

Wat je moet kennen en kunnen aan het eind van blok 11

1 Je moet weten hoe een fotocamera zonder lens werkt. [P1, T1, W1]

2 Je moet weten waar een diafragma voor 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 weten wat we onder goede beeldvorming verstaan. [P1, T1, W1, P4, T4, W4]

5 Je moet kunnen verklaren waarom het beeld bij een camera zonder lens onscherp is en bij een camera met lens scherp. [P1, T1, W1]

6 Je moet kunnen verklaren waarom het beeld bij een fotocamera op zijn kop staat. [P1, T1, W1]

7 Je moet weten wat we onder beeldafstand b en voorwerpsafstand v verstaan. [P1, T1, W1]

8 Je moet weten hoe de beeldafstand verandert bij een grotere of kleinere voorwerpsafstand. [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 hoe de keuze van het diafragma afhangt van de weersomstandigheden. [T4, W4]

11 Je moet weten hoe de keuzen van belichtingstijd en diafragma met elkaar samenhangen. [T4, W4]

12 Je moet weten hoe evenwijdige lichtstralen gebroken worden door een bolle lens. [P2, T2, W2]

13 Je moet weten wat we onder de brandpunten en de brandpuntsafstand f van een lens verstaan. [P2, T2, W2]

14 Je moet weten hoe je de brandpuntsafstand van een lens bepaalt. [P2, T2, W2]

15 Je moet weten wat we onder de convergerende werking van een bolle lens verstaan en op welke ma-

nier deze afhangt van de brandpuntsafstand. [P1, T1, W1, P2, T2, W2]

16 Je moet weten wat we onder de hoofdas en onder het optisch middelpunt van een lens verstaan. [P2, T2, W2]

17 Je moet weten hoe evenwijdig invallende stralen gebroken worden door een holle lens. [P2, T2, W2]

18 Je moet de loop van de drie bijzondere lichtstralen door een bolle lens kunnen tekenen. [P2, T2, W2]

19 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]

20 Je moet weten wat we bedoelen met een reëel beeld en met een virtueel beeld. [P2, T2, W2]

21 Je moet weten onder welke omstandigheden een reëel beeld of een virtueel beeld ontstaat. [P2, T2, W2]

22 Je moet de werking van de ooglens kennen. [P4, T4, W4]

23 Je moet weten wat we onder het accommoderen van het oog verstaan. [P4, T4, W4]

24 Je moet weten hoe de brandpuntsafstand van het oog verandert als bij gelijkblijvende beeldafstand de voorwerpsafstand verandert. [P1, T1, W1, P4, T4, W4]

25 Je moet de lenzenformule kennen en ermee kunnen rekenen bij de vorming van een reëel beeld. [P3, T3, W3]

26 Je moet het begrip vergroting kennen. [P3, T3, W3]

27 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]

28 Je moet weten hoe de vergroting gebruikt wordt bij een vergrotingstoestel en een diaprojector. [P3, T3, W3]

Blok 11

Lichtbeelden

Basisstof

T1 De fotocamera 52

W1 53

T2 De lens 54

W2 59

T3 Rekenen aan de beeldvorming door een lens 61

W3 63

T4 De fotocamera en het oog 64

W4 68

Herhaalstof

H1 De eigenschappen van een lens 69

H2 Beeldconstructies 71

H3 Vergroting 74

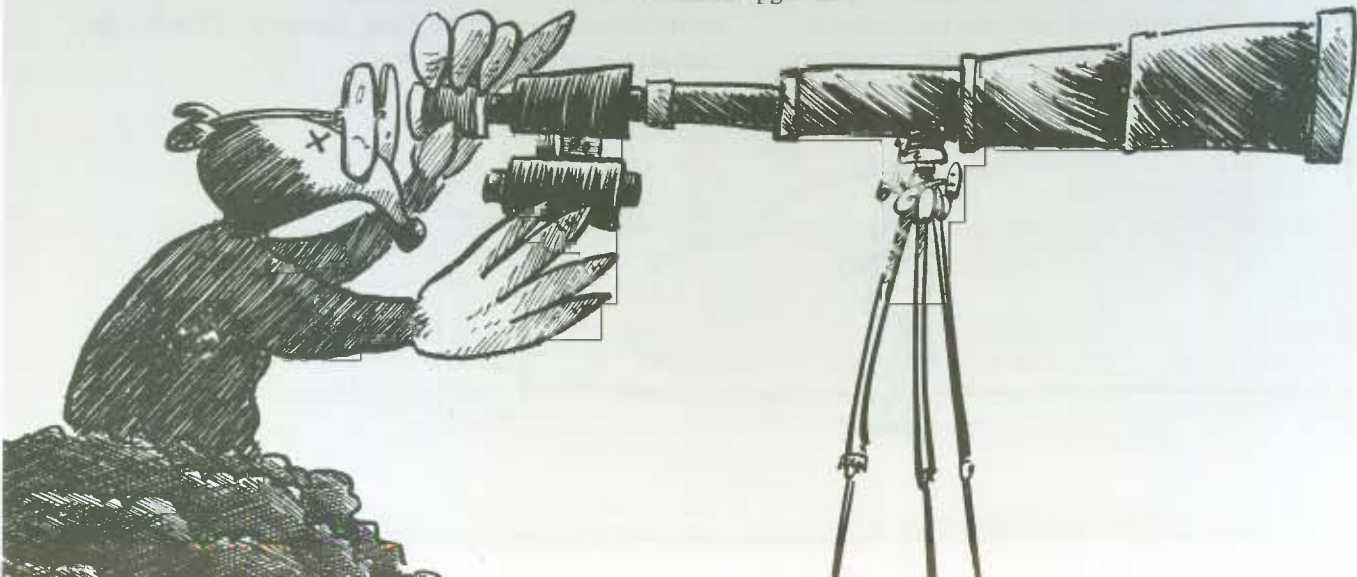
H4 De lenzenformule 75

Extrastof

E1 Brillen 77

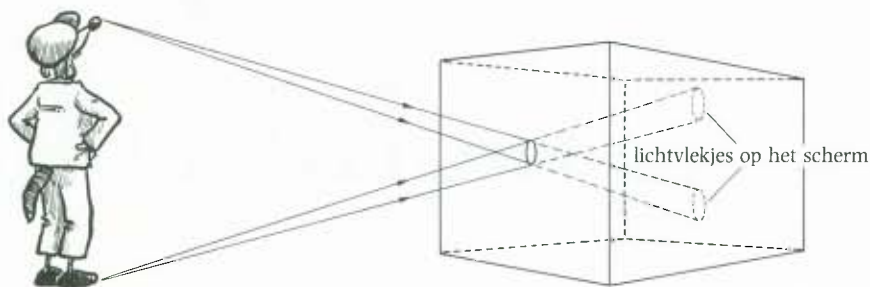
E2 Meer over de fotocamera 79

E3 Extra opgaven 84



Een fotocamera wordt gebruikt om beelden van voorwerpen vast te leggen. Een camera vormt van een voorwerp een beeld door het licht dat het voorwerp uitzendt of terugkaatst, op te vangen. Bij een camera zonder lens gebeurt dat nog vrij primitief. Er ontstaat dan ook geen scherp beeld. In figuur 1 is de stralengang bij een camera zonder lens getekend.

fig. 1
De stralengang bij een camera obscura.



Je moet wel beseffen dat de persoon voor de camera het licht dat op hem of haar valt, in alle richtingen terugkaatst. Slechts een zeer klein lichtbundeltje valt vanuit elk punt van de persoon in de camera. Twee van deze bundeltjes zijn getekend in figuur 1. Aan de hand van de tekening kun je zien dat elke punt als vlekje wordt afgebeeld.

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

Met een verstelbare opening, een diafragma, kan het doorgelaten bundeltje smaller gemaakt worden. De vlekjes worden dan kleiner; het beeld wordt 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).

We kunnen 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 zijkanten 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

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

in de camera niet verder uiteenlopen, maar juist naar elkaar toelopen. We noemen dit *convergeren*. De vlekjes op de achterwand worden punten. Als de camera goed is ingesteld, vinden we een scherpe afbeelding van het voorwerp op de achterwand (figuur 2).

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

Je moet de camera scherp instellen om een scherp beeld van een voorwerp te krijgen. Bij een dichtbij gelegen voorwerp moet je de afstand tussen de lens en het scherm vergroten. Bij een ver weg gelegen voorwerp moet je de afstand tussen de lens en scherm verkleinen. De afstand tussen de lens en het scherm 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;

fig. 2
De stralengang bij een camera met lens.

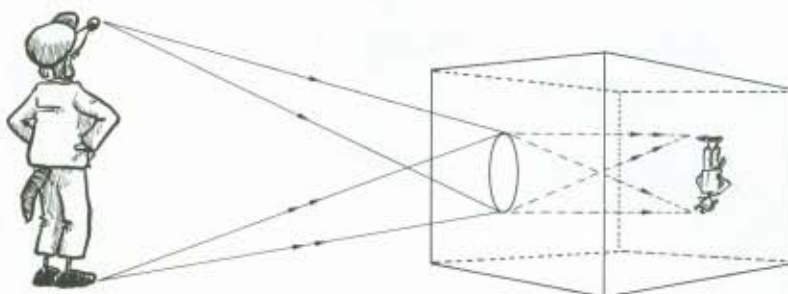


fig. 3
Het beeld bij een camera met lens.



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

Dit is afgebeeld in figuur 4.

Het voorwerp L_2 staat dichterbij. 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.

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

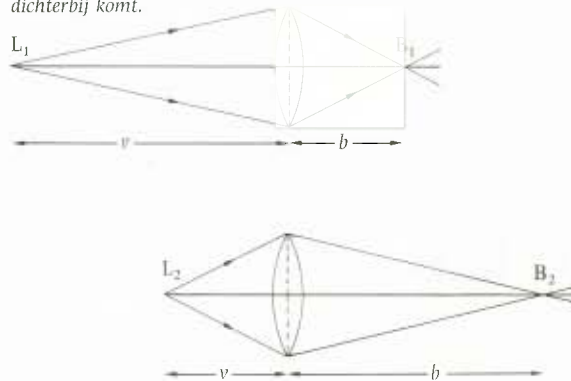
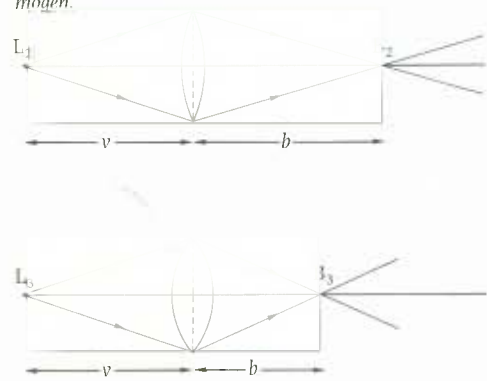


fig. 5
Een bollere lens heeft een groter convergerend vermogen.



Blok 11

W1

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 als we het diafragma verkleinen, als je let op:

- a de scherppte van het beeld;
- b de grootte van het beeld;
- c de helderheid van het beeld?

3 Welke voordelen heeft een camera mét lens boven een camera zonder lens?

4 Hoe moeten we bij een camera mét lens de beeldafstand veranderen,

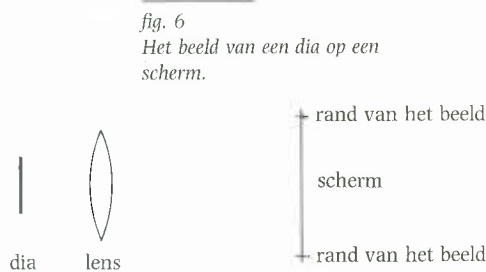
a als we een scherp beeld willen van een voorwerp dichterbij?

b als we een bollere lens gebruiken 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.

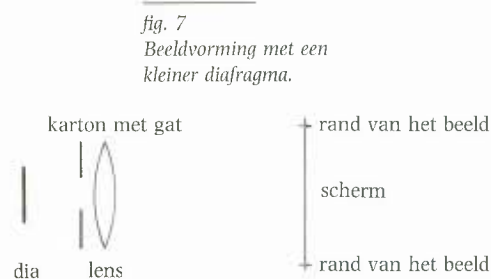
Neem de tekening over

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 We verkleinen de opening van de lens uit opgave 6 (figuur 7) met een stukje karton waarin een gat zit. De voorwerpsafstand is niet veranderd.



a Hoe verandert het beeld van een camera mét lens als we een kleiner diafragma nemen?

