

Geometrisk optik

Syfte och mål

Laborationens syfte är att du ska lära dig att:

- Förstå allmänna principen för geometrisk optik, (tunna linsformeln)
- Rita strålgångar
- Ställa upp enkla optiska komponenter
- Skillnad mellan reell och virtuell bild
- Konstruera enkla optiska instrument
- Grundläggande förståelse av aberrationer

Innehåll

Moment 1. Speglar (reflektioner, strålgångar)

Moment 2. Linser (tunna linsformeln, strålgångar, experimentuppställning)

Moment 3. Optiska instrument (förstoringsglas, teleskop, teaterkikare, mikroskop)

Moment 4. Aberrationer (sfärisk, kromatisk och astigmatism)

Utrustning

- Speglar
- Linser ($f=+5, +10, +15, +25, -5$)
- Objekt (A skrivet med dioder)
- Vit skärm
- Ställbar apertur
- Ljusfilter
- Hållare med ett A och B skrivet på OH-blad
- Linjal

Laboration består av både teoretiska moment berörande lätta beräkningar med t.ex. tunna linsformen samt bildkonstruktioner, och en experimentell del där verifiering av beräkningar görs. För att få en så effektiv och lärorik laboration som möjligt så **kräver vi** att du gör samtliga beräkningar och bildkonstruktioner för **moment ett, två och tre** innan du kommer in i labbet. **Läs även igenom RESTERANDE del av laborationshandledningen innan du kommer in i labbet.**

Moment 1. Speglar

Reflektion i en plan yta är det elementäraste inom geometrisk optik och kommer att behandlas mycket enkelt i denna laboration. Syftet med detta moment är att ni ska kunna rita strålgångar när man får multipla reflektioner genom att objektet speglas i två ytor.

I nedanstående figurer skall du rita in strålgångar för samtliga spegelbilder som uppstår. Placera ditt öga på valfritt ställe.



Experimentell del

Använd två plana speglar samt ett objekt (t.ex. en penna), placera pennan framför speglarna och undersök maximalt antal spegelbilder som uppkommer beroende på vilken vinkel som är mellan speglarna. Gör detta för vinklarna;

Vinkel	30°	60°	90°	150°
Antal bilder				

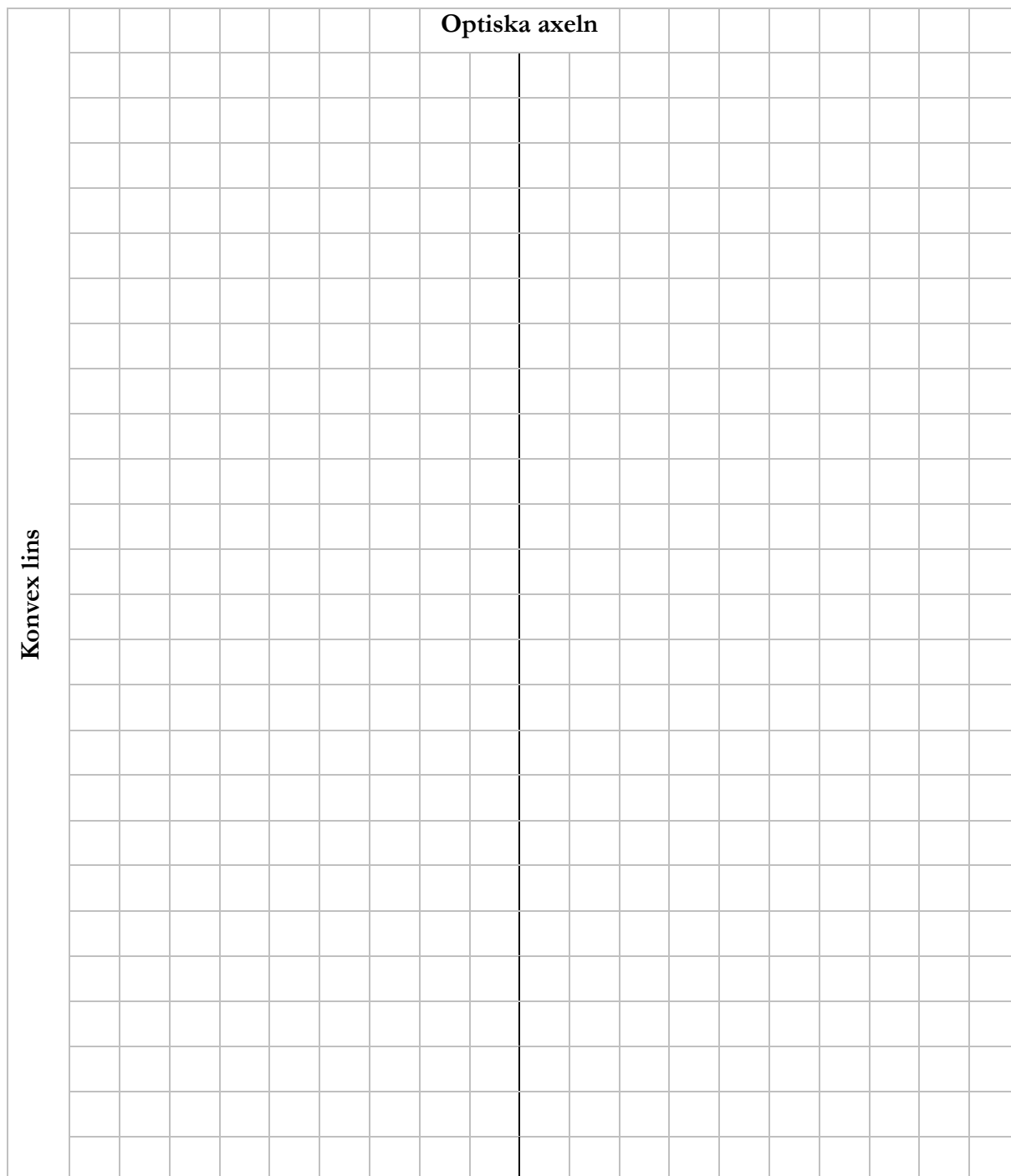
Extrauppgift: Ta fram en ekvation för antalet spegelbilder som funktion av vinkeln θ .

