

Föreläsning 8: Linsdesign

Linsdesign

Att välja linser med ”rätt” krökningsradier på ytorna och av ”rätt” material.

Förutom paraxiala egenskaper såsom objekt- och bildavstånd och förstoring, så ställs andra krav på det optiska systemet:

- Bildkvalitet
- Ljushet
- Synfält

Dessa krav beror helt på vad man ska använda systemet till, tex. ställs olika krav på ett glasöga, en kamera, en kikare eller ett mikroskop.

Bildkvalitet

Bildkvalitet hänger ihop med upplösningen, dvs. hur små detaljer man kan se, men det finns också andra aspekter på hur bra bilden är (se föreläsning 9-10). Bildkvaliteten begränsas av:

1. Defokus (bilden hamnar inte på rätt avstånd, också en form av aberration)
2. Monokromatiska aberrationer (sfärisk aberration, koma, bildfältskrökning, sned astigmatism, distorsion)
3. Kromatiska aberrationer (transversell och longitudinell kromatisk aberration)
4. Diffraction

Även om man får bort alla avbildningsfel (punkt 1 – 3) finns alltid diffractionen kvar. Den blir man inte av med! Ett system där aberrationerna gjorts så små att diffractionen dominerar kallas diffraktionsbegränsat. Ett diffraktionsbegränsat optiskt system är alltså det bästa man kan åstadkomma med linsdesign.

Stor apertur (AS) ger:

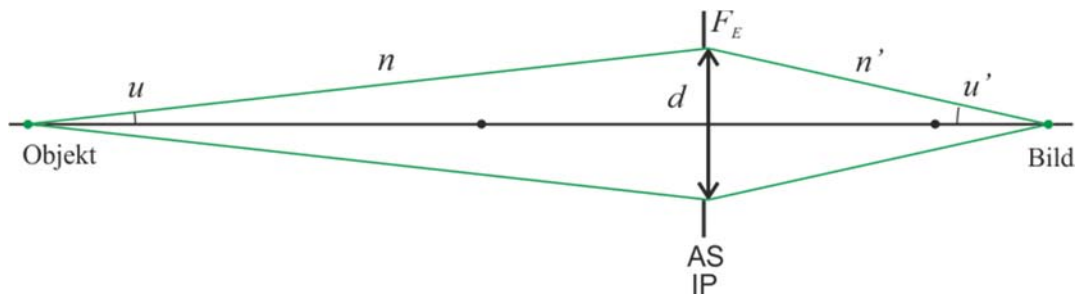
- stora aberrationer (men lyckas man få bort aberrationerna blir bildkvaliteten bra)
- liten diffraction

Liten apertur ger:

- små aberrationer (lätt att få bort aberrationerna)
- stor diffraction (så även utan aberrationer blir inte bildkvaliteten så bra)

Ljushmängd

Stor aperturstopp, AS, ger mycket ljus till bilden.



Ett mått på ljushmängd är den numeriska aperturen, NA

$$\begin{cases} NA = n \cdot \sin u \\ NA' = n' \cdot \sin u' \end{cases}$$

eller bländartalet, $f/\#$

$$f/\# = \frac{f'_E}{d},$$

där d är aperturans diameter (egentligen diametern hos IP).

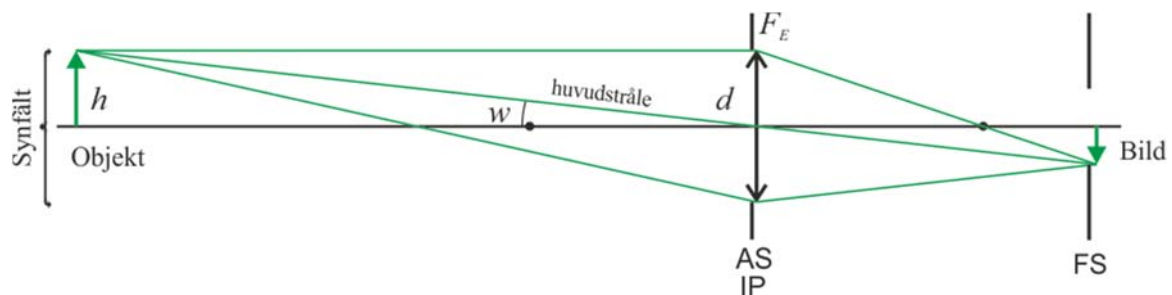
Om NA är stort, dvs. om bländartalet är litet, får man mycket ljus in i systemet.