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.

Blok 11

T2

De lens

We kunnen de eigenschappen van een bolle lens ontdekken 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.

De belangrijkste eigenschappen van de lens zijn hieronder weergegeven.

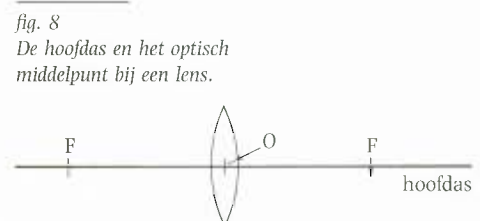
Hoofdas, optisch middelpunt

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 8).

Brandpunt, brandpuntsafstand

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, het ander rechts van de lens.

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.



Beide brandpunten liggen op de hoofdas en even ver van het optisch middelpunt (figuren 9 en 10). 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.

Sterkte lens

Een bollere lens heeft een kleinere brandpuntsafstand (figuur 11). Zo'n lens noemen we sterker. Hij convergeert sterker. (Convergeren betekent: de lichtstralen bij elkaar brengen.)

De sterkte van de lens is dus groter als de brandpuntsafstand kleiner is.

Voorwerpsafstand, beeldafstand

De afstand van een voorwerp L tot de lens heet de voorwerpsafstand v .

De afstand van het beeld B tot de lens heet de beeldafstand b (figuur 12).

fig. 9
Een evenwijdige bundel van links gaat door het brandpunt rechts van de lens.

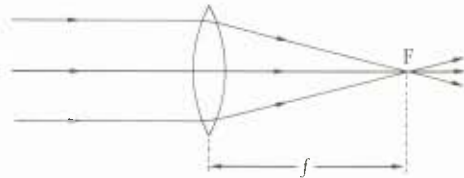


fig. 10
Een evenwijdige bundel van rechts gaat door het brandpunt links van de lens.

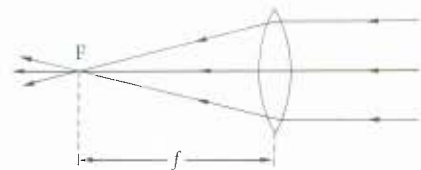
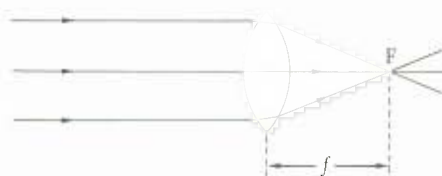


fig. 11
Brandpunten bij een bollere lens: de brandpuntsafstand is kleiner.



De voorwerpsafstand en de beeldafstand kun je veranderen door de afstand tussen de lens en het voorwerp te veranderen. Als de voorwerpsafstand toeneemt, wordt de beeldafstand kleiner en omgekeerd. De brandpuntsafstand van een lens kun je niet veranderen.

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 *divergerende* bundel. De holle lens heeft dus een divergerende werking (figuur 13).

Positieve lens, negatieve lens

Voor de eenvoud stellen we een bolle lens voortaan voor door een lijn met een $+$ teken er boven (figuur 14).

fig. 12
Voorwerpsafstand en beeldafstand bij een bolle lens.

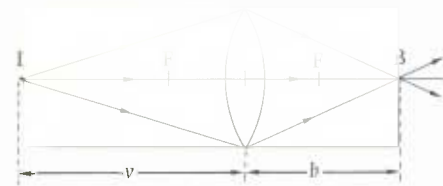


fig. 13

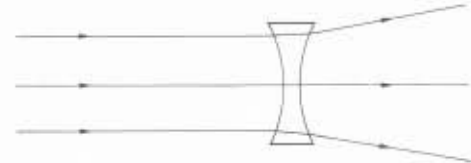
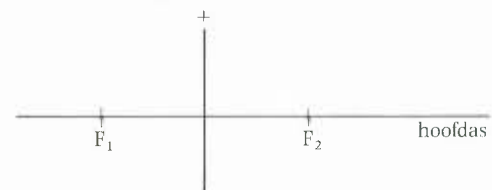


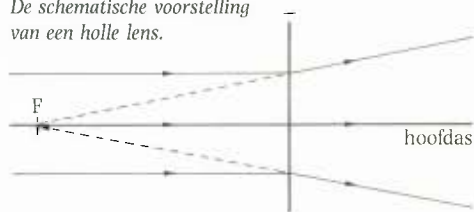
fig. 14
De schematische voorstelling van een bolle lens.



We stellen een holle lens voor door een lijn met een – teken erboven (figuur 15).

fig. 15

De schematische voorstelling van een holle lens.



Drie bijzondere lichtstralen (bolle lens)

1 Alle lichtstralen die evenwijdig aan de hoofdas op de lens vallen, gaan na breking door het brandpunt F_2 (figuur 16).

2 Lichtstralen door het optisch middelpunt O worden niet gebroken en gaan rechtdoor (figuur 17).

3 De lichtstralen die door het brandpunt F_1 op de lens vallen, gaan evenwijdig aan de hoofdas verder (figuur 18).

fig. 16

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

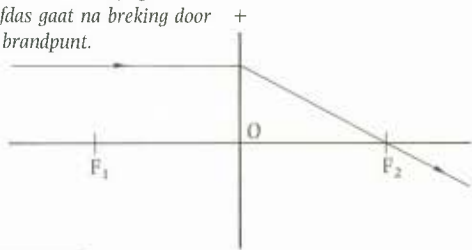


fig. 17

Een straal door het optisch middelpunt gaat rechtdoor.

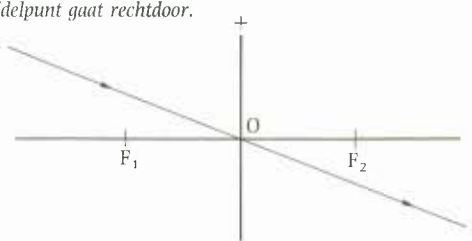
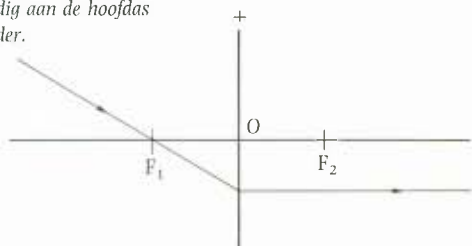


fig. 18

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



Beeldvorming bij een bolle lens

a Voorwerpsafstand groter dan de brandpuntsafstand ($v > f$)

We kunnen de drie bijzondere lichtstralen gebruiken om het beeldpunt B te construeren (= zeer nauwkeurig tekenen) bij een bolle lens. Het beeldpunt B is het punt waar alle lichtstralen, afkomstig vanuit het punt L, weer samenkomen (figuur 19). Als je van twee of drie lichtstralen weet hoe ze door de lens gebroken worden, kun je B vinden en daardoor weet je hoe alle stralen lopen die vanuit L in B moeten terechtkomen. Voor deze constructie gebruik je drie bijzondere lichtstralen.

De eerste bijzondere lichtstraal loopt vanuit L evenwijdig aan de hoofdas en gaat na breking door F_2 (figuur 20). De plaats van het beeldpunt B kun je nu nog niet bepalen.

De tweede bijzondere lichtstraal loopt vanuit L door het optisch middelpunt O. Deze lichtstraal gaat rechtdoor (figuur 21).

fig. 19

Een lichtpunt L staat voor een bolle lens.

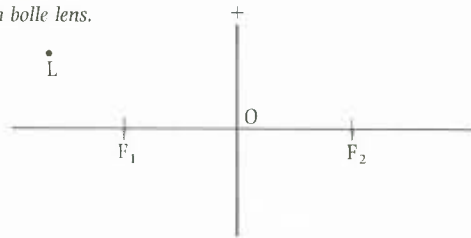


fig. 20

De straal evenwijdig aan de hoofdas.

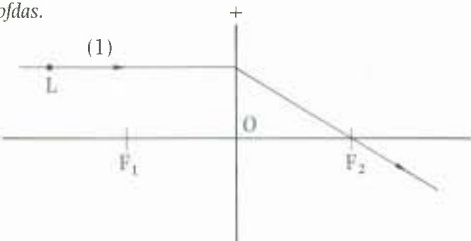
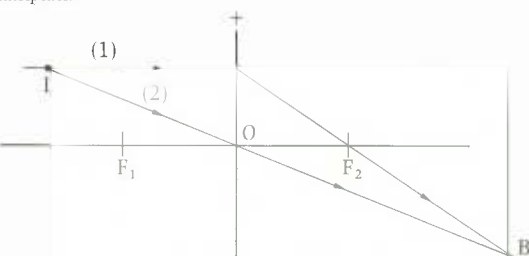


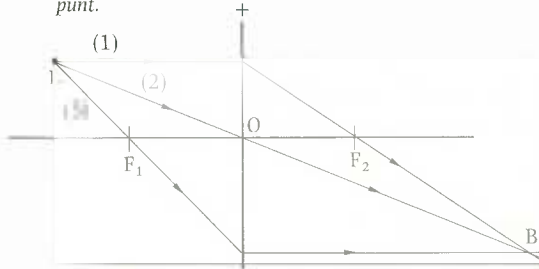
fig. 21

De straal door het optisch middelpunt.



Beide stralen snijden elkaar in het beeldpunt B.
Je kunt de derde bijzondere lichtstraal gebruiken om te controleren of je B op de juiste plaats hebt geconstrueerd (figuur 22).

fig. 22
De straal door het brandpunt.



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

In figuur 23 is een willekeurige lichtstraal (straal 4) vanuit L getekend, die na breking door B gaat. Omdat we het beeldpunt B op een scherm zichtbaar kunnen maken, spreken we over een reëel beeldpunt.

b Voorwerpsafstand kleiner dan de brandpuntsafstand ($v < f$)

Als we de voorwerpsafstand kleiner maken, wordt de beeldafstand groter (figuur 24).

fig. 23
Een willekeurige straal (4) vanuit L.

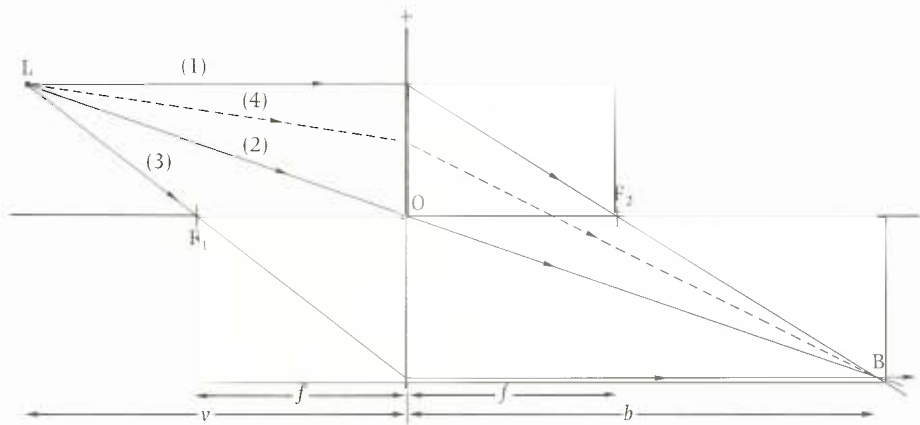
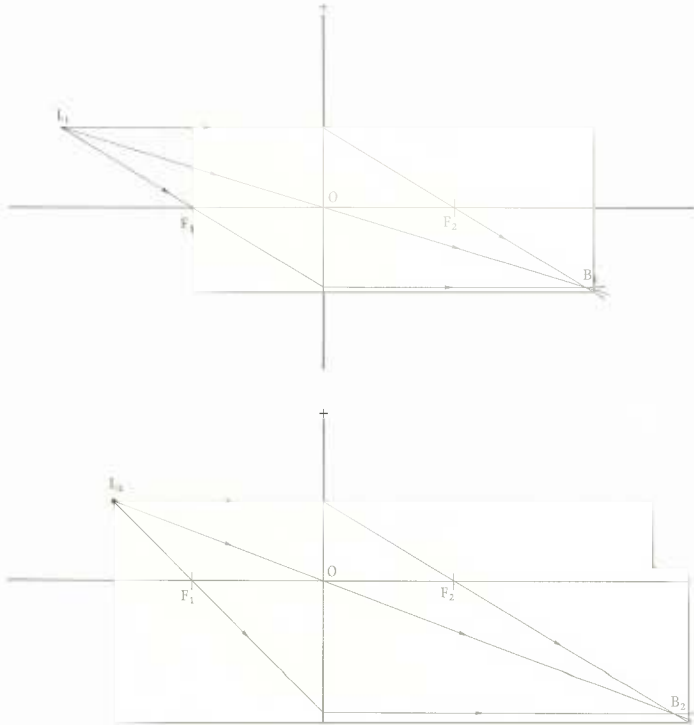


fig. 24
De plaats van het beeld bij een kleinere voorwerpsafstand. $f_1 = f_2 = 2,5$ cm
 $v_1 = 5,0$ cm, $b_1 = 5,0$ cm;
 $v_2 = 4,0$ cm, $b_2 = 6,7$ cm.