Moment 2. Linser

I denna laboration ska du undersöka hur ljus bryts i konvexa, konkava linser samt i linssystem. Beräkna med hjälp av tunna linsformeln avstånd och förstoringar samt rita bildkonstruktion. Ställ även upp givna komponenter på en räls och verifiera det du räknat ut teoretiskt.

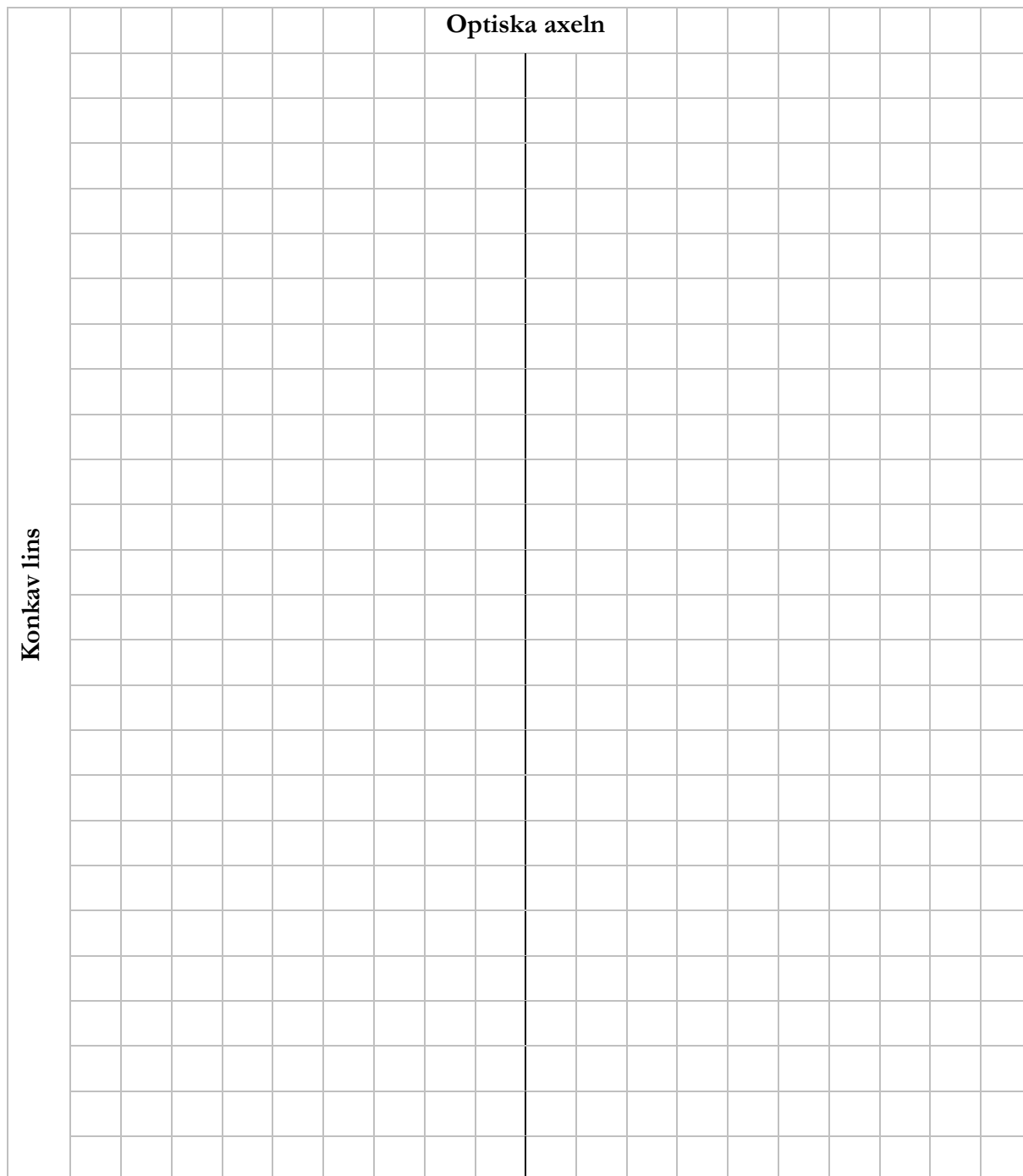
a) Konvex lins

Placera föremålet framför linsen ($f=+15\text{ cm}$) så att bilden blir dubbelt så stor ($m=-2$). *Rita strålgång* i rutan nedan.



