hangt af van de plaats van het voorwerp en de brandpuntsafstand van de gebruikte lens. In dit blok heb je onderzocht hoe lichtstralen door een lens gebroken worden. Daarbij zijn je drie bijzondere situaties opgevallen:

- 1 Lichtstralen die evenwijdig aan de hoofdas op de lens vallen, gaan na breking door een van de brandpunten.
- 2 Alle lichtstralen door het optisch middelpunt gaan rechtdoor.
- 3 Lichtstralen die door een brandpunt gaan, lopen na breking evenwijdig aan de hoofdas.

Je kunt de plaats van het beeld van een voorwerp construeren door gebruik te maken van de drie bijzondere lichtstralen. Daarbij onderscheiden we drie mogelijkheden:

- De voorwerpsafstand is *groter* dan de brandpuntsafstand ($v > f$). De stralen die uit de lens komen, lopen dan naar elkaar toe (figuur 57).
- Er ontstaat een *reëel* beeld dat je af kunt beelden op een scherm.
- De voorwerpsafstand is *gelijk* aan de brandpuntsafstand ($v = f$). De lichtstralen die uit de lens komen lopen dan evenwijdig (figuur 58). Er is dus *geén* beeld.
- De voorwerpsafstand is *kleiner* dan de brandpuntsafstand ($v < f$). De lichtstralen lopen na breking uit elkaar (figuur 59). Achter de lens is geen beeld te vinden. Je kunt de gebroken lichtstralen wel verlengen, zodat ze elkaar snijden vóór de lens. Daar ontstaat een *virtueel* beeld dat je kunt zien, als je in de lens kijkt.

FIG. 57 Als de voorwerpsafstand groter is dan de brandpuntsafstand, ontstaat er een reëel beeld.

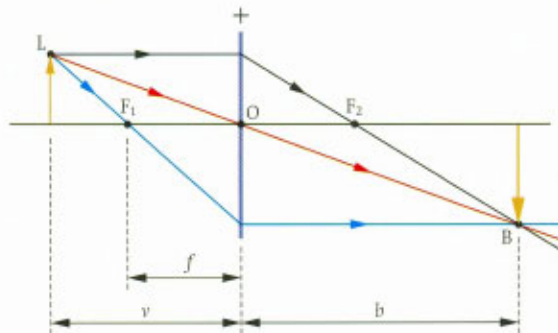


FIG. 58 Als de voorwerpsafstand gelijk is aan de brandpuntsafstand dan ontstaat er géén beeld. Uit de lens komt een evenwijdige bundel.

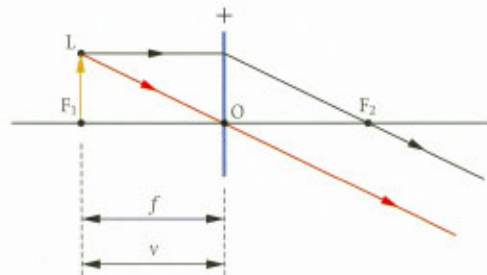
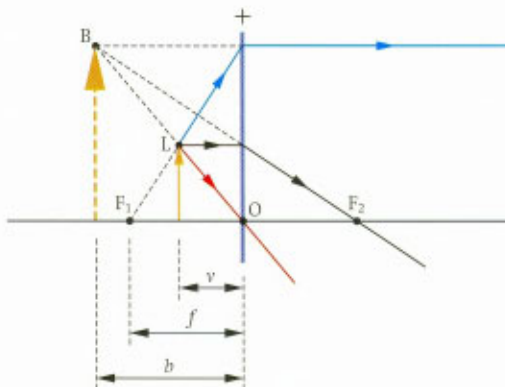


FIG. 59 Als de voorwerpsafstand kleiner is dan de brandpuntsafstand dan ontstaat er een virtueel beeld.



De drie bijzondere lichtstralen

- 1 Een lichtstraal vanuit L valt evenwijdig aan de hoofdas op de lens (figuur 60).

a Neem de tekening over en teken de gebroken lichtstraal.

Een lichtstraal vanuit L gaat door het optisch middelpunt van een lens (figuur 61).

b Neem de tekening over en teken de gebroken lichtstraal.

Een lichtstraal vanuit L gaat door het brandpunt en valt op de lens (figuur 62).

c Neem de tekening over en teken de gebroken lichtstraal.

FIG. 60 Een lichtstraal evenwijdig aan de hoofdas.

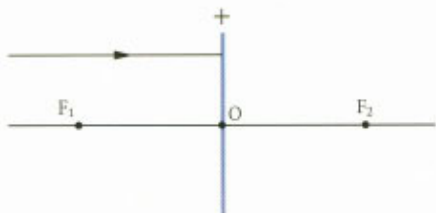


FIG. 61 Een lichtstraal door het optisch middelpunt.

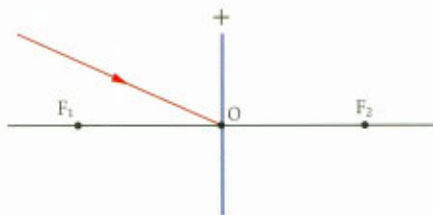
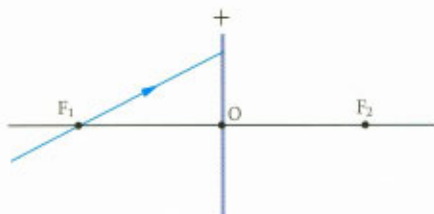


FIG. 62 Een lichtstraal door het brandpunt.



Je kunt de plaats van het beeld van een voorwerp construeren door de drie bijzondere lichtstralen te combineren.

d Neem figuur 63 over en voer deze constructie uit.

Alle lichtstralen vanuit L gaan na breking door het beeld van L. Je kunt het verloop van willekeurige lichtstralen tekenen als je de plaats van het beeld weet (figuur 64).

- 2 **a** Neem de tekening van figuur 64 over en bepaal met behulp van de drie bijzondere lichtstralen de plaats van het beeld van L.

b Teken het verloop van twee willekeurige lichtstralen vanuit L.

FIG. 63 Met de drie bijzondere lichtstralen kun je de plaats van het beeld bepalen.

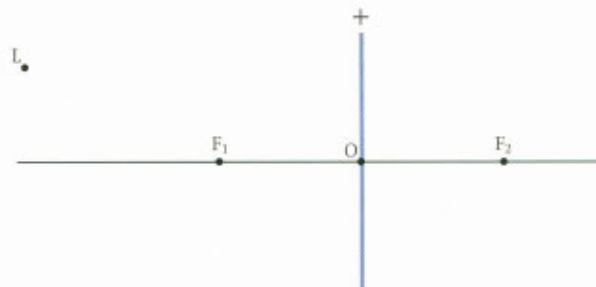
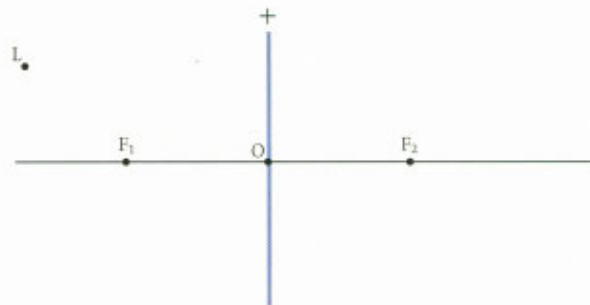


FIG. 64 Het verloop van twee willekeurige lichtstralen.