Als de voorwerpsafstand gelijk is aan de brandpuntsafstand lopen de stralen die uit de lens komen evenwijdig (figuur 25). Er is dan geen beeldpunt meer. Maken we de voorwerpsafstand nog kleiner, dan lopen de lichtstralen na breking uit elkaar. Deze stralen snijden elkaar niet aan de rechterkant van de lens (figuur 26). De stralen lijken uit een punt te komen dat links van de lens ligt!

Voor de drie bijzondere lichtstralen betekent dit:

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

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 noemen we het

beeldpunt B . Omdat we B niet op een scherm kunnen afbeelden noemen we dit een virtueel beeldpunt. Je kunt het beeldpunt wel zien, als je in de lens kijkt.

Samenvatting

$$v > f$$

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 diaprojector 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.

fig. 25
Als het lichtpunt L samenvalt met het brandpunt, komt er een evenwijdige bundel uit de lens.

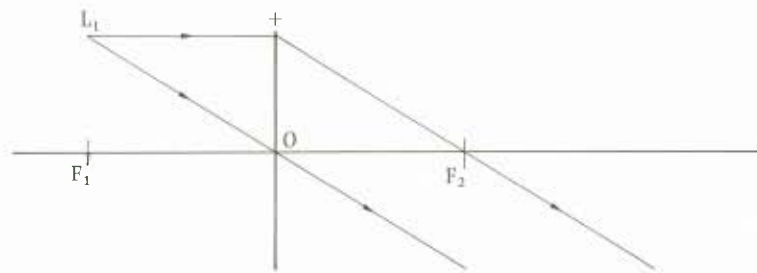
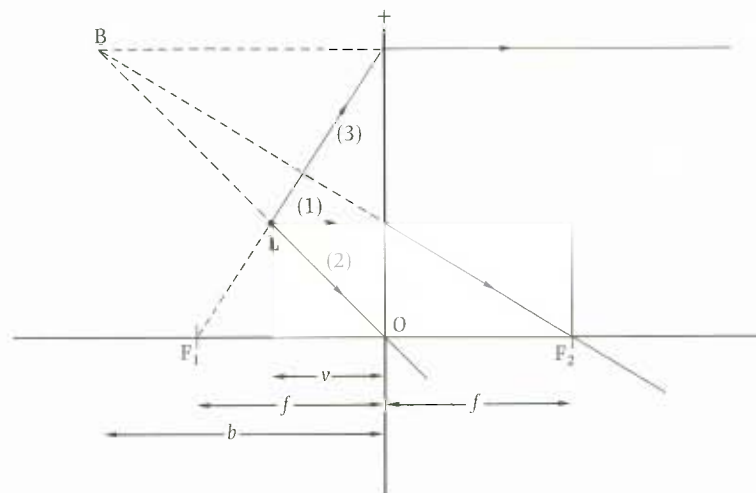


fig. 26
Als de voorwerpsafstand kleiner is dan de brandpuntsafstand ontstaat een virtueel beeld.



W2

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 Welk verschil bestaat er tussen de brandpuntsafstand van een lens en de beeldafstand?

3 Een voorwerp (het pijltje) wordt door een lens afgebeeld op een scherm (figuur 27).

Meet in de tekening de voorwerpsafstand v , de beeldafstand b en de brandpuntsafstand f en noteer deze in je schrift.

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 28).

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 beeld.

c Meet de voorwerpsafstand en de beeldafstand.

d Wat voor soort lichtbundel komt er uit de lens?

6 Met dezelfde lens willen we een beeld vormen van een lichtpunt, dat dichterbij staat (figuur 29).

Neem de tekening over.

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

b Meet de voorwerpsafstand en de beeldafstand.

c Hoe verandert de beeldafstand als de voorwerpsafstand kleiner wordt?

fig. 27
Een voorwerp afgebeeld op een scherm.

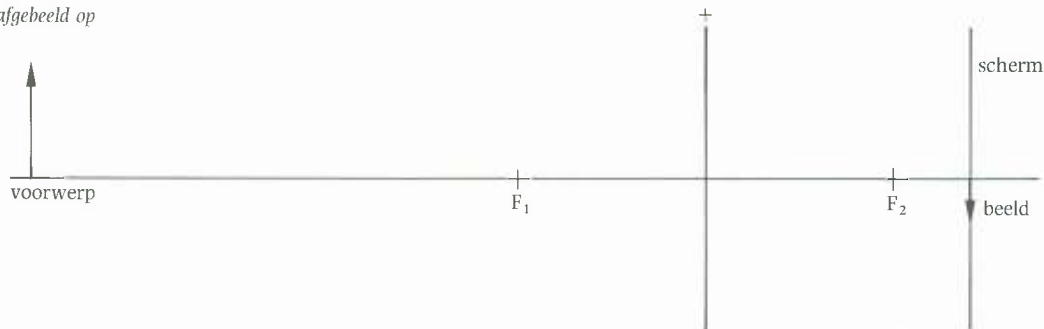


fig. 28
De beeldvorming bij een bolle lens.

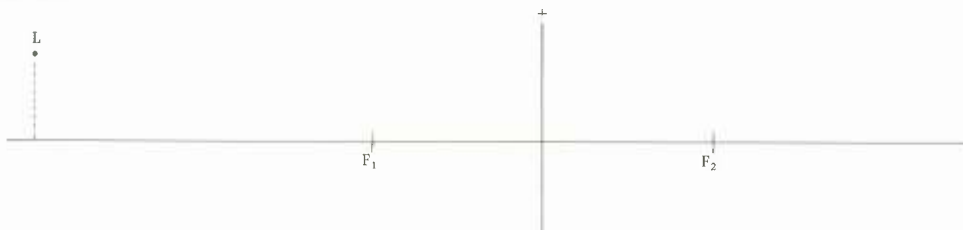
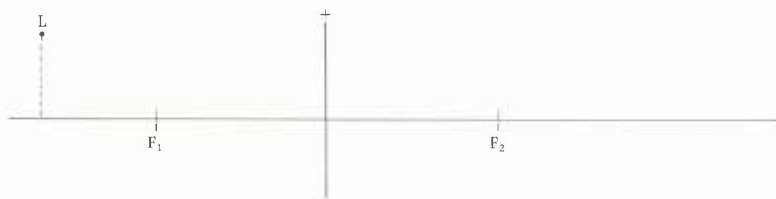


fig. 29
De beeldvorming bij een kleinere voorwerpsafstand.



7 We verschuiven het lichtpunt nog verder naar de lens (figuur 30).

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 noemen we het beeld dat nu ontstaat?

8a 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 31). 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 beeld van L_1 .

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

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

d Waar moeten we het scherm plaatsen om een scherp beeld van de dia te krijgen?

e Wat valt je op als je de stand van de dia vergelijkt met de stand van het beeld?

10 Een dia L_1L_2 wordt door de lens van een diaprojector scherp afgebeeld op een scherm (figuur 32).

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 moeten we het scherm verplaatsen om een groter beeld te krijgen?

d Hoe moeten we de lens verplaatsen om bij een groter beeld een scherp beeld te krijgen?

fig. 30
We maken de voorwerpsafstand nog kleiner.

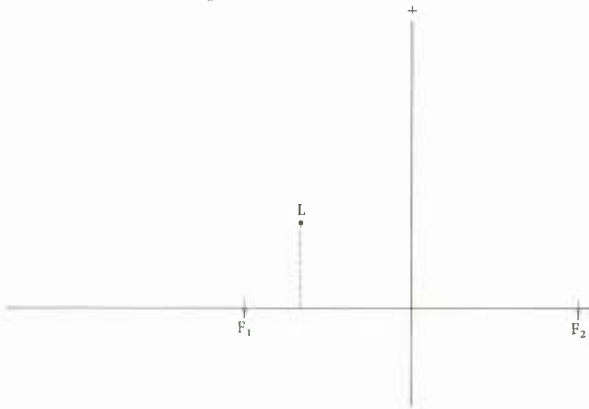


fig. 31
De beeldvorming bij een diaprojector.

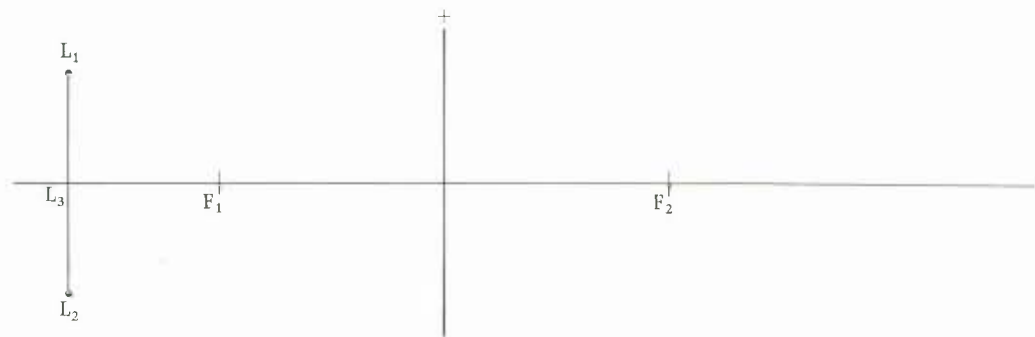
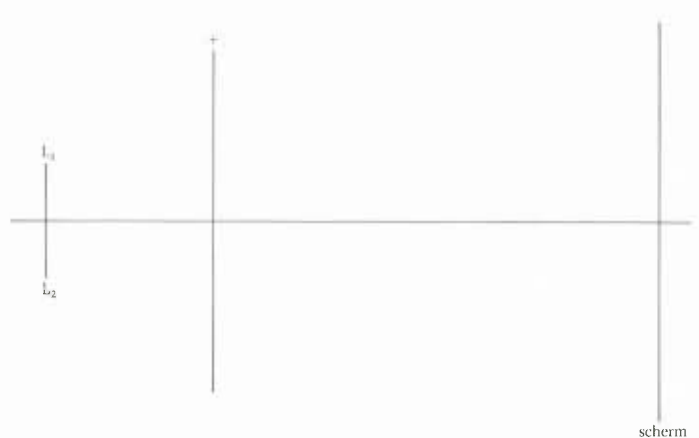


fig. 32
Het beeld van een dia op een scherm.



Rekenen aan de 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 diaprojector ontstaat een groot beeld op het scherm.

Onder de vergroting verstaan we de verhouding tussen de beeldgrootte en de voorwerpsgrootte:

$$\text{vergroting} = \frac{\text{grootte van het beeld}}{\text{grootte van het voorwerp}}$$

Het symbool voor de vergroting is de hoofdletter N .