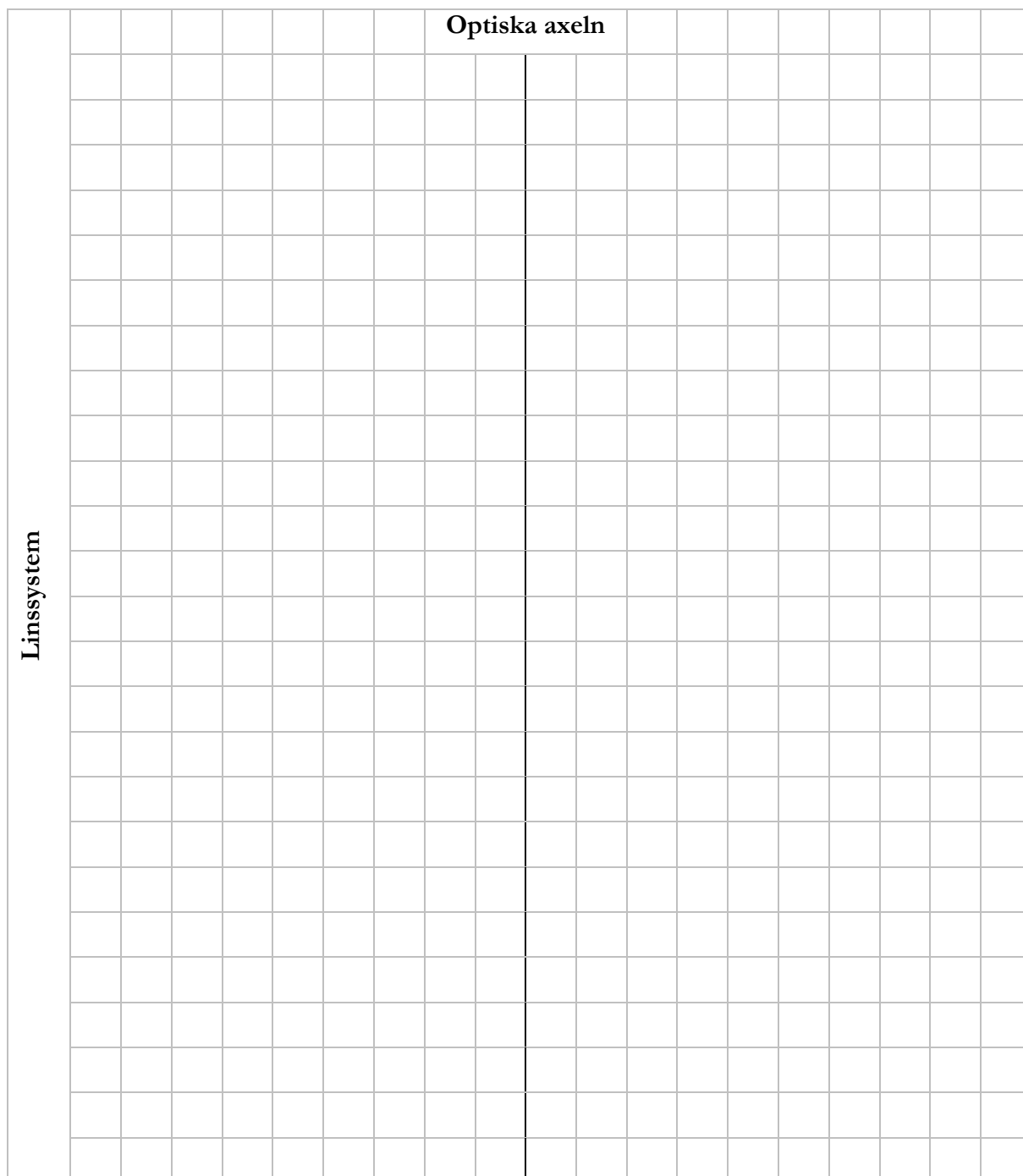
b) Konkav lins

Placera föremålet framför linsen ($f=-15\text{ cm}$) så att bilden har halva storleken ($m=0.5$). *Rita strålgång* i rutan nedan.



c) Linssystem

Placera föremålet **10 cm** framför en lins med ($f=+15$ **cm**). Sätt sedan en andra lins ($f=+10$ **cm**), **5 cm** efter den första linsen. På vilket avstånd hamnar bilden samt hur mycket större blir den? *Rita strålgång* i rutan nedan.



Moment 3. Optiska instrument

Genom att använda olika optiska instrument kan man förbättra den **synvinkel** som bildas mellan föremål och öga. Den minsta vinkel som ger en urskiljbar bild av två punkter kallas för **synskärpan** och är för ett normalt öga $5 \cdot 10^{-4}$ (radianer). Du kommer här att bygga och undersöka några enkla instrument som används för olika tillämpningar inom såväl astronomi och vardagslivet.