- 3** Vanuit L valt een lichtbundel op een bolle lens. Eén lichtstraal is getekend (figuur 65).
Neem de tekening over.
- a** Geef de plaats van beide brandpunten F_1 en F_2 aan in de tekening.
- b** Bepaal de plaats van het beeld van L.
- c** Meet de voorwerpsafstand, de brandpuntsafstand en de beeldafstand en noteer deze afstanden.
- d** Welke vorm heeft de bundel die uit de lens komt?
- 4** Je schuift L naar de lens toe totdat $v = f$ (figuur 66).
Neem de tekening over.
- a** Teken vanuit L twee bijzondere lichtstralen en laat in de tekening zien hoe deze stralen door de lens gebroken worden.
- b** Teken vanuit L nog twee willekeurige lichtstralen en laat zien hoe deze stralen door de lens gebroken worden.
- c** Welke vorm heeft de lichtbundel die uit de lens komt?

FIG. 65 Een lichtstraal wordt gebroken door een lens.

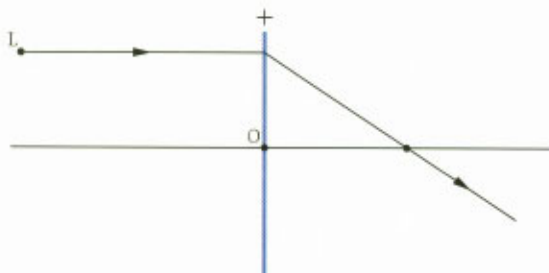
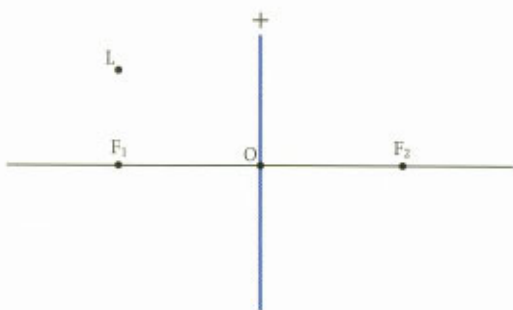


FIG. 66 Stralengang als het voorwerp in het brandvlak staat.



- 5** Je schuift L nog verder naar de lens toe (figuur 67).
Neem de tekening over.
- a** Teken vanuit L de drie bijzondere lichtstralen en laat zien hoe deze stralen door de lens gebroken worden.
- b** Welke vorm heeft de lichtbundel die uit de lens komt?
- c** Waar ontstaat het beeld van L en hoe noemen we dit beeld?
- d** Bepaal in je tekening de plaats van het beeld van L.
- e** Meet de voorwerpsafstand en de beeldafstand en noteer deze.
- 6** Als je de opdrachten **3**, **4** en **5** met elkaar vergelijkt, kun je conclusies trekken over de voorwerpsafstand, de soort bundel die uit de lens komt en het soort beeld.
Neem de tabel van figuur 68 over en vul hem in.

FIG. 67 Stralengang als de voorwerpsafstand kleiner is dan de brandpuntsafstand.

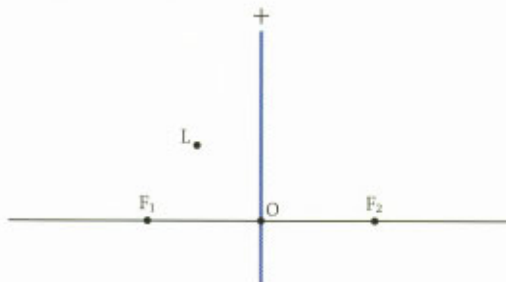


FIG. 68 Gemeten waarden bij de opdrachten 3, 4 en 5.

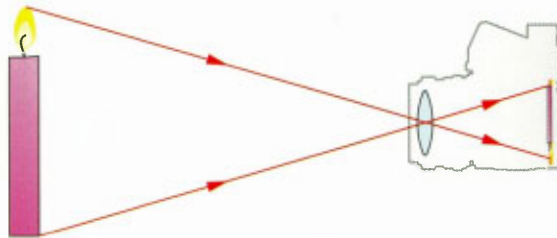
lens ($f = \dots$ cm)	v (cm)	b (cm)	soort bundel	soort beeld
opdracht 3
opdracht 4
opdracht 5

H3 Vergroting

- 7 De lens van een fotocamera beeldt een kaars scherp af op de film (figuur 69; schaal 1 : 4).

- a Meet in de tekening de voorwerpsafstand, de beeldafstand en de grootte van de kaars en noteer deze afstanden.
- b Maak een schematische tekening van de lens, de kaars en de film.
- c Bepaal in de tekening de plaats van het beeld van de top van de kaarsvlam.
- d Teken de randstralen die nog net op de lens vallen en geef aan hoe deze stralen door de lens gebroken worden.
- e Bepaal de brandpuntsafstand van de cameralens.

FIG. 69 Beeldvorming door de lens van een fotocamera.



Een lens vormt een beeld van een voorwerp. Beeld en voorwerp hebben meestal niet dezelfde grootte. Soms ontstaat er een vergroot beeld; soms is er sprake van een verkleind beeld. Dit blijkt af te hangen van de plaats van het voorwerp en de plaats van het beeld. Je ziet dat aan de hand van het volgende voorbeeld.

VOORBEELD: Een lens vormt een beeld B_1B_2 van een voorwerp L_1L_2 (figuur 70). Je ziet dat het beeld groter is dan het voorwerp. Voor de vergroting N gebruiken we de volgende formule:

$$N = \frac{\text{lengte van het beeld}}{\text{lengte van het voorwerp}} = \frac{B_1B_2}{L_1L_2}$$

Als je de lengte van beeld en voorwerp meet, vind je voor de vergroting:

$$N = \frac{1,3}{0,75} = 1,73$$

Je kunt de vergroting ook berekenen door de voorwerpsafstand en de beeldafstand te meten. Want er geldt ook:

$$N = \left| \frac{b}{v} \right|$$

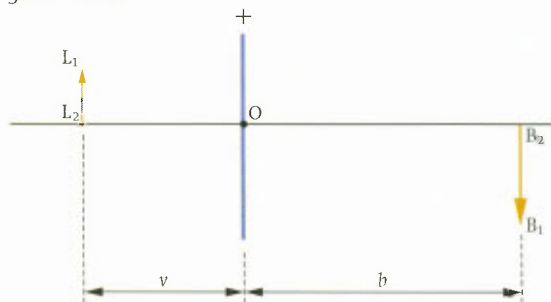
De modulusstrepen geven aan dat je altijd de positieve waarde van de breuk moet nemen. De vergroting kan immers niet negatief zijn.

Als je de voorwerpsafstand en de beeldafstand meet, vind je voor de vergroting:

$$N = \frac{3,7}{2,14} = 1,73$$

- 1 Een voorwerp met een lengte van 2,0 cm staat 10 cm voor een bolle lens. Op een scherm 25 cm achter de lens ontstaat een scherp beeld.
 - a Bereken de vergroting.
 - b Bereken de grootte van het beeld.
- 2 Je schuift het voorwerp van de lens af.
 - a Wat gebeurt er met de voorwerpsafstand?
 - b Wat gebeurt er met de beeldafstand?
 - c Wat gebeurt er met de grootte van het beeld?
- 3 Als het voorwerp 14 cm voor de lens staat, is het beeld even groot als het voorwerp. Hoe groot is dan de beeldafstand?
- 4 Je schuift het voorwerp nog verder van de lens af. Als het voorwerp 36 cm van de lens staat, is het scherpe beeld 0,50 cm groot.
 - a Bereken de vergroting.
 - b Bereken de beeldafstand.
- 5 Een lens vormt van een voorwerp van 3,0 cm lengte een beeld op een scherm. Het beeld is 5,0 cm lang. Het scherm staat 4,0 cm achter de lens. Bereken de voorwerpsafstand.
- 6 Een voorwerp L_1L_2 staat 4,0 cm voor een bolle lens met een brandpuntsafstand van 2,0 cm. Het voorwerp is 2,0 cm lang.
 - a Maak een schematische tekening van de lens en het voorwerp.
 - b Bepaal met de drie bijzondere lichtstralen het beeld B_1B_2 .
 - c Meet de beeldafstand en de beeldgrootte en noteer ze.
 - d Bereken de vergroting uit de grootte van voorwerp en beeld.
 - e Bereken de vergroting met behulp van voorwerpsafstand en beeldafstand.
- 7 Een voorwerp L_1L_2 staat 1,0 cm voor een lens met een brandpuntsafstand van 3,0 cm. Het voorwerp is 1,5 cm lang.
 - a Bepaal door constructie de plaats van het beeld B_1B_2 .
 - b Meet de beeldafstand en de grootte van het beeld.
 - c Bereken op twee manieren de vergroting.
- 8 Een diaprojector beeldt een dia 50 keer vergroot af op een scherm. De afstand tussen de dia en de lens is 10 cm. Bereken hoe ver het scherm van de lens staat.
- 9 Met een fotocamera maak je een foto van een boom die 6,0 m hoog is. Op de film is de boom 2,0 cm hoog. De afstand tussen de lens en de film is 5,0 cm. Bereken hoe ver de boom van de cameralens staat.