Voorbeeld

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

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 en de beeldafstand 200 cm, is de vergroting:

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

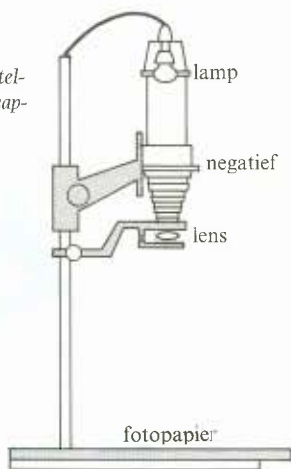
Het beeld is dus 20 keer zo groot als het voorwerp. Als de beeldgrootte (= de dikte van de gloeidraad) 1,0 cm is, zal de dikte van de gloeidraad zijn:

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

Een ander toestel dat gebruik maakt van de vergroting door een lens is het vergrotingsapparaat (figuur 33). 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. Kiezen we voor een bepaalde voorwerpsafstand dan ligt de beeldafstand vast en daarmee de grootte van de afbeelding. Maken we de voorwerpsafstand kleiner dan wordt de beeldafstand groter. De vergroting neemt daardoor toe en er ontstaat dus een grotere afbeelding.

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. 33
Een schematische voorstelling van een vergrotingsapparaat.



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. Maar op het eerste gezicht valt daar geen verband tussen te ontdekken. Dat verband wordt pas duidelijk als we gaan rekenen. Het blijkt dat de breuken $\frac{1}{v}$ en $\frac{1}{b}$ samen

steeds hetzelfde getal opleveren.

Dit getal is steeds gelijk aan $\frac{1}{f}$

(f = brandpuntsafstand).

In formulevorm: $\frac{1}{v} + \frac{1}{b} = \frac{1}{f}$

Dit noemen we de lenzenformule.

Rekenen aan de beeldvorming

We hebben nu twee formules gevonden waarmee je berekeningen kunt uitvoeren aan de beeldvorming:

de formule voor de vergroting: $N = \frac{b}{v}$ en

de lenzenformule: $\frac{1}{v} + \frac{1}{b} = \frac{1}{f}$

Hieronder staan twee voorbeelden.

Voorbeeld 1

Een lens vormt van een voorwerp, dat 7 cm voor de lens staat, een scherp beeld op een scherm 17 cm achter de lens.

Je kunt de brandpuntsafstand als volgt berekenen:

Gegeven: $v = 7$ cm en $b = 17$ cm.

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

$$\frac{1}{7} + \frac{1}{17} = \frac{1}{f}$$

$$\frac{1}{f} = 0,143 + 0,059 = 0,202$$

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

Voor het berekenen van breuken kun je een rekenmachine gebruiken (figuur 34).

Met de rekenmachine:

$$17 \left[\frac{1}{x} \right] + 7 \left[\frac{1}{x} \right] =$$

Het tussenresultaat is $\frac{1}{f}$

Om f te vinden toets je weer

$$\left[\frac{1}{x} \right] \text{ in.}$$

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.

Gegeven:

$f = 10$ 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 vinden we nu:

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

Het beeld is dus tweemaal zo groot als het voorwerp.

Het beeld van de kaars is dus $2 \times 8 = 16$ cm.

fig. 34
Rekenen met een rekenmachine.



Virtuele beelden

Er ontstaat een virtueel beeld als de voorwerpsafstand kleiner is dan de brandpuntsafstand. Een virtueel beeld

staat aan dezelfde kant van de lens als het voorwerp en is dus niet af te beelden op een scherm.

Voorbeeld

Een lens met een brandpuntsafstand van 10 cm vormt een beeld van een voorwerp dat 5 cm voor de lens staat. We kunnen de beeldafstand berekenen met de lenzenformule.

Gegeven: $v = 5$ cm en $f = 10$ cm.

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

$$\frac{1}{5} + \frac{1}{b} = \frac{1}{10}$$

$$\frac{1}{b} = 0,10 - 0,20 = -0,10$$

$$b = \frac{-1}{0,10} = -10 \text{ cm}$$

Het beeld staat op 10 cm van de lens. Het $-$ teken geeft aan, dat het beeld virtueel is. Bij een virtueel beeld (als $v < f$) moet je de beeldafstand dus negatief nemen!

De vergroting bereken je met:

$$N = \frac{b}{v} = \frac{-10}{5} = -2.$$

Omdat we voor de vergroting altijd een positief getal willen, schrijven

we de formule als:

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

Met de twee verticale strepen (modulus-strepen) geven we aan dat we de positieve waarde van de uitkomst opschrijven. Dit noemen we de absolute waarde.

Blok 11

W3

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 fotocamera maken we 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 projecteren we 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 maken we een beeld van een kaars op een scherm. Op het scherm ontstaat een verkleind beeld. We schuiven de kaars langzaam naar de lens.

a In welke richting moeten we 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 35).

a Meet in de tekening de voorwerpsafstand en de beeldafstand.

b Bereken de brandpuntsafstand van de lens.

c Bereken de vergroting.

fig. 35



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.

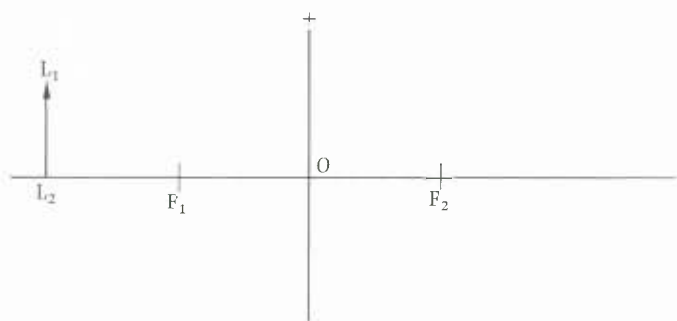
8 Een gloeilamp staat 24 cm voor een lens. Op een scherm 72 cm achter de lens ontstaat een scherp beeld van de gloeidraad.

- Bereken de brandpuntsafstand van de lens.
- Bereken de vergroting.

9 Een bolle lens vormt van een voorwerp een scherp beeld op een scherm (figuur 36).

- Meet in de tekening de voorwerpsafstand, de brandpuntsafstand en de grootte van het voorwerp.
- Neem de tekening over en bepaal met behulp van de drie bijzondere lichtstralen de plaats en de grootte van het beeld.
- Meet de beeldafstand en de grootte van het beeld.
- Bereken met de lenzenformule de beeldafstand.
- Bereken de vergroting.
- Vergelijk de berekende waarden met de gemeten waarden.

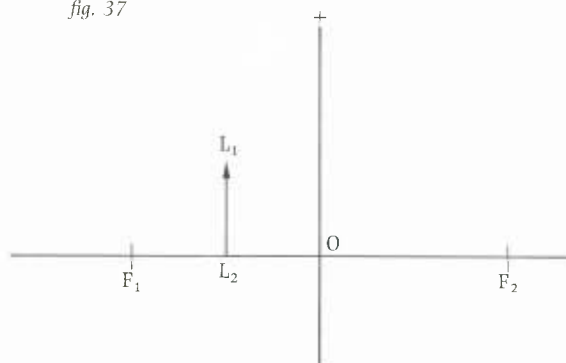
fig. 36
Beeldvorming door een bolle lens.



10 Een bolle lens vormt van een voorwerp een beeld (figuur 37).

- Construeer het beeld en meet de beeldafstand.
- Is het beeld reëel of virtueel?
- Bereken de beeldafstand met de lenzenformule.

fig. 37



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.

- Bereken hoe ver het scherm van de lens moet staan om een scherp beeld te krijgen.
- Bereken de grootte van het beeld op het scherm.

12 Met een vergrotingsapparaat maken we 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.

- Bereken de vergroting.
- Bereken de brandpuntsafstand van de gebruikte lens.
- Op welke manier kun je een afdruk maken op een kleiner formaat? Licht je antwoord toe.

Blok 11

T4

De fotocamera en het oog

Als je de werking van een fotocamera vergelijkt met de werking van het oog, dan ontdek je een aantal interessante overeenkomsten. Misschien kom je wel tot de conclusie dat er bij de ontwikkeling van de camera

goed naar het voorbeeld van het oog is gekeken. Wil je meer weten over de fotocamera of de werking van het oog en het gebruik van een bril, dan kun je een van de extrastofonderdelen doen die hierover gaan.

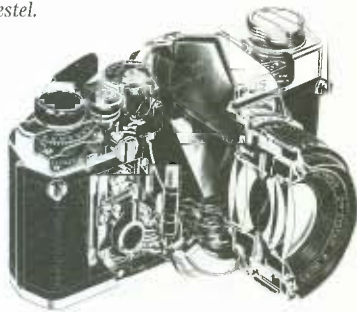
De fotocamera

Tegenwoordig kan haast 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 de fotocamera veel veranderd en verbeterd. Het is daardoor steeds gemakkelijker geworden om een foto te maken die niet alleen scherp is maar ook voldoende lichtsterk is en geen vervorming vertoont.

De belangrijkste onderdelen in een moderne camera zijn:

- lens;
- afstandinstelling;
- diafragma;
- sluiters;
- filmtransport (figuur 38).

fig. 38
Een opengewerkte tekening van een fototoestel.



De lens van een camera, ook wel het objectief genoemd, heeft meestal een brandpuntsafstand tussen de 3 en 5 cm.

De brandpuntsafstand van een cameralens wordt meestal gegeven in mm. Een standaardlens op een kleinbeeldcamera (negatiefformaat 24×36 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 moet voor een scherp beeld zorgen op de film. Omdat de beeldafstand afhangt van de voorwerpsafstand, moeten we de beeldafstand kunnen veranderen. We moeten de camera scherp stellen. Daarvoor dient de afstandinstelling.

Als we een foto willen maken van een voorwerp dat ver weg staat, dan moeten we de afstand instellen op oneindig (het symbool voor oneindig is ∞).

Met een telelens kun je een voorwerp dat veraf staat, 'dichtbij' halen. Sommige camera's zijn zo uitgevoerd, dat je de lens kunt verwisselen. Een zoamlens (spreek uit: zoemlens) is een lens waarvan je de brandpuntsafstand kunt regelen. Met een zoamlens $f = 35$ tot 205 mm kun je een willekeurige brandpuntsafstand kiezen tussen 35 en 205 mm.

fig. 39
Een foto genomen met een telelens.



De stralen die op de lens vallen lopen dan bijna evenwijdig en komen na breking samen in het brandpunt (figuur 40). De beeldafstand is in dit geval gelijk aan de brandpuntsafstand.

We fotograferen nu een voorwerp dat dichterbij staat en laten de afstandinstelling op oneindig staan. Er ontstaat dan een onscherp beeld op de film (figuur 41). Om een scherp beeld te krijgen moeten we de beeldafstand vergroten door de lens uit te draaien. De beeldafstand wordt dan groter dan de brandpuntsafstand (figuur 42).

Op de afstandinstelring staan de voorwerpsafstanden aangegeven. Stellen we de camera op zo'n afstand in, dan vormt de lens van een voorwerp op die afstand een scherp beeld.

In de fotocamera zit een film, met een laag 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 kunnen we 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 diafragmaopening (stand 'zon'; diafragma-nummer 22 of 16) te nemen, kunnen we ervoor zorgen dat de film niet overbelicht wordt. Bij somber, regenachtig weer moeten we de diafragmaopening zo groot mogelijk nemen (stand 'wolken'; diafragma-nummer 2 of 2,8). De film wordt anders onderbelicht.

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

De hoeveelheid licht die op de film valt, hangt niet alleen af van het diafragma. We kunnen ook de belichtingstijd regelen. Op het moment dat we de knop indrukken, wordt er een scherm achter de lens weggetrokken. Het licht kan dan door de lens op de film vallen. De belichtingstijd bepaalt hoe lang het scherm wordt weggetrokken.

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

fig. 40

De stralengang bij een voorwerp dat ver weg staat.

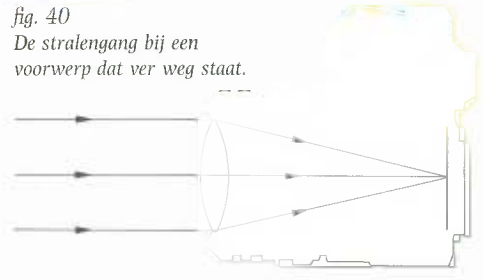


fig. 41

De stralengang bij een voorwerp dat dichterbij staat; zonder scherp te stellen.