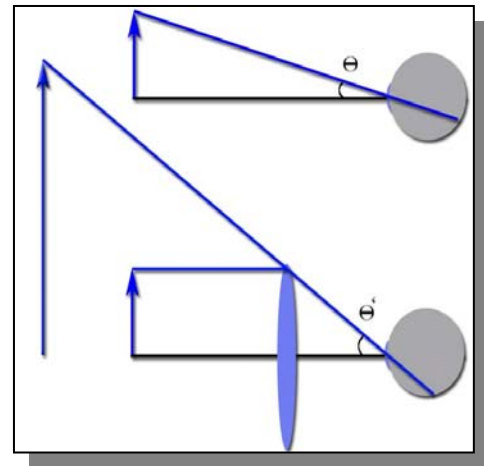
Det närmaste avståndet som ett objekt kan vara placerat i förhållande till det mänskliga ögat, och samtidigt ge en skarp bild är ca **25 cm**. Föremål som placeras inom detta avstånd kommer upplevas som suddigt.

Vinkelförstoringen, av ett objekt betecknas som M och är kvoten mellan vinklarna då ögat är beväpnat, θ' , och obeväpnat, θ ,

$$M = \frac{\theta'}{\theta}, \quad (1)$$

vilket gäller då man antar att

$$\frac{\tan \theta'}{\tan \theta} \approx \frac{\theta'}{\theta}$$



Figur 1 Ett obeväpnat och beväpnat öga.

a) Förstoringsglaset

Det enklaste instrumentet för att betrakta små saker är ett förstoringsglas, se *Figur 1*. Vinkelförstoringen ges av

$$M = \frac{25\text{cm}}{f}, \quad (2)$$

om bilden visas i oändligheten.

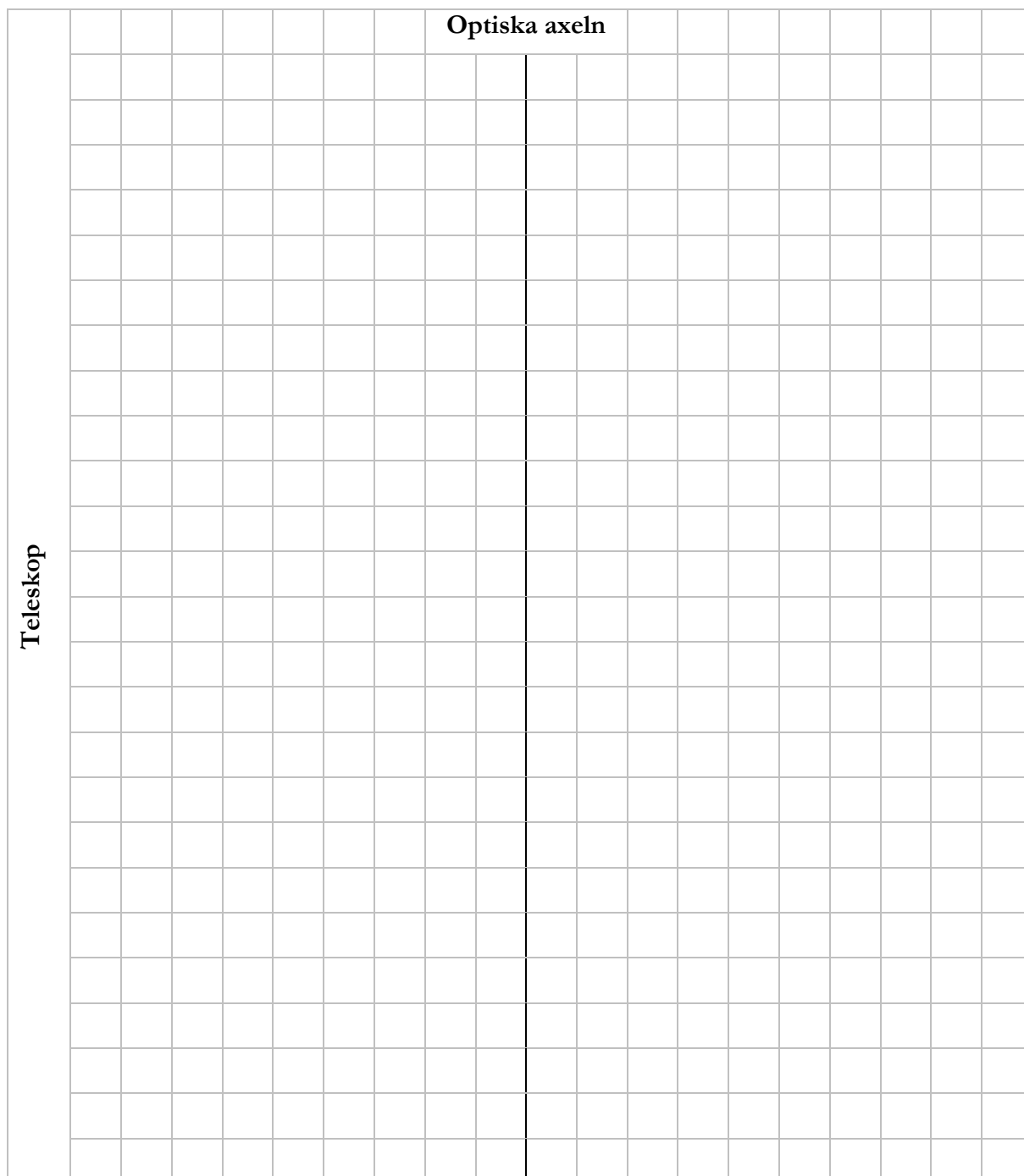
Din uppgift är att placera en lins med $f=+5$ mot ögat och titta på ett rutat papper genom att placera huvudet så nära papperet och fortfarande ha en skarp bild. Uppskatta sedan den förstoring som erhöles och jämför med den beräknade. Observera hur mycket närmare man kan se på papperet jämfört med utan lins.

b) Teleskop.