FIG. 70 De beeldvorming door een lens: er ontstaat een vergroot beeld.



H4 De lenzenformule

Een lens vormt een beeld van een voorwerp. Bij de proeven die je in dit blok hebt uitgevoerd, heb je gezien dat de plaats van het beeld afhangt van de plaats van het voorwerp en de lens die je gebruikt. Als je de voorwerpsafstand verandert, verandert ook de beeldafstand. En dat gebeurt niet willekeurig. Er blijkt een verband te bestaan tussen de voorwerpsafstand, de beeldafstand en de brandpuntsafstand. Dit verband wordt gegeven door de lenzenformule:

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

Controle van de lenzenformule

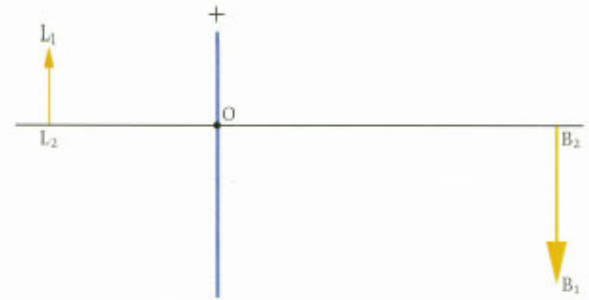
Je kunt de lenzenformule gebruiken om de brandpuntsafstand te berekenen, als de voorwerpsafstand en de beeldafstand bekend zijn.

- 1 In de tekening (figuur 71) is het beeld B_1B_2 getekend dat de lens vormt van voorwerp L_1L_2 .
 - a Meet de voorwerpsafstand en de beeldafstand en noteer deze afstanden.
Neem de tekening over.
 - b Bepaal met behulp van de bijzondere lichtstralen de plaats van beide brandpunten.
 - c Meet de brandpuntsafstand en noteer deze afstand.
 - d Bereken de brandpuntsafstand met de lenzenformule.

Als je alles goed gedaan hebt, is de berekende waarde van f gelijk aan de gemeten waarde.

Je kunt de lenzenformule ook gebruiken om de beeldafstand te berekenen, als de voorwerpsafstand en de brandpuntsafstand bekend zijn.

FIG. 71 Een lens vormt een beeld van een voorwerp.



- 2 Een lens met een brandpuntsafstand van 3,0 cm vormt een beeld van een voorwerp dat 5,0 cm voor de lens staat. Het voorwerp L_1L_2 is 1,5 cm lang.
 - a Maak een schematische tekening van de lens en het voorwerp.
 - b Bepaal met behulp van de drie bijzondere lichtstralen de plaats van het beeld.
 - c Meet de beeldafstand en noteer deze afstand.
 - d Bereken de beeldafstand met de lenzenformule. Ook nu moet je voor de berekende en gemeten waarde hetzelfde vinden.

Rekenen met de lenzenformule

In de volgende opgaven kun je oefenen met de lenzenformule. De eerste opgave is bij wijze van voorbeeld voor je uitgewerkt.

VOORBEELD: Een lens vormt van een voorwerp dat 15 cm van de lens staat, een beeld op 20 cm van de lens.

Bereken de brandpuntsafstand van de lens.

De lenzenformule luidt:

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

Dus in dit geval geldt:

$$\frac{1}{15} + \frac{1}{20} = \frac{1}{f}$$

$$0,067 + 0,050 = 0,117 = \frac{1}{f}$$

$$f = \frac{1}{0,117} = 8,6 \text{ cm}$$

Voor het gebruik van de rekenmachine, zie onder T3 'Rekenen aan de beeldvorming'.

- 3 Bereken de brandpuntsafstand als $v = 10 \text{ cm}$ en $b = 10 \text{ cm}$.
- 4 Bereken de beeldafstand als $f = 10 \text{ cm}$ en $v = 20 \text{ cm}$.
- 5 Je wilt met een diaprojector een scherpe afbeelding van een dia projecteren. Het scherm staat $2,0 \text{ m}$ van de lens. De brandpuntsafstand van de lens is 10 cm .
Bereken de afstand tussen de dia en de lens.
- 6 Een natuurfotograaf wil een bloem fotograferen. De bloem staat 40 cm voor de camera. De camera-lens heeft een brandpuntsafstand van $5,0 \text{ cm}$.
Bereken de afstand tussen de lens en de film bij een scherp beeld.
- 7 Je wilt een dia 25 keer vergroten. Dat lukt als je het scherm $5,0 \text{ m}$ van de lens van de diaprojector zet.
 - a Bereken de afstand tussen de dia en de lens.
 - b Bereken de brandpuntsafstand van de projector-lens.

In de basisstof van dit blok heb je gezien hoe de beeldvorming plaatsvindt bij het oog. Hierbij speelt de oog-lens een belangrijke rol. De oog-lens moet steeds voor een scherp beeld op het netvlies zorgen. De beeldafstand bij het oog ligt vast. Maar je wilt toch voorwerpen op verschillende afstanden scherp zien. Daarom moet je oog-lens zich aanpassen. Je oog-lens kan boller en minder bol worden, waardoor de brandpuntsafstand verandert. We noemen dit *accommoderen*. Als het (normale) oog ongeaccommodeerd is, komen evenwijdige lichtstralen in één punt op het netvlies samen. De oog-lens is dan zo weinig mogelijk bol; de brandpuntsafstand is het grootst (figuur 72).

Als het voorwerp dichterbij komt, moet de oog-lens de lichtstralen meer afbuigen om een scherp beeld op het netvlies te vormen. (De voorwerpsafstand wordt kleiner; de beeldafstand zou groter worden als de lens niet verandert.) De oog-lens wordt dan boller; de brandpuntsafstand wordt hierdoor kleiner. Het oog is geaccommodeerd (figuur 73).

FIG. 72 Beeldvorming bij een ongeaccommodeerd oog.

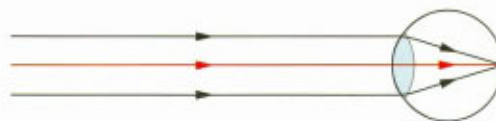


FIG. 73 Beeldvorming bij een geaccommodeerd oog.

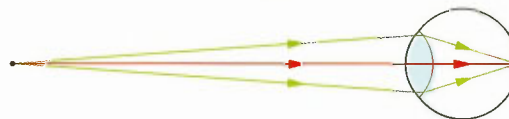
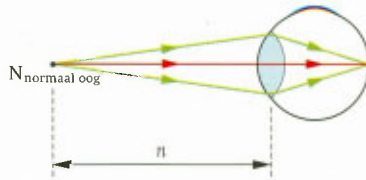


FIG. 74 Beeldvorming bij een oog dat maximaal geaccommodeerd is. Het voorwerp ligt in het nabijheidspunt.