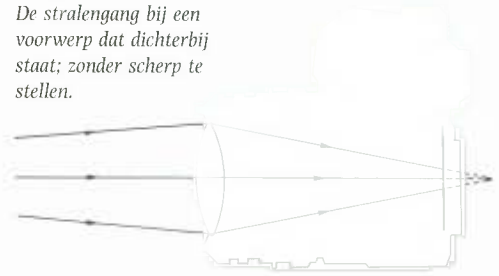
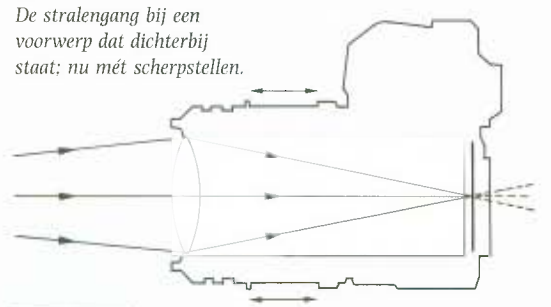


fig. 42

De stralengang bij een voorwerp dat dichterbij staat; nu mét scherpstellen.



De keuze van de belichtingstijd en het diafragma hangen met elkaar samen. Willen we snel bewegende voorwerpen fotograferen (sportfoto's), dan moeten we een korte belichtingstijd kiezen (1/500 s), want anders wordt de foto onscherp (figuur 43). Daar hoort dan een groot diafragma bij.

fig. 43

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



Bij het fotograferen van stilstaande voorwerpen kunnen we 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 44).

fig. 44
Een onscherpe foto doordat de camera tijdens de opname werd bewogen.



Het oog

De belangrijkste onderdelen van het oog die bij de beeldvorming een rol spelen, zijn: de oog lens, de iris met de pupil en het netvlies (figuur 45).

Wanneer we voorwerpen scherp zien, vormt de oog lens een scherp beeld op het netvlies. Het netvlies bestaat uit lichtgevoelige cellen, die het opvallende licht omzetten in elektrische signalen. Deze signalen worden door de gezichts zenuw 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 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. Kijken we naar een voorwerp ver weg, dan valt er een bundel op de oog lens die bijna evenwijdig is. De lens brengt de lichtstralen samen in een punt op het netvlies (figuur 46). Het oog is dan niet geaccommodeerd en de lens is het minst bol. Staat het voorwerp dichterbij, dan moet de oog lens meer convergeren. De lens moet dus boller zijn (figuur 47). Hoe dichterbij het voorwerp staat, des te meer het oog moet accommoderen.

De oog lens is het meest bol als het oog maximaal is geaccommodeerd. In deze toestand heb je je oog ingesteld op de nabijheidsafstand, de kleinste mogelijke voorwerpsafstand. Het is meestal wel mogelijk om dichterbij gelegen voorwerpen gedurende zeer korte tijd scherp te zien, maar dat is zeer vermoeiend.

fig. 45
Een schematische voorstelling van het oog.

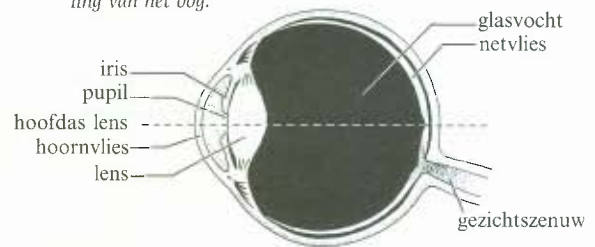


fig. 46
Stralengang bij een niet geaccommodeerd oog.



fig. 47
Stralengang als het voorwerp dichterbij staat.



We kunnen een voorwerp alleen zien als er voldoende licht van het voorwerp op het netvlies terechtkomt. Bij te veel licht wordt het netvlies overbelicht. Net als bij de camera heeft het 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 kleinst.

Mensen met een bril hebben meestal problemen met het accommoderen. Sommigen kunnen voorwerpen ver weg niet scherp zien omdat de ongeaccommodeerde oog lens te bol is (figuur 48). Anderen zien voorwerpen ver weg niet scherp omdat de oog lens juist niet bol genoeg is (figuur 49). Door het gebruik van een extra lens (de bril) kan dit euvel verholpen worden.

fig. 48

Als de oog lens te bol is ontstaat een onscherp beeld.



fig. 49

Er ontstaat ook een onscherp beeld als de oog lens niet bol genoeg is.



Blok 11

W4

1 Schrijf de belangrijkste onderdelen van een fotocamera op. Geef bij elk onderdeel aan waar dit voor dient.

2 Als we een foto maken van een voorwerp ver weg, is de beeldafstand gelijk aan de brandpuntsafstand van de lens.

Leg dit uit.

3 Op de afstandinstelring 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, dat 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 maken we een foto van een voorwerp (figuur 50).

a Meet in de tekening de voorwerpsafstand, de brandpuntsafstand en de grootte van het voorwerp. Neem de tekening over. Geef in de tekening de lens schematisch weer.

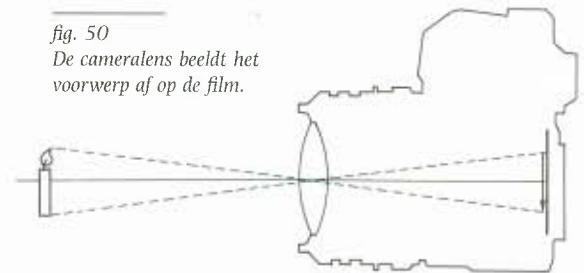
b Construeer het beeld van het voorwerp.

c Meet de beeldafstand en de grootte van het beeld.

d Controleer door berekening of de constructie juist is.

fig. 50

De cameralens beeldt het voorwerp af op de film.



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 fotocamera, die dezelfde functie hebben als de oog lens, het netvlies, de pupil en de oogleden.

8 Welk verschil bestaat er tussen scherpstelling bij een fotocamera en de 'scherpstelling' bij het oog?

9 Het oog is niet geaccommodeerd als we naar een voorwerp kijken dat ver weg staat.

Leg uit wat hiermee wordt bedoeld.

10a Wat verstaan we onder het nabijheidspunt van het oog?

b Zou je bij een fotocamera ook kunnen spreken over een nabijheidspunt? Licht je antwoord toe.

Blok 11 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 ontdekt van de lens. 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 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?

2a 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?

3a 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 maken we een beeld van een gloeidraad op een scherm. De lens heeft een brandpuntsafstand van 3,0 cm. De lamp staat zo 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 door de lens gebroken worden.
- c Waar ontstaat het beeld van de gloeidraad?

5 We schuiven de lamp L naar de lens toe. De lamp ligt 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*) en teken de gebroken lichtstralen.
- e Meet in de tekening de voorwerpsafstand en de beeldafstand en noteer deze.

6 We verschuiven de lamp tot op 5 cm van de lens.

- a Maak een tekening van de lens met de brandpunten.
- b Geef in de tekening de plaats van de lamp 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?

8a Wat gebeurt er met de beeldafstand als we een bollere lens gebruiken?

We vervangen 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 de 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.

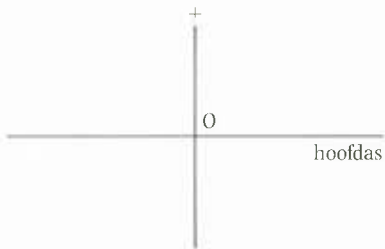
- a Hoe blijkt uit de schematische tekening van de lens, dat we een bollere lens gebruiken?
- b Hoe blijkt uit de loop van de lichtstralen dat een bollere lens een grotere convergerende werking heeft?

Eigenschappen van een lens

De 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 51). Een bolle lens geven we aan met een $+$ teken boven de lens; een holle lens met een $-$ teken.

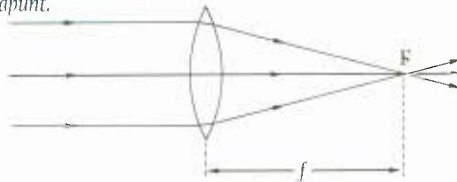
fig. 51
Een schematische tekening van een bolle lens.



De brandpunten van een lens

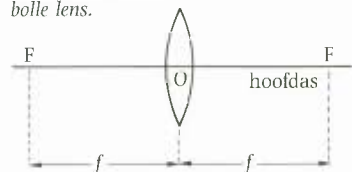
Lichtstralen die evenwijdig aan de hoofdas op een bolle lens vallen, gaan na breking door een brandpunt (figuur 52).

fig. 52
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 53).

fig. 53
Beide brandpunten en de brandpuntsafstand bij een bolle lens.



De 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.

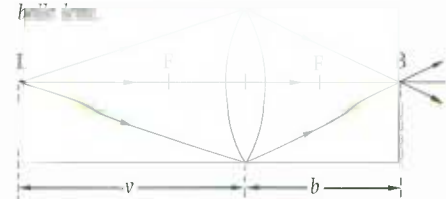
De sterkte van een lens

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.

De beeldvorming door een lens

Een lens vormt van een voorwerp een beeld. De lichtstralen vertrekken vanuit het voorwerp en komen na breking samen in het beeld (figuur 54). 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. 54
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.

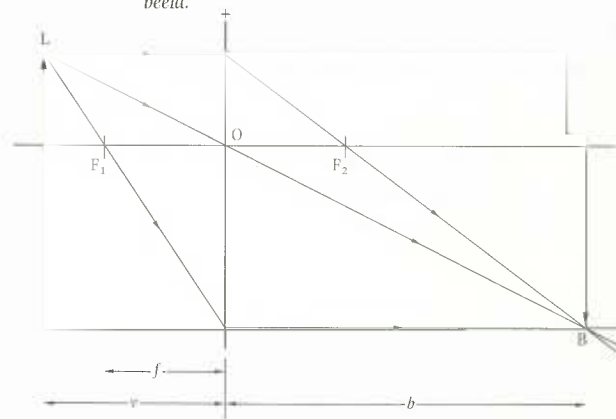
Een lens vormt van een voorwerp een beeld. Alle lichtstralen die vanuit één punt van het voorwerp vertrekken, komen na breking in één punt van het beeld samen. De plaats van het beeld hangt af van de plaats van het voorwerp én de brandpuntsafstand van de gebruikte lens. In dit blok hebben we onderzocht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

- 1 Lichtstralen die evenwijdig aan de hoofdas op de lens vallen, gaan na breking door één 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 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 55).

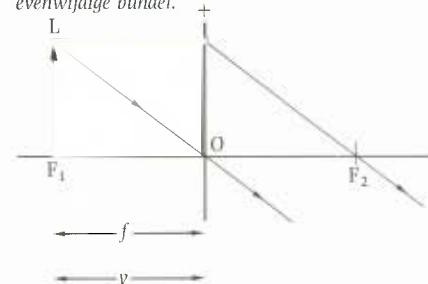
fig. 55
Als de voorwerpsafstand groter is dan de brandpuntsafstand, ontstaat er een reëel beeld.



Er ontstaat een *reëel* beeld dat je af kunt beelden op een scherm.

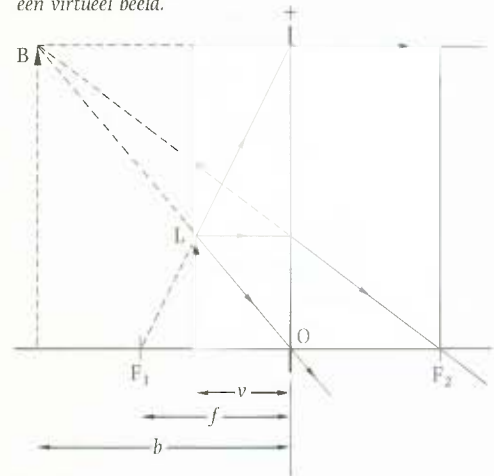
- De voorwerpsafstand is gelijk aan de brandpuntsafstand ($v = f$). De lichtstralen die uit de lens komen lopen dan evenwijdig (figuur 56). Er is dus géén beeld.

fig. 56
Als de voorwerpsafstand gelijk is aan de brandpuntsafstand dan ontstaat er géén beeld. Uit de lens komt een evenwijdige bundel.