Ett teleskop består av två positiva linser och används för att se på avlägsna föremål, man kan då säga att ljuset kommer att infalla med parallella strålar. Vinkelförstoringen ges av

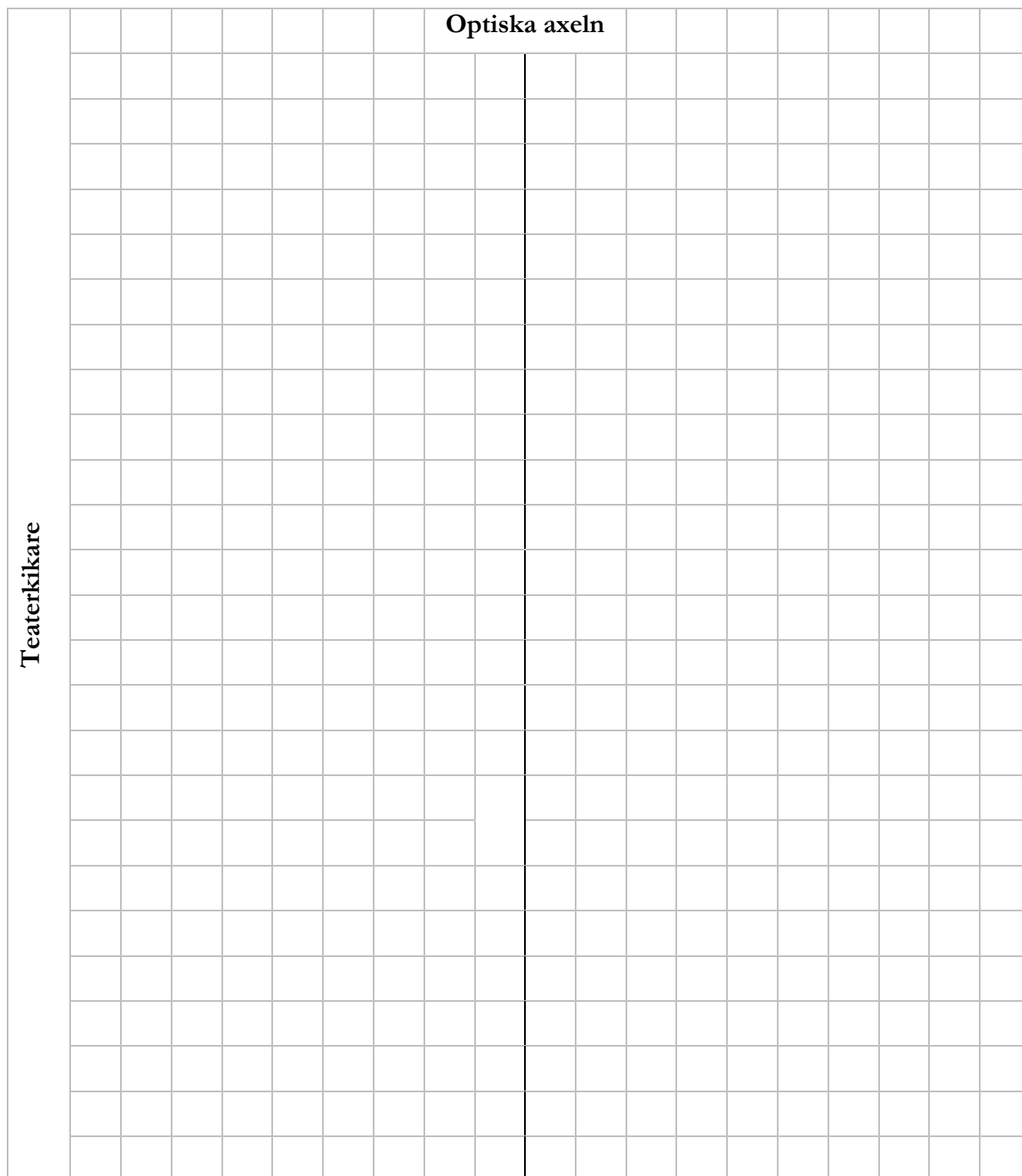
$$M = -\frac{f_{\text{objektiv}}}{f_{\text{okular}}}, \quad (3)$$

där okularet är den del som man tittar genom. Konstruera en kikare med valfria linser, titta på ett avlägset föremål och uppskatta förstoringen samt jämför med den beräknade. **Rita strålgång** i rutan nedan.



c) Teaterkikare.