De ooglenzen kan niet onbeperkt boller worden. Als de ooglenzen het meest bol is, is het oog maximaal geaccommodeerd. De brandpuntsafstand is dan het kleinst. De kleinste afstand waarop je een voorwerp gedurende langere tijd nog scherp kunt zien, heet de *nabijheidspuntafstand* (n). Het *nabijheidspunt* is een punt op de nabijheidspuntsafstand van het oog (figuur 74).

De nabijheidspuntafstand is bij jonge mensen ongeveer 15 cm. Bij het ouder worden verliest de ooglenzen zijn elasticiteit, waardoor de nabijheidspuntafstand toeneemt. (De ooglenzen kan niet meer zo bol worden als vroeger.)

Het is wel mogelijk om een voorwerp dat zich binnen de nabijheidspuntafstand bevindt, gedurende korte tijd (ongeveer 10 s) scherp te zien. Maar dit is zeer vermoeiend, omdat het oog te sterk moet accommoderen.

Het *vertepunt* is het verst weg gelegen punt dat je met ongeaccommodeerd oog (ooglenzen zo plat mogelijk) kunt zien.

Voor elk soort oog (dus ook bij een oogafwijking) geldt: *Het vertepunt is het snijpunt van de bundel invallende stralen die door het ongeaccommodeerd oog op het netvlies worden verenigd.*

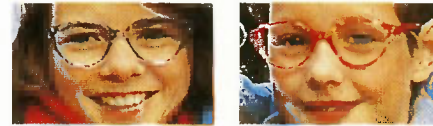
Voor een normaal oog ligt het vertepunt dus in het oneindige.

Want stralen uit de verte vallen als een praktisch evenwijdige stralenbundel op het oog. Hun verlengden snijden elkaar dus in het oneindige. Anders gezegd: de vertepuntsafstand bij een normaal oog is ∞ .

Oogafwijkingen

Door afwijkingen aan één of beide ogen kunnen mensen problemen hebben met goed zien. In veel gevallen kan dit verholpen worden door het toepassen van extra lenzen in de vorm van een bril of contactlenzen (figuur 75). De belangrijkste oogafwijkingen en de bijbehorende brillen worden hierna besproken.

FIG. 75 Modern brilmontuur.



BIJZIENDHEID

Bij bijziendheid convergeert de ooglenzen in ongeaccommodeerde toestand zó sterk dat de evenwijdige lichtstralen *vóór* het netvlies in één punt samenkomen (figuur 76). De ooglenzen is dus boller dan normaal.

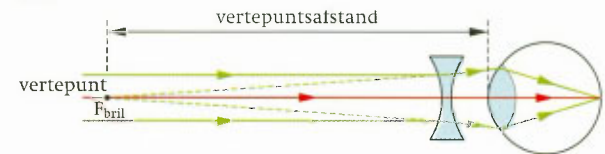
Een bijziende heeft een kortere nabijheidspuntsafstand en een vertepunt op eindige afstand. Het gevolg hiervan is: iemand die bijziend is, kan voorwerpen op grote afstand niet scherp zien. En zonder bril kan hij alleen dichtbij scherp zien, zelfs veel dichterbij dan een normaal ziende.

Een holle lens kan er voorzorgen dat er wél een scherp beeld op het netvlies ontstaat van een voorwerp op grote afstand (figuur 77).

FIG. 76 Beeldvorming bij een bijziend, ongeaccommodeerd oog.



FIG. 77 Met een holle lens waarvoor geldt: $f = -$ vertepuntsafstand kan een bijziend, ongeaccommodeerd oog een punt in ∞ scherp zien.



De holle lens heeft een divergerende werking. De lichtbundel die uit de bril op het bijziend oog valt, is sterker divergerend. Zodoende kan het (te sterk convergerende) oog hiervan nog wel een scherp beeld op het netvlies vormen.

Maar hoe groot moet de (negatieve) brandpuntsafstand van die holle lens nu precies zijn?

Als de brandpuntsafstand van de holle lens (dus $f < 0$) gelijk is aan de negatieve waarde van de vertepuntsafstand ($-$ vertepuntsafstand) kan het bijziende ongeaccommodeerde oog een punt in het oneindige scherp zien (zie figuur 77).

Immers: stralen die evenwijdig op de bril invallen lijken voor het oog na breking (in het brilleglas) uit het brandpunt vóór de lens (brilleglas) te komen. Maar dit punt is ook het vertepunt van de bijziende! En dit kan hij - met ongeaccommodeerd oog - scherp zien.

Een bijziende kan zonder bril voorwerpen dichtbij wel scherp zien, maar voorwerpen op grotere afstand niet. Omdat de ooglensof bol is, is de nabijheidspuntafstand bij een bijziend oog veel kleiner dan normaal. Een bijziend oog kan dus zonder bril voorwerpen zeer dichtbij nog scherp zien (figuur 78).

De juiste negatieve lens verlegt niet alleen het vertepunt naar ∞ , maar maakt ook van de te kleine nabijheidspuntafstand weer een normale nabijheidspuntafstand (figuur 79).

FIG. 78 Het nabijheidspunt bij een bijziend oog.

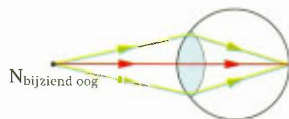
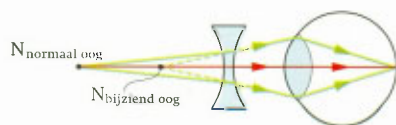


FIG. 79 Het nabijheidspunt bij een bijziende met een negatieve lens.



VERZIENDHEID

Als de ooglensof in ongeaccommodeerde toestand te zwak convergeert, komen evenwijdige lichtstralen achter het netvlies in één punt samen. Dat wil zeggen: in plaats van een scherp beeldpunt ontstaat op het netvlies een vlekje.

Deze oogafwijking noemen we *verziendheid* (figuur 80). De ooglensof moet bij verziendheid al accommoderen om een voorwerp ver weg zonder bril scherp te zien. Op den duur is dit vermoeiend en leidt dit tot hoofdpijnlachten.

Met een bolle (dus convergerende) lens kan dit worden verholpen. Evenwijdig invallende lichtstralen kunnen dan op het netvlies samenkomen zonder dat het oog hoeft te accommoderen (figuur 81).

Komt het voorwerp dichterbij, dan moet het oog steeds sterker accommoderen om een scherp beeld te krijgen. Het oog is daardoor al vrij snel maximaal geaccommodeerd. Het nabijheidspunt ligt dus ver van het oog. Vandaar de naam *verziendheid*. Iemand die verziend is, kan zonder bril alleen ver weg scherp zien (maar moet daarvoor accommoderen) en ziet dichtbij gelegen voorwerpen onscherp (figuur 82).

FIG. 80 Beeldvorming bij een verziend oog dat ongeaccommodeerd is.



FIG. 81 Toepassing van een positieve lens bij een verziend oog.



FIG. 82 Het nabijheidspunt bij een verziend oog.

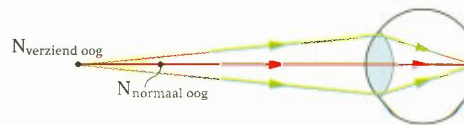
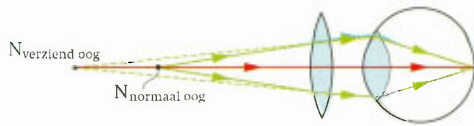


FIG. 83 Het nabijheidspunt met een positieve lens.

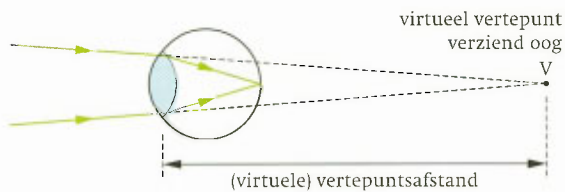


De positieve lens maakt van de grote nabijheidspuntafstand een normale nabijheidspuntafstand (figuur 83).