- De voorwerpsafstand is kleiner dan de brandpuntsafstand ($v < f$). De lichtstralen lopen na breking uit elkaar (figuur 57). Achter de lens is geen beeld te vinden. We kunnen de gebroken lichtstralen wel verlengen tot 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 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 58).

a Neem de tekening over en teken de gebroken lichtstraal.

Een lichtstraal vanuit L gaat door het optisch middelpunt van een lens (figuur 59).

b Neem de tekening over en teken de gebroken lichtstraal.

Een lichtstraal vanuit L gaat door het brandpunt en valt op de lens (figuur 60).

c Neem de tekening over en teken de gebroken lichtstraal.

fig. 58

Een lichtstraal evenwijdig aan de hoofdas.

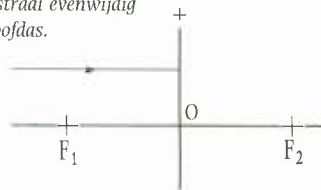


fig. 59

Een lichtstraal door het optisch middelpunt.

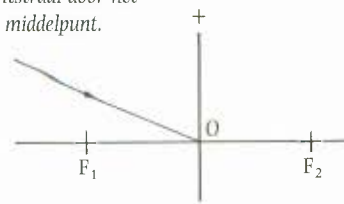
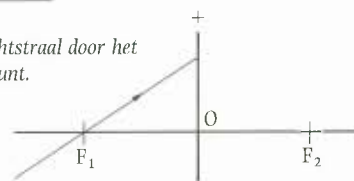


fig. 60

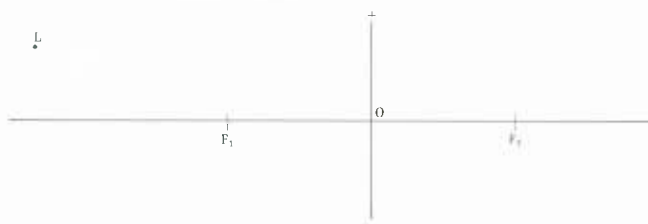
Een lichtstraal door het brandpunt.



Je kunt de plaats van het beeld van een voorwerp construeren door de drie bijzondere lichtstralen te combineren (figuur 61).

fig. 61

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

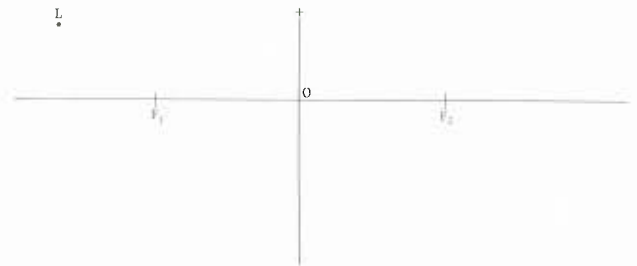


2 Neem de tekening van figuur 61 over en bepaal de plaats van het beeld van L.

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 62).

fig. 62

Het verloop van twee willekeurige lichtstralen.



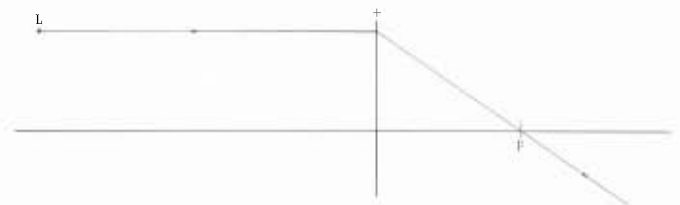
3a Neem de tekening van figuur 62 over en bepaal met behulp van drie bijzondere lichtstralen de plaats van het beeld van L.

b Teken het verloop van de twee willekeurige lichtstralen vanuit L.

4 Vanuit L valt een lichtbundel op een bolle lens. Eén lichtstraal is getekend (figuur 63).

fig. 63

Een lichtstraal wordt gebroken door een lens.



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.

d Welke vorm heeft de bundel die uit de lens komt?

5 We schuiven L naar de lens toe totdat $v=f$ (figuur 64). Neem de tekening over.

- a Teken vanuit L twee bijzondere lichtstralen en laat in de tekening zien hoe deze door de lens gebroken worden.
- b Teken vanuit L nog twee willekeurige lichtstralen en laat zien hoe deze door de lens gebroken worden.
- c Welke vorm heeft de lichtbundel die uit de lens komt?

6 We schuiven L nog verder naar de lens toe (figuur 65).

Neem de tekening over.

- a Teken vanuit L drie bijzondere lichtstralen en laat zien hoe deze 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 de tekening de plaats van het beeld van L.
- e Meet de voorwerpsafstand en de beeldafstand en noteer deze.

7 Als je de opdrachten 4, 5 en 6 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 66 over en vul deze in.

fig. 66

lens ($f = \dots$ cm)	v (in cm)	b (in cm)	soort bundel	soort beeld
opdracht 4
opdracht 5
opdracht 6

8 De lens van een fotocamera beeldt een kaars scherp af op de film (figuur 67).

- a Meet in de tekening de voorwerpsafstand, de beeldafstand en de grootte van de kaars en noteer deze.
- 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 door de lens gebroken worden.
- e Bepaal de brandpuntsafstand van de cameralens.

fig. 64
Stralengang als het voorwerp in het brandpunt staat

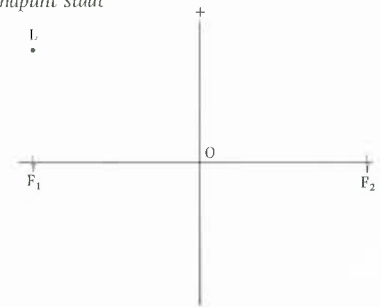


fig. 65
Stralengang als de voorwerpsafstand kleiner is dan de brandpuntsafstand.

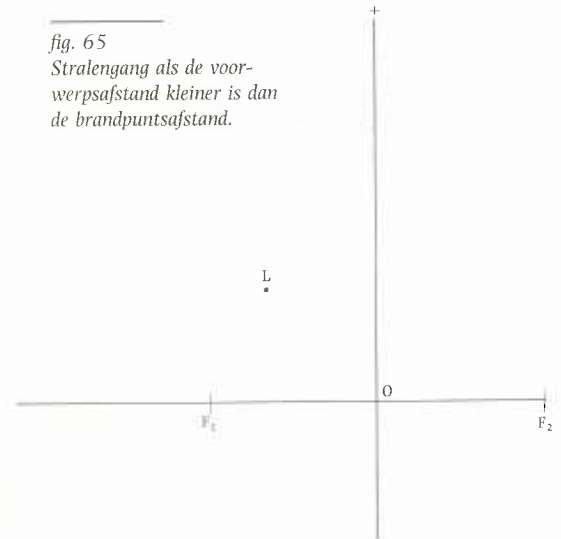
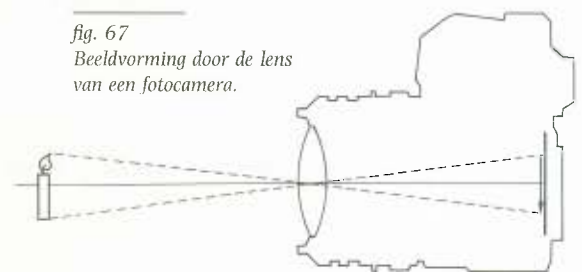


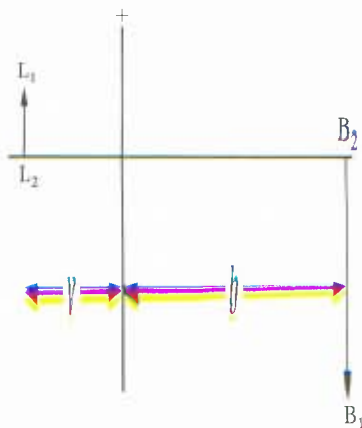
fig. 67
Beeldvorming door de lens van een fotocamera.



Een lens vormt van een voorwerp een beeld. De grootte van het beeld is meestal niet gelijk aan de grootte van het voorwerp. 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.

Een lens vormt van een voorwerp L_1L_2 een beeld B_1B_2 (figuur 68). Je ziet dat het beeld groter is dan het voorwerp. Voor de vergroting N gebruiken we de volgende definitie:

fig. 68
De beeldvorming door een lens: er ontstaat een vergroot beeld.



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

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

$$N = \frac{1,6}{0,7} = 2,3$$

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 strepen geven aan dat je de positieve waarde van de breuk moet nemen. Dat noemen we de absolute waarde van de breuk. Dit doen we omdat we de vergroting altijd als een positief getal willen noteren.

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

$$N = \frac{3,0}{1,3} = 2,3$$

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.

- Bereken de vergroting.
- Bereken de grootte van het beeld.

2 We schuiven het voorwerp van de lens af.

- Wat gebeurt er met de voorwerpsafstand?
- Wat gebeurt er met de beeldafstand?
- 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 We schuiven 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.

- Bereken de vergroting.
- Bereken de beeldafstand.

5 Een voorwerp staat 5,0 cm voor een bolle lens. Er ontstaat een virtueel beeld op 30 cm van de lens.

- Wat is de beeldafstand?
- Bereken de vergroting.

6 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.

7 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.

- Maak een schematische tekening van de lens en het voorwerp.
- Bepaal met drie bijzondere lichtstralen het beeld B_1B_2 van L_1L_2 .
- Meet de beeldafstand en de beeldgrootte en noteer ze.
- Bereken de vergroting uit de grootte van voorwerp en beeld.
- Bereken de vergroting met behulp van de voorwerpsafstand en de beeldafstand.

8 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.

- Bepaal door constructie de plaats van het beeld B_1B_2 .
- Meet de beeldafstand en de grootte van het beeld.
- Bereken op twee manieren de vergroting.

9 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.

10 Met een fotocamera maken we 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.

Blok 11

H4

De lenzenformule

Een lens vormt van een voorwerp een beeld. 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 69) 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.

Neem de tekening over.

b Bepaal met behulp van de bijzondere lichtstralen de plaats van beide brandpunten.

c Meet de brandpuntsafstand en noteer deze.

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.

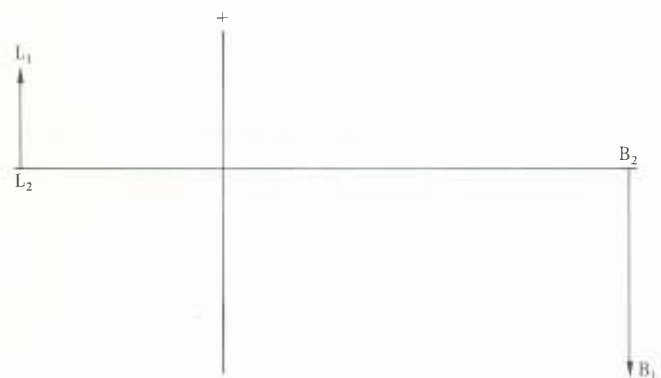
2 Een lens met een brandpuntsafstand van 3,0 cm vormt een beeld van een voorwerp dat 5,0 cm voor de lens staat. Het voorwerp L_1L_2 is 1,5 cm lang.

a Maak een schematische tekening van de lens en het voorwerp.

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

fig. 69

Een lens vormt een beeld van een voorwerp.



c Meet de beeldafstand en noteer deze.

d Bereken de beeldafstand met de lenzenformule. Ook nu moet je voor de berekende waarde hetzelfde vinden als de gemeten waarde.

Rekenen met de lenzenformule

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

a 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.

Gegeven: $v = 15$ cm en $b = 20$ cm

Gevraagd: f

Oplossing:

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

$$\text{dus: } \frac{1}{f} = \frac{1}{15} + \frac{1}{20}$$

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

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

Voor het gebruik van de rekenmachine: zie figuur 70.

fig. 70

Gebruik rekenmachine.

Rekenmachine:

$$15 \quad \left[\frac{1}{x} \right] \quad + \quad \left[\frac{1}{x} \right] \quad =$$

Het tussenresultaat is $\frac{1}{f}$.

Dus toets je $\left[\frac{1}{x} \right]$ in en dan krijg je f

b Een lens vormt van een voorwerp op 5 cm van de lens een virtueel beeld op 25 cm van de lens. Bereken de brandpuntsafstand.