Om man vill ha en rättvänd bild kan man använda sig av en så kallad teaterkikare. Den är uppbyggd av en positiv och negativ lins. Vinkelförstoringen ges av **ekvation 3**. Bygg en sådan kikare och titta på ett objekt, jämför den uppskattade förstoringen med den teoretiska. **Rita strålgång** i rutan nedan.



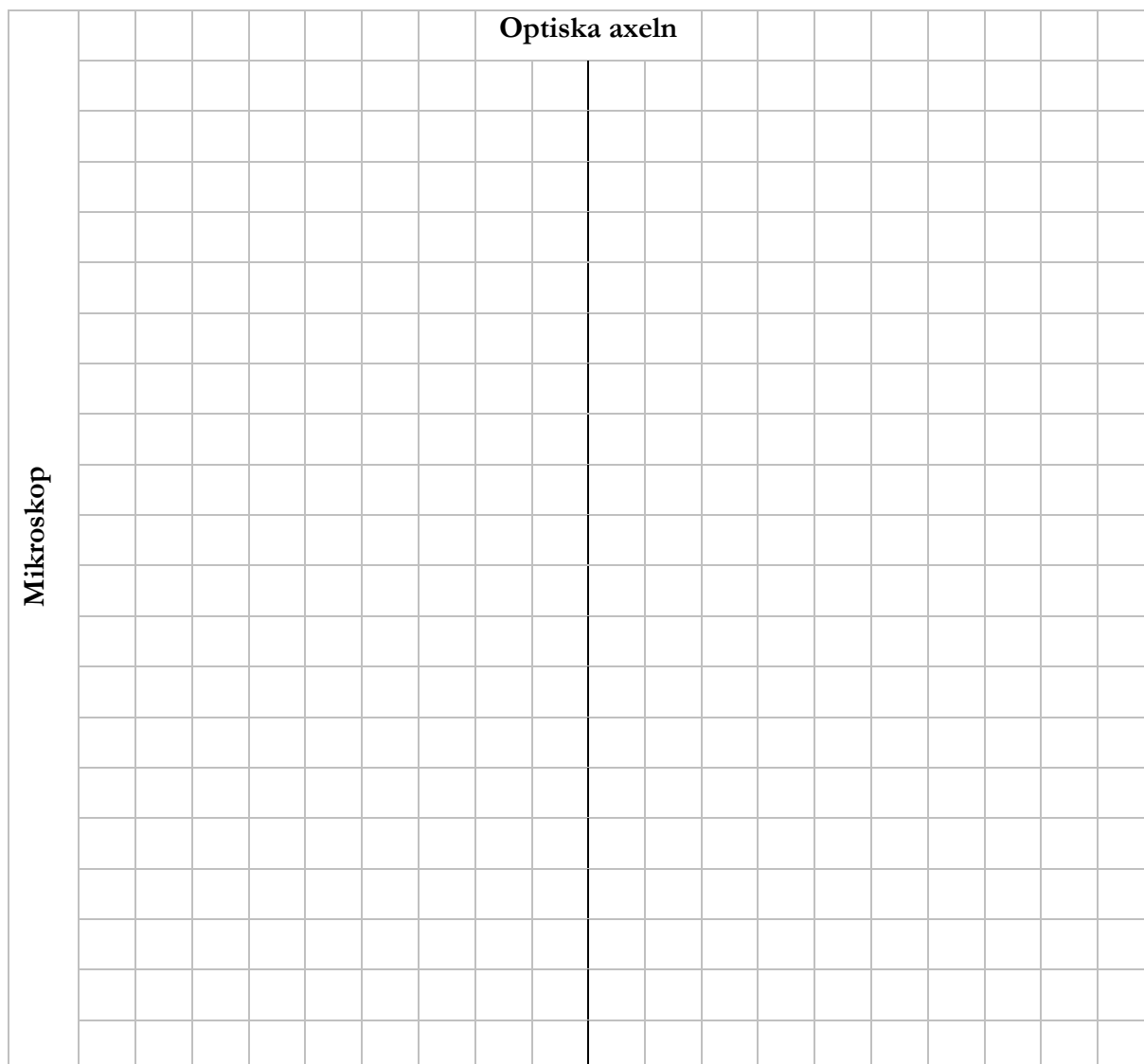
d) Mikroskop.

När man behöver en bättre förstoring än den som ges av ett förstoringsglas använder man ett mikroskop. Den kan förstora ett objekt upp till 1000 gånger där gränsen för det minsta som man kan upplösa ges av diffraktion¹, vilket medför att det minsta man kan urskilja är ca 300 nm vilket är storleken på en liten bakterie. Mikroskopets vinkelförstoring ges av

$$M = -\frac{25 \cdot L}{f_{\text{objektiv}} \cdot f_{\text{okular}}}, \quad (4)$$

där L är den så kallade tublängden som motsvara avståndet mellan objektivet och okulalets inre brännvidder.