Maar hoe groot moet de (positieve) brandpuntsafstand van die bolle lens nu precies zijn om in de verte scherp te zien met ongeaccommodeerd oog?

Daarvoor moet je eerst begrijpen waar het vertepunt van een verziend oog ligt. Het vertepunt van een verziend oog is namelijk 'virtueel'. Het is een denkbeeldig punt achter het oog! Om dat in te zien moet je bedenken dat het verziend oog te zwak convergeert. Het ongeaccommodeerde, verziende oog zou van een stralenbundel alléén een scherp beeldpunt kunnen vormen in het volgende geval. De stralenbundel moet dan al convergeren als hij op het oog valt, want dat is immers te zwak convergerend! De bundel moet convergeren naar het achter het oog gelegen vertepunt (figuur 84).

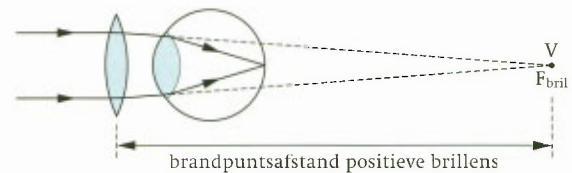
FIG. 84 De invallende bundel die het ongeaccommodeerde, verziende oog op het netvlies zou kunnen verenigen.



Je weet echter dat stralen die uit een voorwerp punt komen, nooit convergerend op het oog vallen. Dat kan alléén als die stralen eerst door een bolle lens zijn gegaan. Dat is dan ook de reden dat een ongeaccommodeerd, verziend oog geen enkel punt op grote afstand zonder bril scherp kan zien. Dat lukt alleen als zijn oog accommodeert.

Nu nogmaals de vraag: hoe groot moet de (positieve) brandpuntsafstand van die bolle lens nu precies zijn? Ook hier geldt: als de brandpuntsafstand van de bolle lens gelijk is aan de negatieve waarde van de vertepuntsafstand kan het verziende, ongeaccommodeerde oog een punt in het oneindige scherp zien (figuur 85). Immers: stralen die evenwijdig op de bril invallen, lijken voor het oog - na breking in het brilleglas - gericht op het brandpunt achter de lens (brilleglas). Maar dit punt is ook het vertepunt van het verziend oog! En dit kan hij dus met ongeaccommodeerd oog scherp zien! Opgemerkt moet worden dat de afstand tussen bril en oog te verwaarlozen is ten opzichte van de vertepuntsafstand en de brandpuntsafstand van de bril.

FIG. 85 De bolle lens die evenwijdige stralen convergeert naar het achter het oog gelegen vertepunt V (tevens F_{bril}) zorgt ervoor dat het ongeaccommodeerde, verziende oog scherp kan zien in de verte.



OUDDZIENDHEID

Deze oogafwijking komt voor bij oudere mensen.

Oudere mensen hebben vaak moeite met lezen op korte afstand. Ze lezen de krant met gestrekte armen. Dat komt doordat hun ogen niet meer zo sterk kunnen accommoderen als vroeger.

Omdat de ooglenzen minder elastisch zijn geworden, wordt hij niet meer zo bol als vroeger bij maximaal accommoderen. Het nabijheidspunt is daardoor verder weg komen te liggen. Net als bij verziendheid is dit euvel te verhelpen met een positieve lens.

Maar in de verte gedraagt een oudziend oog zich als een normaal oog. Het ongeaccommodeerde, oudziende oog kan in de verte wél scherp zien.

De brandpuntsafstand van de benodigde brillens hangt af van:

- de (te groot geworden) nabijheidspuntsafstand;
- de gewenste leesafstand.

VOORBEELD: Voor het lezen van een boek of krant zal 25 cm de gewenste leesafstand zijn. Stel: de oudziende kan zonder bril tot op 75 cm afstand een scherp beeld vormen. De bril zal dan aan de volgende eisen moeten voldoen:

De leestekst moet op 25 cm van het oog worden gehouden, dus $v = 25$ cm. Na breking door de brillens moeten de stralen lijken te komen uit een punt op 75 cm vóór het oog. Dus het beeld dat de lens vormt moet 75 cm vóór de bril lijken te liggen. Dat moet dus een virtueel beeld zijn (want het ligt aan dezelfde kant van de lens als het voorwerp). Dus $b = -75$ cm.

Met de lenzenformule vind je dan:

$$\frac{1}{v} + \frac{1}{b} = \frac{1}{f} \rightarrow \frac{1}{25} + \frac{1}{(-75)} = \frac{1}{f} \rightarrow$$

$$0,040 - 0,013 = 0,027 \rightarrow 0,027 = \frac{1}{f} \rightarrow f = 37,5 \text{ cm}$$

Is één leesbril altijd voldoende?

Nee, want soms is de gewenste leesafstand anders. Als je muziek moet lezen tijdens het bespelen van een instrument of als je op het beeldscherm van een computer moet kijken, zal de gewenste leesafstand ca. 60 cm zijn. Als de nabijheidspuntsafstand van het oudziende oog toevallig ca. 60 cm is, heb je daarvoor dus géén leesbril nodig. Maar meestal ligt het nabijheidspunt van de oudziende verder weg dan 60 cm. Dan zal voor de genoemde doeleinden nog een andere leesbril nodig zijn.

Vaak zullen de nabijheidspuntsafstanden van beide ogen verschillen. Dan is dus voor elk oog een ander brilleglas nodig. Dat geldt natuurlijk ook voor alle andere oogafwijkingen.

Sterkte van brilleglazen

Een opticien praat niet over de brandpuntsafstand van een brilleglas maar over de sterkte. Hij heeft het over brilleglazen van + 1, + 3 en - 2.

De sterkte van een lens kun je berekenen met behulp van de brandpuntsafstand.

Voor de sterkte S van een lens geldt:

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

Als we f uitdrukken in m, is de eenheid van sterkte de dioptrie; afgekort dpt.

VOORBEELD: De brandpuntsafstand van een brilleglas is 75 cm. De sterkte S is dan gelijk aan:

$$S = \frac{1}{0,75} = 1,3 \text{ dpt}$$

Bij positieve lenzen is de sterkte positief; bij negatieve lenzen is de sterkte negatief.

1 Onderzoek de bril van een van je klasgenoten.

Bij een positieve lens lopen de lichtstralen van een lamp aan het plafond na breking naar elkaar toe. Als je een bril met positieve glazen boven de tafel houdt, ontstaat er op de tafel een lichtvlek.

a Wat gebeurt er met de lichtvlek als je de bril verder van de tafel af houdt? Licht je antwoord toe met een tekening.

b Hoe lopen de lichtstralen bij een negatieve lens?

c Wat gebeurt er als je een bril met negatieve glazen verder van de tafel houdt? Licht je antwoord toe met een tekening.

d Ga na of de lenzen van de bril van je klasgenoot positief of negatief zijn.

Je kunt de aard van de glazen van een bril ook bepalen door naar de nabijheidspuntafstand te kijken. Dat is de kleinste afstand waarop je een voorwerp zonder veel moeite nog scherp kunt zien.

E2 Meer over de fotocamera

e Wat gebeurt er met de nabijheidspuntafstand als je een bril met positieve glazen opzet?

f Wat gebeurt er met de nabijheidspuntafstand als je een bril met negatieve glazen opzet?

g Bepaal zo nauwkeurig mogelijk je eigen nabijheidspuntafstand.

h Bepaal zo nauwkeurig mogelijk je nabijheidspuntafstand met bril.

i Komt dit overeen met je antwoord op vraag **e** en **f**? De brandpuntsafstand van een lens kun je bepalen door een evenwijdige lichtbundel op de lens te laten vallen. Bij een positieve lens komen de stralen samen in het brandpunt. Bij een negatieve lens lopen de stralen na breking uit elkaar. Het brandpunt kun je dan vinden door de gebroken stralen te verlengen tot ze elkaar snijden.