Gegeven: $v = 5$ cm en $b = -25$ cm

Gevraagd: f

Oplossing:

$$\frac{1}{f} = \frac{1}{5} + \frac{1}{-25}$$

$$\frac{1}{f} = 0,2 - 0,04 = 0,16$$

$$f = \frac{1}{0,16} = 6,25 \text{ cm}$$

Je ziet dat $v < f$. Dat klopt met het virtuele beeld.

3 Bereken de brandpuntsafstand als $v = 10$ cm en $b = 10$ cm.

4 Bereken de beeldafstand als $f = 10$ cm en $v = 20$ cm.

5 Bereken de beeldafstand als $f = 15$ cm en $v = 10$ cm.

6 Bereken de voorwerpsafstand als een lens met een brandpuntsafstand van 12 cm een virtueel beeld vormt op 6 cm van de lens.

7 Je wilt met een diaprojector een scherpe afbeelding van een dia projecteren. Het scherm staat 2,0 m van de lens. De brandpuntsafstand van de lens is 10 cm. Bereken de afstand tussen de dia en de lens.

8 Een natuurfotograaf wil een bloem fotograferen. De bloem staat 40 cm voor de camera. De cameralens heeft een brandpuntsafstand van 5,0 cm. Bereken de afstand tussen de lens en de film bij een scherp beeld.

9 Een loep heeft een brandpuntsafstand van 2,0 cm. De loep vormt van de letters van dit boek virtuele beelden op 6,0 cm van de lens.

a Bereken de afstand tussen de letters en de loep.

b Bereken de vergroting.

10 Je wilt een dia 25 keer vergroten. Dat lukt als je het scherm 5,0 m van de lens van de diaprojector zet.

a Bereken de afstand tussen de dia en de lens.

b Bereken de brandpuntsafstand van de projectorlens.

In de basisstof van dit blok heb je gezien hoe de beeldvorming plaatsvindt bij het oog. Hierbij speelt de ooglenzen een belangrijke rol. De ooglenzen moet steeds voor een scherp beeld op het netvlies zorgen. De beeldafstand bij het oog ligt vast. Maar we willen toch voorwerpen op verschillende afstanden scherp zien. Daarom moet de ooglenzen zich aanpassen. De ooglenzen kan boller en minder bol worden waardoor de brandpuntsafstand verandert. We noemen dit accommoderen. Als het oog ongeaccommodeerd is, komen evenwijdige lichtstralen in één punt op het netvlies samen. De ooglenzen is dan zo weinig mogelijk bol; de brandpuntsafstand is het grootst (figuur 71).

Als het voorwerp dichterbij komt, moet de ooglenzen de lichtstralen meer afbuigen om een scherp beeld op het netvlies te ontwerpen (de voorwerpsafstand wordt kleiner; de beeldafstand zou groter worden als de lens niet verandert). De ooglenzen wordt dan boller; de brandpuntsafstand wordt hierdoor kleiner. Het oog is geaccommodeerd (figuur 72).

De ooglenzen kan niet onbeperkt boller worden. Als de ooglenzen het meest bol is, dan is het oog maximaal geaccommodeerd. De brandpuntsafstand is dan het kleinst. De kleinste afstand waarop we een voorwerp gedurende langere tijd nog scherp kunnen zien, heet de nabijheidsafstand. Het nabijheidspunt is een punt op de nabijheidsafstand van het oog (figuur 73).

fig. 71

Beeldvorming bij een ongeaccommodeerd oog.

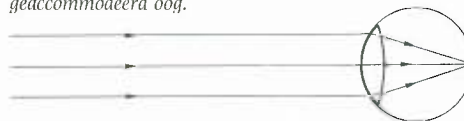


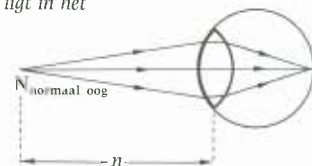
fig. 72

Beeldvorming bij een geaccommodeerd oog.



fig. 73

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



De nabijheidsafstand is bij jonge mensen ongeveer 15 cm. Bij het ouder worden verliest de ooglenzen zijn flexibiliteit waardoor de nabijheidsafstand toeneemt. (De ooglenzen kan niet meer zo bol worden als vroeger.) Het is wel mogelijk om een voorwerp dat zich binnen de nabijheidsafstand bevindt gedurende korte tijd (ongeveer 10 sec) scherp te zien. Maar dit is zeer vermoeiend omdat het oog te sterk moet accommoderen.

Oogafwijkingen

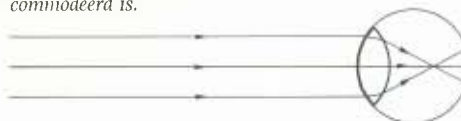
Door afwijkingen aan één of beide ogen kunnen mensen problemen hebben met goed zien. In veel gevallen kan dit verholpen worden door het toepassen van extra lenzen in de vorm van een bril of contactlenzen. De belangrijkste oogafwijkingen en de bijbehorende brillen worden hierna besproken.

Bijziendheid

Bij bijziendheid convergeert de ooglenzen in ongeaccommodeerde toestand zó sterk, dat de evenwijdige lichtstralen vóór het netvlies in één punt samenkomen (figuur 74). Iemand die bijziend is, kan voorwerpen op grote afstand niet scherp zien. Een bijziende kan zonder bril alleen dichtbij scherp zien.

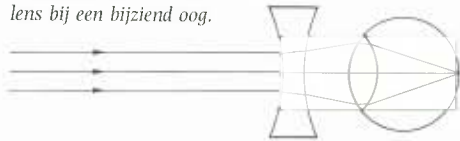
fig. 74

Beeldvorming bij een bijziend oog dat ongeaccommodeerd is.



Een holle lens met een negatieve brandpuntsafstand kan ervoor zorgen dat de lichtstralen op het netvlies samenkomen (figuur 75). De negatieve lens heeft een divergerende werking, zodat de lichtstralen minder snel bij elkaar komen.

fig. 75
Toepassing van een holle lens bij een bijziend oog.



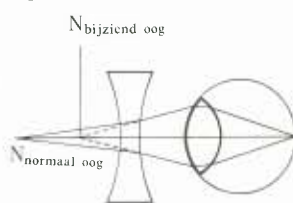
Omdat de ooglens zo bol is, is de nabijheidsafstand bij een bijziend oog veel kleiner. Een bijziend iemand kan dus voorwerpen zeer dichtbij nog scherp zien (figuur 76).

fig. 76
Het nabijheidspunt bij een bijziend oog.



De negatieve lens maakt van de kleine nabijheidsafstand weer een normale nabijheidsafstand (figuur 77).

fig. 77
Het nabijheidspunt met een negatieve lens.



Verziendheid

Als de ooglens in ongeaccommodeerde toestand te zwak convergeert, komen de evenwijdige lichtstralen *achter* het netvlies in één punt samen. Deze oogafwijking noemen we verziendheid (figuur 78).

fig. 78
Beeldvorming bij een verziend oog dat ongeaccommodeerd is.

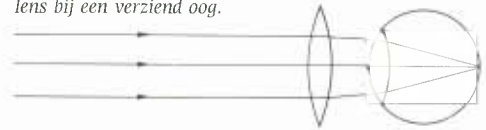


De ooglens moet daarom al accommoderen om een voorwerp ver weg scherp te zien. Op den duur is dit

vermoeiend en leidt het tot hoofdpijn. Iemand die verziend is, kan voorwerpen op grote afstand dus wél scherp zien.

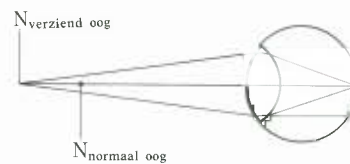
Met een positieve lens kunnen we ervoor zorgen dat de lichtstralen op het netvlies samenkomen zonder dat het oog moet accommoderen (figuur 79).

fig. 79
Toepassing van een positieve lens bij een verziend oog.



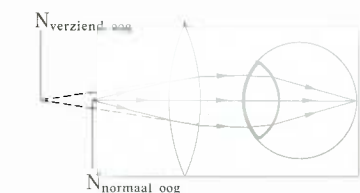
Komt het voorwerp dichterbij, dan moet het oog steeds sterker accommoderen om een scherp beeld te krijgen. Het oog is daardoor al vrij snel maximaal geaccommodeerd. Het nabijheidspunt ligt dus ver van het oog. Vandaar de naam verziendheid. Iemand die verziend is, kan alleen ver weg scherp zien en ziet dichtbij gelegen voorwerpen onscherp (figuur 80).

fig. 80
Het nabijheidspunt bij een verziend oog.



De positieve lens maakt van de grote nabijheidsafstand een normale nabijheidsafstand (figuur 81).

fig. 81
Het nabijheidspunt met een positieve lens.



Oudziendheid

Deze oogafwijking komt voor bij oudere mensen. Oude mensen hebben vaak moeite met lezen op korte afstand. Ze lezen de krant met gestrekte armen. Dat komt omdat hun ogen niet meer zo sterk kunnen accommoderen als vroeger. Omdat de ooglens minder flexibel is 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.

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:

$$S = \frac{1}{f} \text{ (met } f \text{ in m).}$$

De eenheid van sterkte is 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 de bril 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 de bril verder van de tafel houdt? Licht je antwoord toe met een tekening.

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

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.

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

f Bereken de sterkte van beide brilleglazen.

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

h 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 Leesbrillen voor oudere mensen bestaan uit halve glazen. Waarom is dat zo?

Blok 11

E2 Meer over de fotocamera

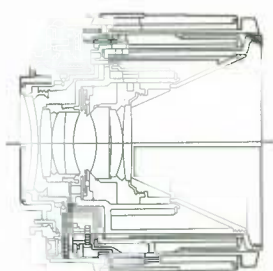
In de basisstof van dit blok ben je veel te weten gekomen over de werking van een fotocamera. We hebben gezien hoe de lens een beeld vormt op de film; waarom we scherp moeten stellen en wat de functie is van het diafragma. In deze extrastof bekijken we de cameralens nauwkeuriger. We gaan verder in op de rol van het diafragma in samenhang met het begrip scherptediepte. Tenslotte bespreken we de keuze van de belichtingstijd en hoe dit samenhangt 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. Daarom bestaat de cameralens niet uit één lens, maar is deze opgebouwd uit wel drie en soms zelfs meer dan zeven lenzen (figuur 82). De lenzen zijn gemaakt van verschillende glassoorten en zorgvuldig geslepen. Samen zorgen ze voor het gewenste resultaat.

fig. 82
Een objectief van een camera dat is opgebouwd uit verschillende lenzen.



De kwaliteit van een cameraobjectief 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 .

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

Hoe groter de openingsverhouding des te meer licht laat het objectief door. De openingsverhouding staat meestal vermeld op de rand van het objectief:

CANON LENS FD 50 mm 1:1,8 (figuur 83).

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 we zien.

Daarnaast worden er objectieven toegepast met een kleinere of grotere brandpuntsafstand.

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 of 205 mm) noemt men *telelenzen*. Met een telelens kun je een voorwerp dat ver weg staat 'dichtbij' halen (figuur 84).

fig. 83
Een lens met een openingsverhouding 1:1,8 en een brandpuntsafstand van 50 mm.



fig. 84
Foto's gemaakt met a een groothoeklens, b een standaardlens, c een telelens.



Een bijzonder objectief is de *zoomlens*. Spreek uit: 'zoem' (figuur 85).

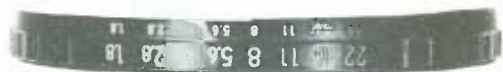
Dit objectief is zo gebouwd dat je de brandpuntsafstand kunt veranderen. Er zijn zoomlenzen waarvan de brandpuntsafstand instelbaar is tussen 28 en 75 mm (groothoekzoom) en zoomlenzen met een brandpuntsafstand tussen 75 en 205 mm (telezoom).

Spiegelreflexcamera's zijn zo gemaakt dat het objectief verwisseld kan worden.