Men, stor apertur (stort NA , litet $f/\#$) ger problem med bildkvaliteten pga de stora aberrationerna (framförallt sfärisk aberration, koma och longitudinell kromatisk aberration).

Synfält

Synfältet motsvarar den del av objektet som kan avbildas genom det optiska systemet.

Synfältet bestäms av systemets fältstopp, FS .



Synfältet anges antingen som vinkel eller i meter:

$2w$ (synfält som vinkel, används för avlägsna objekt)

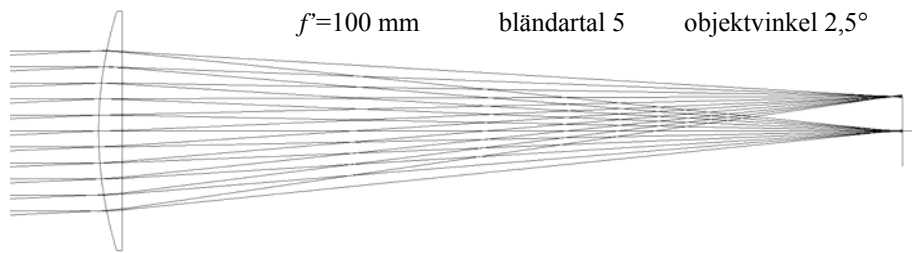
$2h$ (synfält som maximal objektstorlek i meter)

Ofta vill man ha stort synfält.

Men, stort synfält ger stora h och h' , vilket ger problem med bildkvalitet pga. aberrationer (framförallt sned astigmatism, bildfältskrökning och eventuellt distorsion och transversell kromatisk aberration).

Tre olika typer av optiska system

"Vanlig" enkel lens



Tumregler (**inte exakta**):

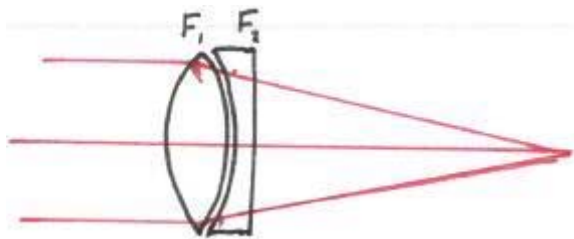
Apertur: fungerar ok för bländartal ≥ 5

Synfält: fungerar ok för $w \leq \pm 2,5^\circ$

Tänk på att vända linsen rätt! Den mest krökta ytan mot mest avlägset objekt/bild.

Ex) Tunn lens med $f'=100\text{ mm}$ är diffraktionsbegränsad på optiska axeln vid bländartal 9 (skrivs ofta som "f/9"), dvs. diameter $d=11\text{ mm}$.

Akromat (akromatisk dubblettlins)

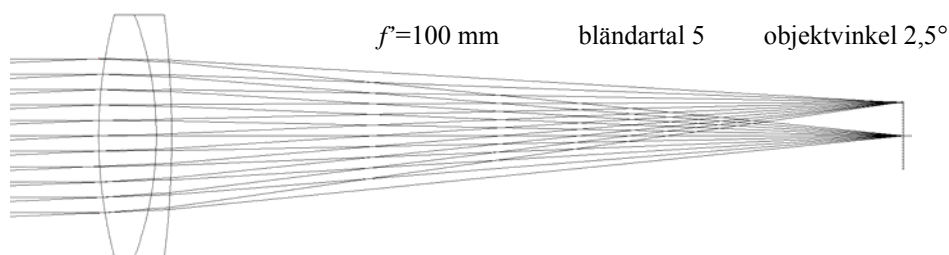


$$F = F_1 + F_2$$

Ingen kromatisk aberration om:

$$F_1 = \frac{V_1}{V_1 - V_2} F \text{ och } F_2 = \frac{V_2}{V_2 - V_1} F$$

Vi kan fortfarande variera linsernas formfaktorer och tjocklekar. Smarta val av material och formfaktorer (X_1 och X_2) ger en ihoplammad lens som är fri från kromatisk aberration och dessutom fri från sfärisk aberration och koma för en viss konjugatfaktor Y (gäller alltså bara om du vänder den rätt).



Tumregler (**inte exakta**):

Akromater är gjorda för att vända den mer konvexa ytan mot ett avlägset objekt eller bild ($Y=\pm 1$).

Apertur: fungerar bra för bländartal $\geq 2,5$

Synfält: fungerar bra för $w \leq \pm 2,5^\circ$

Ex) Akromat med $f'=100$ mm kan vara diffraktionsbegränsad på optiska axeln för bländartal ned till 2,5. Akromaten klarar dock inte större bildvinklar än den enkla linsen eftersom astigmatism och bidfältskrökning finns kvar.

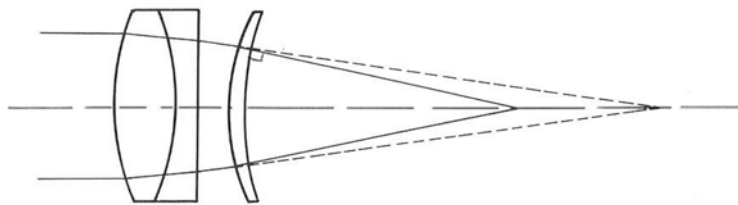
Objektiv i kikare är ofta akromater – det räcker eftersom bildvinklarna är små.

Komplexa optiska system (t.ex. kameraobjektiv)

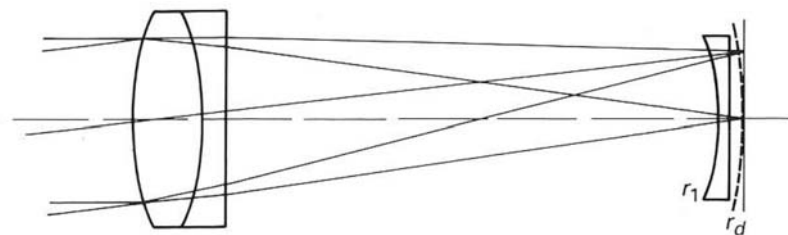
Flera linser eller akromater sätts samman för att få bra bildkvalitet över ett större synfält och/eller med större aperturer.

Optisk design är en konst, även om man idag har hjälp av datorbaserade designprogram. Man behöver ändå tio års erfarenhet för att bli en bra designer.

Basprinciper: Större apertur \rightarrow akromat + mensiklins



Större synfält \rightarrow akromat + fältlins nära bildplan



Några olika kameraobjektiv (se kap. 14 i *Optics*):

- Protar:
 - använder symmetri, minimierar fältaberrationer
 - använder akromater, minimerar sfärisk aberration och longitudinell kromatisk ab.
 - Bländartal ~ 4 , synfält $\sim 60-90^\circ$
- Cooke triplett:
 - Korrigerar alla 5 Seidelaberrationer med minsta möjliga antal ytor, svår att tillverka
 - Bländartal $\sim 2,5$, synfält $\sim 30^\circ$
- Tessarlinsen:
 - För att ge Cooke-tripletten bättre synfält

Ett bra kameraobjektiv (normalobjektiv) har $f'=50$ mm, bländartal 1.4, synfält $2w = 45^\circ$

Generellt: Fler linser ger fler frihetsgrader och är det enklaste sättet att ta bort aberrationerna även för låga bländartal och stora synfält. Men många linser blir dyrt, tungt och stort.

En bra design löser problemet med så få linser som möjligt.