Ett enkelt mikroskop består av två stycken positiva linser där föremålet placeras strax utanför objektivet yttre brännpunkt. Din uppgift är att bygga ett mikroskop med $f_{\text{obj}} = +10$ cm samt $f_{\text{okular}} = +15$ cm samt avbilda ett föremål. Gör detta genom att placera linser och föremål på lämpliga avstånd samt kika genom okulalet och hitta en skarp bild. Titta sedan på föremålet med ett obeväpnat öga på 25 cm avstånd och **bedöm föremålets storlek** gentemot mikroskopets. Jämför resultatet med det **beräknade**. **Rita strålgång** i rutan nedan.



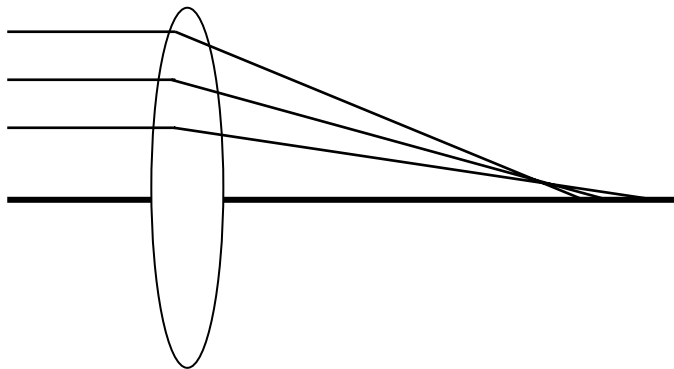
¹ Diffraktion innebär att ljuset böjer sig en aning när det passerar kanten av ett objekt.

Moment 4. Aberrationer

Aberration betyder avvikelse vilket är en förvrängning av bilden som ett resultat av den sfäriska geometrin på linsens yta. Tunna linsformeln är uppbyggd kring det faktum att det infallande ljuset träffar linsytorna med väldigt små vinklar i förhållande till den optiska axeln. Detta medför att man inte tar hänsyn till de fel som faktiskt uppstår då man avbildar genom en sfärisk lins och gör att bilden kommer att upplevas som suddig. Under det här moment kommer du att få en inblick i de vanligast förekommande aberrationerna: sfärisk-, kromatisk- och astigmatiskaberration.

Sfärisk aberration

Denna aberration innebär att en lins har olika fokallängd beroende på om strålen bryts i de centrala delarna eller långt ut på kanten. Detta medför att bilden aldrig kan bli skarp om man använder hela linsens yta för att avbilda ett föremål. Ett sätt att minska den sfäriska aberrationen är att sätta en aperture (blockerare) som minimerar användandet av de yttre delarna av linsen.



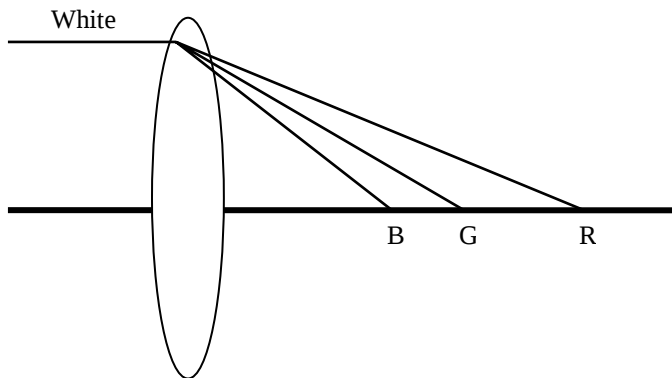
Figur 2 Illustration av sfärisk aberration vilket medför att linsen får olika fokallängder beroende på vart det infallande ljuset träffar linsens yta. Ljus som bryts långt ut från optiska axeln fokuseras tidigare jämfört med det ljus som träffar när den optiska axeln.

Uppgift 1.

Avbilda ett objekt med en lins ($f=+15\text{ cm}$) placera en bländare mellan objekt och en lins samt variera dess storlek samtidigt som ni observerar skärpan av bilden.

Kromatisk aberration

Kromatisk aberration uppkommer på grund av att brytningsindex är våglängdsberoende, en lins påvisar olika fokallängd för olika våglängder. Fenomenet innebär att fokallängden varierar mellan 3-12 % för synligt ljus. Detta brukar även kallas dispersion. Problemet går dock att korrigera genom att använda sig av två linser som har olika brytningsindex.