Diafragma

Met het diafragma is de hoeveelheid licht te regelen. Bij een kleine diafragmaopening valt er weinig licht op de film, bij een grote diafragmaopening veel. Op de diafragmaring geven de diafragmagetallen aan welk diafragma gebruikt wordt (figuur 86).

fig. 86
De diafragma nummers op een diafragmaring.



Het diafragmagetal is gelijk aan $\frac{f}{d}$

(f = brandpuntsafstand, d = diameter diafragmaopening). Bij het kleinste diafragmagetal hoort dus de grootste diafragmaopening.

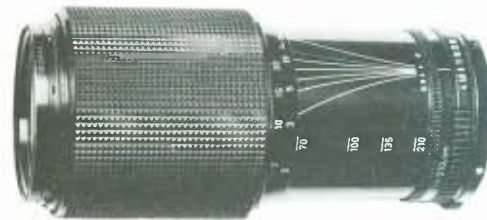
Door het diafragma één stap kleiner te maken (= het eerstvolgende grotere diafragmagetal kiezen), neemt de hoeveelheid licht op de film af met de helft.

Bij de camera obscura hebben we gezien dat een kleinere diafragmaopening een scherper beeld oplevert: de vlekjes worden dan kleiner. Door het toepassen van een lens kunnen we voor een scherp beeld zorgen als we maar scherp stellen. Toch heeft de diafragmaopening invloed op de scherpte van de foto, ook mét lens. Bij het maken van een foto wordt niet alleen het voorwerp afgebeeld maar ook de omgeving. De lichtstralen van een voorwerp dat dichtbij ligt (L_1), komen samen achter de film. Een voorwerp dat verder weg staat (L_2) wordt afgebeeld vóór de film (figuur 87).

Deze voorwerpen staan dus niet scherp op de foto maar bestaan uit vlekjes.

Als de vlekjes maar klein genoeg zijn, dan ziet ons oog de vlekjes als punten. De afstand tussen de voorwerpen

fig. 85
Een zoomlens.



L_1 en L_2 die ons oog nog als punten ziet afgebeeld noemen we de *scherptediepte*.

Als we de diafragmaopening kleiner maken, wordt de bundel die uit de lens komt smaller (figuur 87). 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 diafragmaopening.

Op de afstandinstelring staat de scherptediepte voor verschillende diafragma nummers aangegeven (figuur 88).

fig. 87
De invloed van de diafragmaopening op de scherpte van de foto.

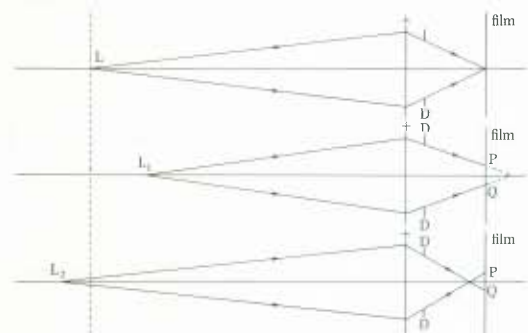


fig. 88
Het scherptedieptegebied wordt voor verschillende diafragma nummers aangegeven op de afstandinstelring.



Belichtingstijd

Op de film in de fotocamera moet precies de juiste hoeveelheid licht vallen. Valt er te veel licht op de film, dan wordt deze overbelicht. Bij te weinig licht is de film onderbelicht. De hoeveelheid licht die op de film valt, wordt geregeld met het diafragma én 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 (als de omstandigheden hetzelfde blijven).

In de camera zorgt een scherm achter het objectief ervoor dat er geen licht op de film komt als er geen foto wordt gemaakt. Dit scherm wordt *sluiter* genoemd. Als we bij het maken van de foto op de knop (de ontspanner) drukken, wordt het scherm achter de lens weggetrokken. Het licht van het voorwerp komt dan op de film terecht. De belichtingstijd bepaalt hoe snel het scherm wordt weggetrokken en dus ook hoe lang er licht op de film valt. 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 het zelfde stukje film niet twee keer kunt belichten.

Bij eenvoudige camera's kun je voor de belichtingstijd waarden kiezen tussen $\frac{1}{15}$ en $\frac{1}{250}$ seconde. Bij deze camera's is het scherm 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 $\frac{1}{2000}$ seconde! (figuur 89).

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 $\frac{1}{125}$ naar $\frac{1}{60}$ s). Er valt dan evenveel licht op de film.

fig. 89

De belichtingstijden bij een spiegelreflexcamera.



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 er op letten dat dit in de camera past. Behalve kleur en zwartwit kun je ook de lichtgevoeligheid van de film kiezen. Hoe groter de lichtgevoeligheid des te minder licht is er nodig voor een goede foto. De lichtgevoeligheid wordt uitgedrukt in eenheden DIN of ASA.

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 (figuur 90).

Helaas gaat de lichtgevoeligheid ten koste van de kwaliteit van de foto's. Om een grote lichtgevoeligheid te bereiken, is fotografisch materiaal nodig met een grote

fig. 90

Het instellen van de gevoeligheid van de film.



korrel. De foto's worden daardoor vaak onscherp. Goed; de film hebben we, nu de foto. Een goede foto maken is niet zo eenvoudig. De instelling van de camera hangt af van veel factoren:

- *Hoe zijn de weersomstandigheden?*

Bij zonnig weer zijn er geen problemen. We kunnen de diafragmaopening dan kiezen tussen groot en klein. De hoeveelheid licht regelen we met de belichtingstijd. Bij somber weer moeten we een grote diafragmaopening kiezen en zijn we beperkt in de keuze van de belichtingstijd.

- *Wat willen we fotograferen?*

Voor foto's van snel bewegende voorwerpen, zoals sportfoto's, is een korte belichtingstijd nodig (kleiner dan $\frac{1}{500}$ s). Anders wordt de foto onscherp omdat het

voorwerp tijdens het openen van de sluitser beweegt.

Voor foto's van stilstaande voorwerpen kunnen we langere belichtingstijden kiezen. Maar ook niet te lang omdat we anders zelf bewegen. Het is een hele klus om een camera $\frac{1}{30}$ s stil te houden. Voor lange belichtingstijden heb je een statief nodig.

Uiteraard moet je tenslotte niet vergeten scherp te stellen en dat is bij snel bewegende voorwerpen ook nog 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 diafragmaopening zo klein mogelijk moet kiezen. Maar dan moet de belichtingstijd langer worden om toch voldoende licht op de film te krijgen.

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 sluitser; er zijn ook camera's die zelf na iedere foto zorgen voor het filmtransport.

1 Op de rand van een lens staat:

SMC PENTAX-M 1:1,4 50 mm.

- Wat is de brandpuntsafstand van deze lens?
- Wat is de openingsverhouding van deze lens?
- Bereken de diameter van de lensopening als het diafragma helemaal open staat.
- Bereken de oppervlakte van de lensopening.
- Wat is het kleinste diafragma nummer op de diafragaring?

Als we het diafragma een stap dichtdraaien, is het diafragma nummer 2,0.

f Bereken de diameter van de lensopening bij diafragma nummer 2,0.

g Bereken de oppervlakte van de lensopening bij diafragma nummer 2,0.

h Wat valt je op als je beide oppervlakten met elkaar vergelijkt?

2 Bij een automatische camera wordt de belichtingstijd twee keer zo groot als we het diafragma een stap kleiner maken. Leg dit uit.

fig. 91

Een cameraobjectief SMC
PENTAX-M 1:1,4 50 mm.



3 Een camera staat scherp gesteld op oneindig (figuur 91). Het diafragma staat op 8.

a Bepaal met behulp van figuur 91 het scherptedieptegebied bij diafragma getal 8.

Uit de figuur blijkt dat de scherptediepte bij diafragma getal 4 kleiner is dan bij 8.

b Leg dit uit met behulp van een tekening.

4 We maken met een standaardobjectief van 50 mm een scherpe foto van een kerktoeren op 150 m van de lens. De kerktoeren is 40 m hoog.

- Bereken de beeldafstand.
- Leg uit waarom de beeldafstand (bijna) gelijk is aan de brandpuntsafstand.
- Bereken de grootte van de kerktoeren op het negatief. We maken van dezelfde kerktoeren een foto met een teleobjectief met een brandpuntsafstand van 200 mm.
- Bereken de grootte van de kerktoeren op het negatief.
- Wat valt je op als je beide beeldgroottes vergelijkt en beide brandpuntsafstanden?
- Hoe groot wordt de kerktoeren op het negatief als we een groothoekobjectief gebruiken 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.

Blok 11

E3

Extra opgaven

1 Een bundel evenwijdige lichtstralen valt op een lens met een brandpuntsafstand van 5,0 cm.

- Teken de stralengang als het een *bolle* lens is.
- Teken de stralengang als het een *holle* lens is.
- Hoe heet de bundel die de bolle lens vormt?
- Hoe heet de bundel die de holle lens vormt?

2 Met een bolle lens met een brandpuntsafstand van 10 cm beelden we een kaars scherp af op een scherm. De kaars staat 15 cm voor de lens. De kaars is 5,0 cm hoog.

- Bepaal met behulp van bijzondere lichtstralen de plaats van het scherm. Maak een tekening op schaal. Stel de kaars voor door een pijl van 1,0 cm op de hoofdas.
- Bepaal met behulp van de tekening de grootte van het beeld.
- Bereken met behulp van de lenzenformule de beeldafstand.
- Bereken met behulp van de vergroting de grootte van het beeld.
We willen van de kaars een beeld vormen dat 5,0 cm groot is.
- Hoe moeten we dan de kaars en het scherm verschuiven?
- 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.

- Bepaal met behulp van bijzondere lichtstralen de plaats van het beeld. Stel het voorwerp voor door een pijl van 1,0 cm op de hoofdas.
- Hoe noem je het beeld dat door de lens gevormd wordt?
- Bepaal met behulp van de tekening de vergroting.
- Bereken met behulp van de lenzenformule de beeldafstand.

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.

- Bereken de vergroting.
- Bereken de afstand tussen de dia en de lens.
- 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.

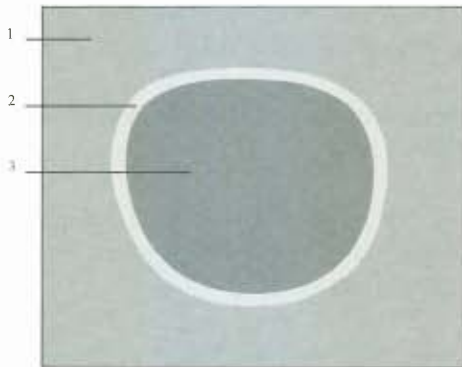
- Hoe noem je het beeld dat bij een loep ontstaat? De letters in de krant zijn 2,0 mm hoog. De loep heeft een brandpuntsafstand van 10 cm. De loep wordt 6,0 cm boven de krant gehouden.

- b Bereken de beeldafstand.
- c Bereken de hoogte van de gevormde letters.

6 Met een fotocamera maken we een foto van een auto. De cameralens 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 we de diafragmaopening kleiner maken?
- d Op welke manier kunnen we bij een kleinere diafragmaopening toch voor een goede foto zorgen? Een kleinbeeldnegatief is 24 bij 36 mm.
- e Bereken hoe ver je van de auto moet gaan staan opdat de hele breedte van het negatief benut wordt.

fig. 92
De schaduwvorming bij een negatieve lens in een evenwijdige bundel: 1 gewoon licht; 2 lichter; 3 iets donkerder.



7 Een bundel evenwijdige lichtstralen valt op een negatieve lens. 10 cm achter de lens staat een scherm. De schaduw op het scherm is getekend in figuur 92.

- a Leg uit hoe deze schaduwvorm ontstaat.
- b Maak een tekening van de stralengang.
- c Bereken met behulp van figuur 92 de brandpuntsafstand.

Als we een positieve lens gebruiken in plaats van een negatieve lens, ontstaat de schaduw van figuur 93.

- d Leg uit hoe de schaduwvorm ontstaat.
- e Maak een tekening van de stralengang.
- f Bereken met behulp van figuur 93 de brandpuntsafstand.

fig. 93
De schaduwvorm bij een positieve lens in een evenwijdige bundel: 1 gewoon licht; 2 donker; 3 fel licht.