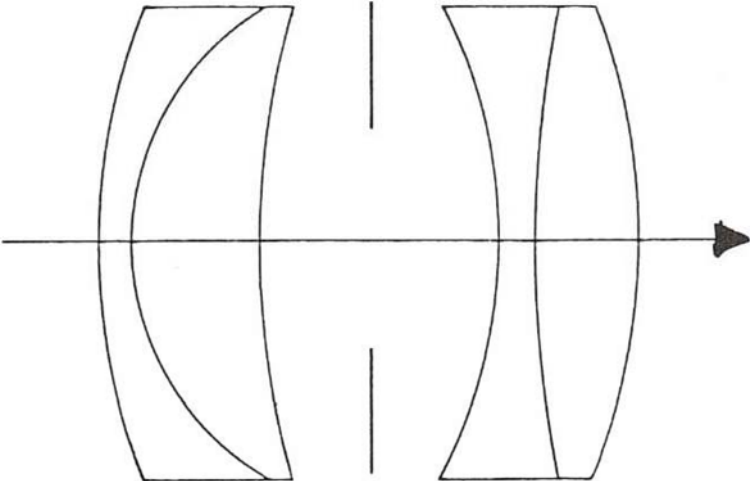


Figure 14.9 Zeiss 'Protar' lens – an example of a symmetrical photographic lens

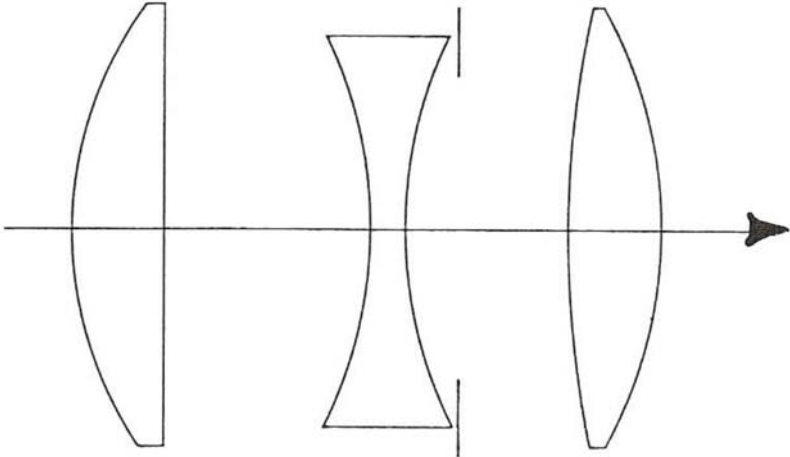


Figure 14.10 Cooke triplet – an example of an unsymmetrical photographic lens

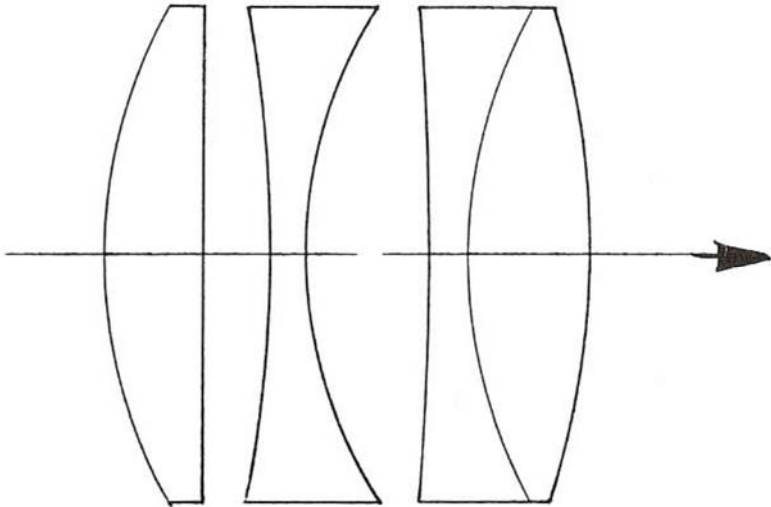


Figure 14.11 A Tessar photographic lens