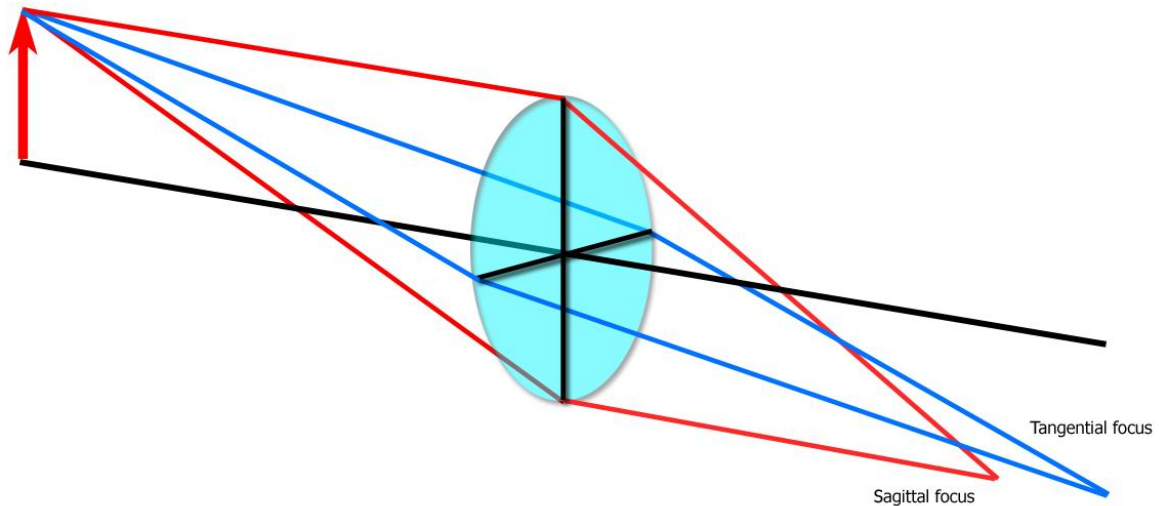
Figur 3. Bild över kromatiskaberration som är resultatet av att brytningsindex varierar med våglängden. B, G och R står för respektive våglängd vid blått, grönt och rött ljus. Det infallande ljuset är en blandning av samtliga våglängder.

Uppgift 2.

Avbilda en lampas glödtråd på en skärm, placera sedan i tur ordning ett rött, grönt samt blått filter mellan lampen och linsen. Hur måste man flytta skärmen för att bibehålla ett skarpt fokus för de olika filtren?

Astigmatism

Astigmatism uppkommer när man avbildar något som ligger utanför den optiska axeln. Fenomenet innebär att en punkt i bilden inte blir skarp utan istället utdragen till en linje eller elliptisk formad. Om man t.ex. avbildar ett cykelhjul så kommer ekrarna att vara skarpa i ena skärpeinställningen och i det ena läget navet. De tangentiella och sagitala linjerna avbildas skarpt på olika avstånd sett från linsen och ger därför en bild som blir förvrängd.



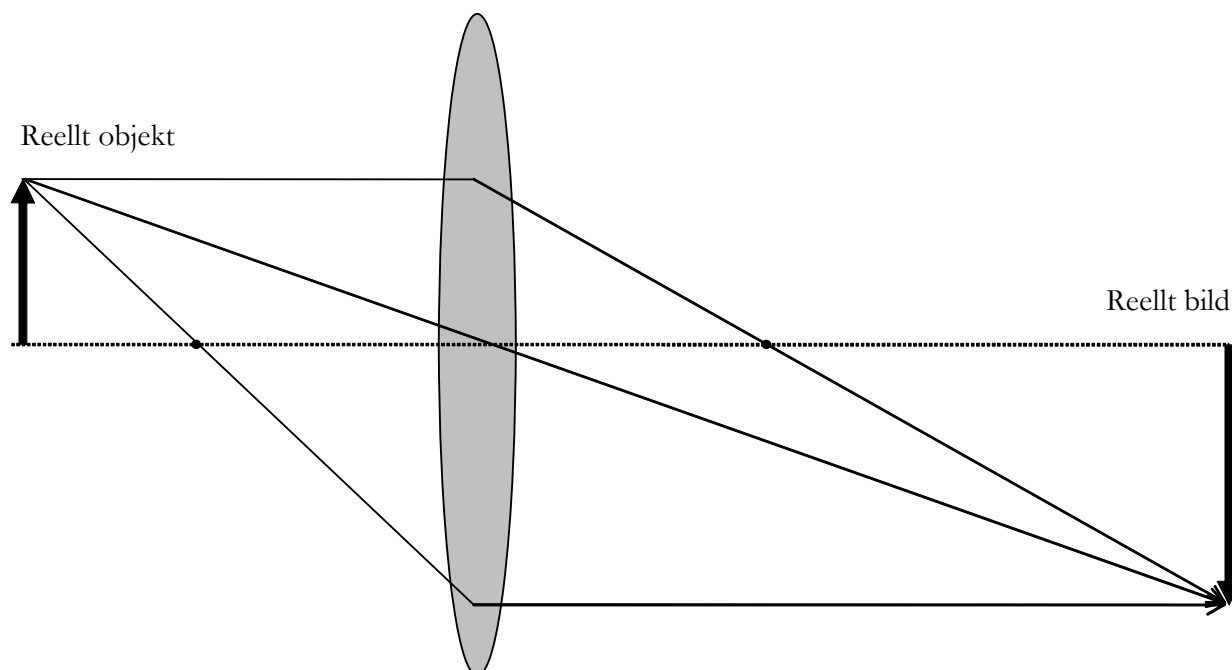
Figur 4 Astigmatism uppkommer då ett objekt som ligger utanför den optiska axeln avbildas. Fenomenet medför att horisontella och vertikala linjer i objektet avbildas i olika bildplan.

Uppgift 3

Avbilda bokstavsmönster AB som är skrivet med vertikala och horisontella linjer med en lins. Observera hur avståndet till bildplanet ändras beroende på vilken av bokstäverna ni tittar på.

Bilaga 1

Strålgång för en konvex (positiv) lins, med objekt framför fokus.



Strålgång för en konkav (negativ) lins, med objekt framför fokus.