Maak met een lichtkastje een evenwijdige lichtbundel. Laat de bundel op een brilleglas vallen. Teken de gebroken stralen.

j Bepaal zo de brandpuntsafstand van beide glazen van de bril.

k Bereken de sterkte van beide brilleglazen.

l Stel op basis van je bevindingen vast welke oogafwijking de drager van de bril heeft.

m Controleer je antwoord door de drager van de bril te testen. Laat de brildrager (zonder bril) een boek lezen en naar buiten kijken.

2 Leg uit dat iemand die in zijn jeugd bijziend is geweest, op latere leeftijd weer normaal kan zien.

3 Een oudere pianist heeft voor beide ogen een nabijheidspuntafstand van 120 cm gekregen. Tijdens het spelen zijn de ogen 60 cm van de bladmuziek verwijderd.

Bereken de brandpuntsafstand van de lenzen van zijn 'muziekbril'.

In de basisstof van dit blok ben je veel te weten gekomen over de werking van een fotocamera. Je hebt gezien hoe de lens een beeld vormt op de film, waarom je scherp moet instellen en wat de functie is van het diafragma. In deze extrastof bekijk je de camera-lens nauwkeuriger. Je gaat verder in op de rol van het diafragma in samenhang met het begrip scherpte-diepte. Tenslotte wordt de keuze van de belichtingstijd besproken en de samenhang hiervan met de gevoeligheid van de fotografische film.

Cameralens

Aan de kwaliteit van een cameralens, meestal *objectief* genoemd, worden zeer hoge eisen gesteld. De afbeelding op de film moet een nauwkeurige weergave van het voorwerp zijn. Het beeld mag niet vertekend zijn en moet tot in de hoeken scherp zijn (figuur 86). Daarom bestaat de cameralens niet uit één lens, maar is opgebouwd uit wel drie en soms zelfs meer dan zeven lenzen (figuur 87). De lenzen zijn gemaakt van verschillende glassoorten en zorgvuldig geslepen. Samen zorgen ze voor het gewenste resultaat.

De kwaliteit van een camera-objectief wordt ook bepaald door de hoeveelheid licht die het doorlaat. Hoe meer licht het objectief doorlaat, des te minder licht heb je nodig van het voorwerp om een goede foto te maken. Een goede maat voor de 'lichtsterkte' van een objectief is de *openingsverhouding*. Dit is de verhouding tussen de diameter d van het objectief en de brandpuntsafstand f (beide in mm).

$$\text{openingsverhouding} = \frac{d}{f}$$

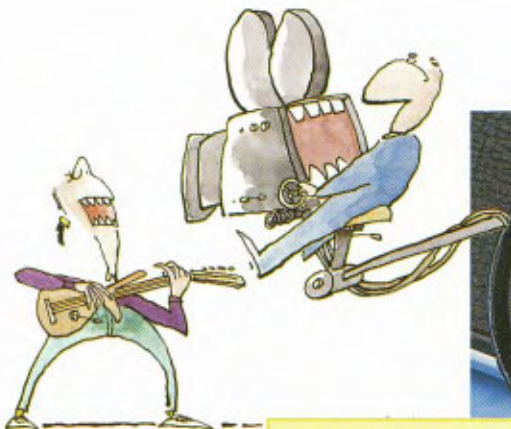


FIG. 86 Camera mystica (een geheimzinnig toestel).

FIG. 87 Een objectief van een camera dat is opgebouwd uit verschillende lenzen.

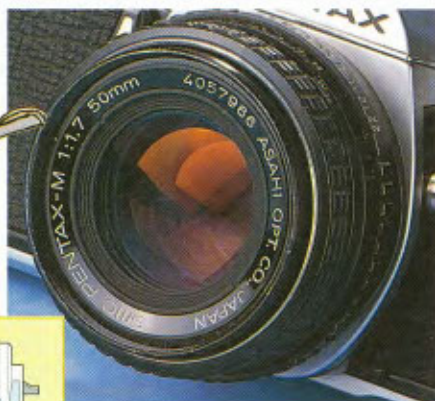
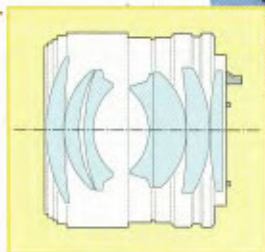


FIG. 88 Een lens met een openingsverhouding van 1 : 1,7 en een brandpuntsafstand van 50 mm.

Hoe groter de openingsverhouding, des te meer licht laat het objectief door. De openingsverhouding staat over het algemeen vermeld op de rand van het objectief (figuur 88).

Meestal wordt bij een fotocamera een objectief gebruikt met een brandpuntsafstand van 50 mm: de standaardlens. Deze lens zorgt voor een beeld op de film dat overeenkomt met wat je ziet. Bovendien worden er objectieven toegepast met een kleinere of grotere brandpuntsafstand.

a een groothoeklens;



Een objectief met een kleinere brandpuntsafstand (35 of 28 mm) heet een *groothoeklens*. Met zo'n objectief kun je een grote groep mensen van dichtbij op de foto zetten.

Objectieven met een grotere brandpuntsafstand (135, 205 mm of meer) noemt men *telelenzen*. Met een telelens kun je een voorwerp dat ver weg staat 'dichtbij' halen (figuur 89).

FIG. 89 Foto's, gemaakt vanaf dezelfde plaats, met:
b een standaardlens;
c een telelens.



Een bijzonder objectief is de zoomlens. Spreek uit: 'zoem' lens (figuur 90). Dit objectief is zo gebouwd dat je de brandpuntsafstand kunt veranderen. Er zijn zoomlensen waarvan de brandpuntsafstand instelbaar is tussen 28 en 75 mm (groothoekzoom) en zoomlensen met een brandpuntsafstand tussen 75 en 205 mm (telezoom). De zogenaamde *spiegelreflexcamera's* zijn zo gemaakt dat het objectief verwisseld kan worden.

Diafragma

Met het diafragma kan de hoeveelheid licht worden geregeld. Bij een kleine diafragma-opening valt er weinig licht op de film; bij een grote diafragma-opening veel. Op de diafragmaring geven de diafragmagetallen aan welk diafragma gebruikt wordt (figuur 91, zie pijltje). Voor het diafragmagetal geldt:

$$\text{diafragmagetal} = \frac{f}{d}$$

Hierin is:

f = de brandpuntsafstand in mm;

d = de diameter van de diafragma-opening in mm.

Bij het kleinste diafragmagetal hoort dus de grootste diafragma-opening. Door het diafragma één stap kleiner te maken (= het eerstvolgende grotere diafragmagetal te kiezen), neemt de hoeveelheid licht op de film af met de helft.

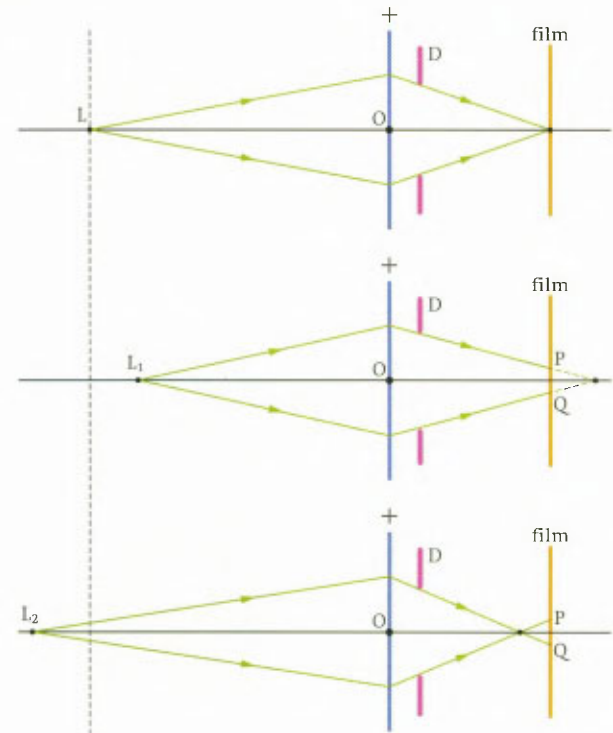
Bij de camera obscura (zie T1) heb je gezien dat een kleinere diafragma-opening een scherper beeld oplevert: de vlekjes worden dan kleiner. Door het toepassen van een lens kun je voor een scherp beeld zorgen, als je maar scherp instelt. Toch heeft de diafragma-opening invloed op de scherpte van de foto, ook met lens. Bij het maken van een foto wordt niet alleen het voorwerp afgebeeld maar ook de omgeving. De lichtstralen van een voorwerp dat dichterbij ligt (L_1), komen samen achter de film. Een voorwerp dat verder weg staat (L_2) wordt afgebeeld vóór de film (figuur 92).



FIG. 90 Een zoomlens.

FIG. 91 De diafragma-nummers op een diafragmaring.

FIG. 92 De invloed van de diafragma-opening op de scherpte van de foto.



Deze voorwerpen staan dus niet scherp op de foto maar bestaan uit vlekjes. Als de vlekjes maar klein genoeg zijn, ziet je oog de vlekjes als punten. De afstand tussen de voorwerpen L_1 en L_2 die je oog nog net als punten ziet afgebeeld op de foto noemen we de *scherptediepte*.

Als je de diafragma-opening kleiner maakt, wordt de bundel die uit de lens komt smaller (zie T1). De vlekjes worden dan kleiner en de foto scherper. Op de foto worden voorwerpen in een groter afstandsgebied scherp afgebeeld. De scherptediepte neemt dus toe bij een kleinere diafragma-opening.

Op de afstandinstelring staat de scherptediepte voor de verschillende diafragma-nummers aangegeven (figuur 93).

Belichtingstijd

Op de film in de fotocamera moet precies de juiste hoeveelheid licht vallen. Valt er te veel licht op de film, dan wordt de film overbelicht. Bij te weinig licht wordt de film onderbelicht. De hoeveelheid licht die op de film valt, wordt geregeld met het diafragma en de belichtingstijd. Het diafragma regelt de hoeveelheid licht die door het objectief gaat. De belichtingstijd geeft aan hoe lang er licht op de film komt. Bij een lange belichtingstijd komt er meer licht op de film dan bij een korte (onder gelijke omstandigheden).

In de camera zorgt een schermpje achter het objectief ervoor dat er geen licht op de film komt, als er geen foto wordt gemaakt. Dit scherm wordt de *sluiter* genoemd. Als je bij het maken van de foto op de knop (de ontspanner) drukt, wordt het schermpje achter de lens weggetrokken. Het licht van het voorwerp komt dan op de film terecht. De belichtingstijd bepaalt hoe lang het schermpje wordt weggetrokken en dus ook hoe lang er licht op de film valt.



FIG. 94 De belichtingstijden bij een spiegelreflexcamera.

FIG. 93 Het scherptedieptegebied wordt voor verschillende diafragma-nummers aangegeven op de afstandinstelring.

De sluiter wordt bediend door een veer. Als je een foto gemaakt hebt, is de veer ontspannen. Om een nieuwe foto te kunnen maken, moet je de veer eerst spannen. Tegelijkertijd wordt de film doorgedraaid, zodat je hetzelfde stukje film niet twee keer kunt belichten. Bij eenvoudige camera's kun je voor de belichtingstijd waarden kiezen tussen 1/15 en 1/250 seconde. Bij deze camera's is het schermpje uitgevoerd als een spleet die snel geopend en gesloten wordt: de zogenaamde *spleetsluiter*. Duurdere camera's hebben een *gordijnsluiter*. Hierbij worden twee gordijntjes snel na elkaar langs het objectief getrokken. De belichtingstijd bij deze camera's ligt tussen de 4 en 1/2000 seconde! (figuur 94, links van het beeld).

De waarden van de belichtingstijd zijn gekoppeld aan de diafragmagetallen. Als je het diafragma één stap kleiner maakt (bijvoorbeeld van 8 naar 11), dan moet je de belichtingstijd een stap groter kiezen (van 1/125 naar 1/60 s). Er valt dan evenveel licht op de film.

Hoe maak je een goede foto?

Voordat je foto's kunt maken, moet je een filmrolletje in de camera stoppen. Filmrolletjes zijn er in allerlei soorten en maten. Als je een rolletje koopt, moet je erop letten dat dit in de camera past. Behalve kleur en zwart-wit kun je ook de lichtgevoeligheid van de film kiezen. Hoe groter de lichtgevoeligheid, des te minder licht er nodig is voor een goede foto. De lichtgevoeligheid wordt uitgedrukt in eenheden DIN of ASA (figuur 95).

De meest gebruikte film is 21 DIN of 100 ASA. Een film van 24 DIN of 200 ASA is gevoeliger voor licht. Een heel snelle film is 30 DIN of 800 ASA.

Een film van 18 DIN of 50 ASA heeft veel licht nodig. De film is langzaam, maar je krijgt er wel minder korrelige foto's mee bij stilstaande camera en voorwerp. Helaas gaat de lichtgevoeligheid meestal ten koste van de kwaliteit van de foto's. Om een grote lichtgevoeligheid te bereiken, is fotografisch materiaal nodig met een grote korrel. De foto's worden daardoor vaak onscherp.

FIG. 95 Het instellen van de gevoeligheid van de film.



Goed: de film hebben we, nu de foto. De instelling van de camera hangt af van veel factoren. We noemen er twee:

– Hoe zijn de weersomstandigheden?

Bij zonnig weer zijn er geen problemen. Je kunt de diafragma-opening dan kiezen tussen groot en klein. De hoeveelheid licht regel je met de belichtingstijd. Bij somber weer moet je een grote diafragma-opening kiezen en ben je beperkt in de keuze van de belichtingstijd.

– Wat wil je fotograferen?

Voor foto's van snel bewegende voorwerpen, zoals sportfoto's, is een korte belichtingstijd nodig (kleiner dan 1/500 s). Anders wordt de foto onscherp, omdat het voorwerp tijdens het openen van de sluiters beweegt. Voor foto's van stilstaande voorwerpen kun je langere belichtingstijden kiezen. Maar ook niet te lang, omdat je anders zelf beweegt. Het is een hele klus om een camera 1/30 s stil te houden. Voor langere belichtingstijden heb je een statief nodig.

Uiteraard moet je tenslotte niet vergeten scherp te stellen en dat is vooral bij snel bewegende voorwerpen een probleem. Verder moet je letten op de scherptediepte. Als je een landschap wilt fotograferen, moet een heel gebied scherp op de foto staan. Dat betekent dat je de diafragma-opening zo klein mogelijk moet kiezen. Maar dan moet de belichtingstijd langer worden om toch voldoende licht op je film te krijgen.

FIG. 96 Een cameraobjectief SMC Pentax-M 1 : 1,7; 50 mm.



Automatische fotocamera's

Gelukkig is fotograferen niet zo moeilijk als het lijkt. Moderne camera's zijn zo gebouwd dat ze veel zelf regelen. Door het instellen van de filmkeuzeknop weet de camera hoeveel licht de film nodig heeft. De camera meet de hoeveelheid licht die door het objectief komt. Bij een bepaalde keuze van het diafragma berekent de camera zelf de belichtingstijd. Maak je het diafragma groter, dan wordt de belichtingstijd vanzelf kleiner. De camera zorgt er dus voor dat de film goed belicht wordt. Bij een camera met autofocus hoeft je zelfs niet scherp te stellen. Ook dat regelt de camera voor je. En mocht je een hekel hebben aan het spannen van de sluiters; er zijn ook camera's die zelf na iedere foto zorgen voor het filmtransport.

- 1** Op de rand van een lens staat (figuur 96):
SMC Pentax-M 1 : 1,7; 50 mm
- a** Wat is de brandpuntsafstand van deze lens?
 - b** Wat is de openingsverhouding van deze lens?
 - c** Bereken de diameter van de lensopening, als het diafragma helemaal open staat.
 - d** Bereken de oppervlakte van de lensopening.
 - e** Wat is het kleinste diafragmanummer op de diafragmaring?

Als je het diafragma één stap dichtdraait, is het diafragmanummer 2,4.

- f** Bereken de diameter van de lensopening bij diafragmanummer 2,4.
- g** Bereken de oppervlakte van de lensopening bij diafragmanummer 2,4.
- h** Wat valt je op als je beide oppervlakten uit **d** en **g** met elkaar vergelijkt?

- 2** Bij een automatische camera wordt de belichtingstijd twee keer zo groot, als je het diafragma één stap kleiner maakt. Leg dit uit.

- 3** Een camera staat scherp gesteld op oneindig (zie figuur 93). Het diafragma staat op 5,6.
- a** Bepaal met behulp van figuur 93 het scherpte-dieptegebied bij diafragmagetal 5,6.
Uit de figuur blijkt dat de scherptediepte bij diafragmagetal 2,8 kleiner is dan bij 5,6.
 - b** Leg dit uit met behulp van een tekening.
- 4** Je maakt met een standaardobjectief van 50 mm een scherpe foto van een kerktoeren op 150 m van de lens. De kerktoeren is 40 m hoog.
- a** Bereken de beeldafstand.
 - b** Leg uit waarom de beeldafstand (bijna) gelijk is aan de brandpuntsafstand.
 - c** Bereken de grootte van de kerktoeren op het negatief.
Je maakt van dezelfde kerktoeren een foto met een tele-objectief met een brandpuntsafstand van 200 mm.
 - d** Bereken de grootte van de kerktoeren op het negatief.
 - e** Wat valt je op als je beide beeldgroottes vergelijkt en beide brandpuntsafstanden?
 - f** Hoe groot wordt de kerktoeren op het negatief als je een groothoekobjectief gebruikt van 25 mm?
- 5** Schrijf op welke stappen je achtereenvolgens moet uitvoeren om een goede foto te maken.
- 6** Als je zelf (of thuis) een fotocamera hebt, ga dan na wat de brandpuntsafstand van het objectief is. Kijk ook naar de openingsverhouding van het objectief en vergelijk dit met het kleinste diafragmagetal.

E3 Oefenvragen en opgaven

- 1 Een bundel evenwijdige lichtstralen valt op een lens met een brandpuntsafstand van 5,0 cm.
 - a Teken de stralengang als het een bolle lens is.
 - b Teken de stralengang als het een holle lens is.
 - c Hoe heet de bundel die de bolle lens vormt?
 - d Hoe heet de bundel die de holle lens vormt?

- 2 Met een bolle lens met een brandpuntsafstand van 10 cm beeld je een kaars scherp af op een scherm. De kaars staat 15 cm voor de lens. De kaars is 5,0 cm hoog.
 - a Bepaal met behulp van de bijzondere lichtstralen de plaats van het scherm. Maak een tekening op schaal 1 : 5. Stel de kaars voor door een pijl van 1,0 cm hoogte op de hoofdas.
 - b Bepaal met behulp van de tekening de grootte van het beeld.
 - c Bereken met behulp van de lenzenformule de beeldafstand.
 - d Bereken met behulp van de vergroting de grootte van het beeld.

Je wilt van de kaars een beeld vormen dat 5,0 cm groot is.

 - e Hoe moet je dan de kaars en het scherm verschuiven?
 - f Bereken de voorwerpsafstand en de beeldafstand als het beeld van de kaars 5,0 cm groot is.

- 3 Een bolle lens vormt van een voorwerp dat 3,0 cm van de lens staat een beeld. De brandpuntsafstand van de lens is 5,0 cm.
 - a Bepaal met behulp van de bijzondere lichtstralen de plaats van het beeld. Stel het voorwerp voor door een pijl van 1,0 cm hoogte op de hoofdas.
 - b Hoe noem je het beeld dat door de lens gevormd wordt?
 - c Bepaal met behulp van de tekening de vergroting.

- 4 Een diaprojector vormt van een dia van 24 bij 36 mm een beeld van 1,2 bij 1,8 m op een scherm. Het scherm staat 5,0 m van de projectorlens.
 - a Bereken de vergroting.
 - b Bereken de afstand tussen de dia en de lens.
 - c Bereken de brandpuntsafstand van de lens.

- 5 Oudere mensen gebruiken soms een loep om de kleine lettertjes van de krant te lezen. Een loep is een bolle lens. Als je door een loep kijkt, zie je een vergroot beeld van de letters.
 - a Hoe noem je het beeld dat bij een loep ontstaat? De letters in de krant zijn 2,0 mm hoog. De loep heeft een brandpuntsafstand van 10 cm. De loep wordt 6,0 cm boven de krant gehouden.
 - b Bepaal met behulp van de bijzondere lichtstralen de plaats van het beeld.
 - c Bereken de hoogte van de gevormde letters.

- 6 Met een fotocamera maak je een foto van een auto. De cameraleens heeft een brandpuntsafstand van 5,0 cm. De auto is 4,5 m lang en staat 10 m van de camera.
 - a Bereken de beeldafstand.
 - b Bereken de lengte van de auto op het negatief.
 - c Hoe verandert het beeld als je de diafragma-opening kleiner maakt?
 - d Op welke manier kun je bij een kleinere diafragma-opening toch voor een goede foto zorgen?

Een kleinbeeldnegatief is 24 bij 36 mm.

 - e Bereken hoe ver je van de auto moet gaan staan om de hele breedte van het negatief te benutten.

- 7 Een bundel evenwijdige lichtstralen valt op een negatieve lens. De bundel is breder dan de lens. 10 cm achter de lens staat een scherm. De schaduw op het scherm is getekend in figuur 97.
 - a Leg uit hoe deze schaduwvorm ontstaat.
 - b Maak een tekening van de stralengang.
 - c Bereken met behulp van figuur 97 de brandpuntsafstand.

FIG. 97 De schaduwvorming bij een negatieve lens in een evenwijdige bundel:

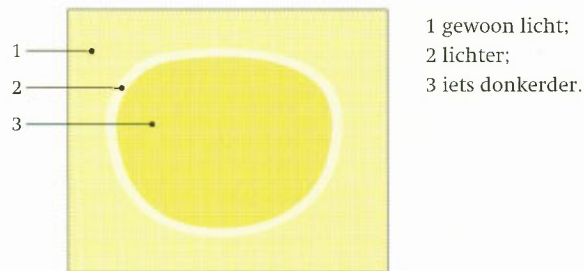
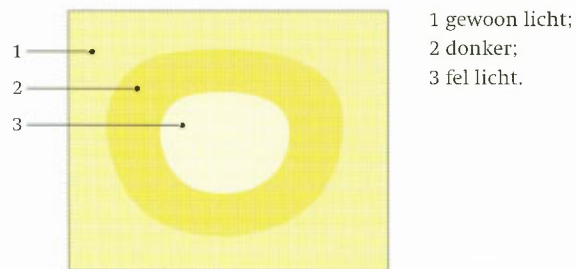


FIG. 98 De schaduwvorming bij een positieve lens in een evenwijdige bundel:



Als je een positieve lens gebruikt in plaats van een negatieve lens, ontstaat de schaduw van figuur 98. De afstand tussen lens en scherm blijft 10 cm.

d Leg uit hoe de schaduwvorm ontstaat.

e Maak een tekening van de stralengang.

f Bereken met behulp van figuur 98 de brandpuntsafstand.