

5. Systemkonzept I: Paraxiale Auslegung

5.1 Wiederholung Grundgleichungen

5.2 Einfache Systeme

5.3 Zusammengesetzte Systeme

5.4 Zoom-Objektive

Brechungsgesetz:

$$n \sin i = n' \cdot \sin i'$$

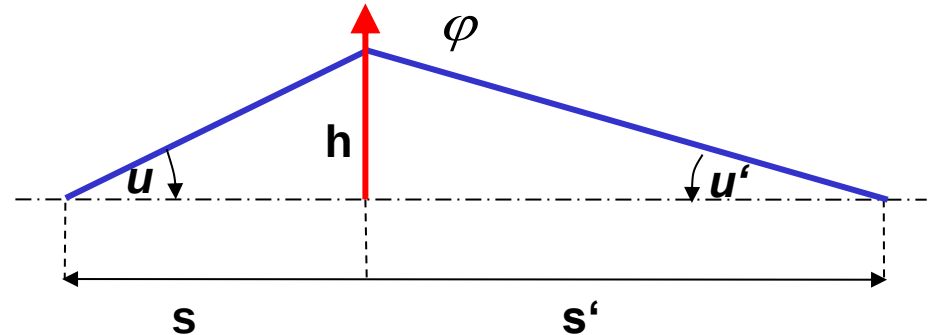
Paraxiale Abbildungsgleichung (in Luft)

$$\frac{1}{s'} - \frac{1}{s} = \varphi = \frac{1}{f'}$$

$$u' = u + h \cdot \varphi$$

Brechkraft
Einzelfläche
(Radius r)

$$\varphi = \frac{(n' - n)}{r}$$



Brechkraft dünne Linse

$$\varphi = \frac{1}{f'} = (n - 1) \left(\frac{1}{r_1} - \frac{1}{r_2} \right)$$

Abbildungsmaßstab (an Luft)

$$\beta := \frac{y'}{y} = \frac{s'}{s} = \frac{u}{u'}$$

Objekt in ∞ (Winkel w)

$$y' = f \cdot w$$

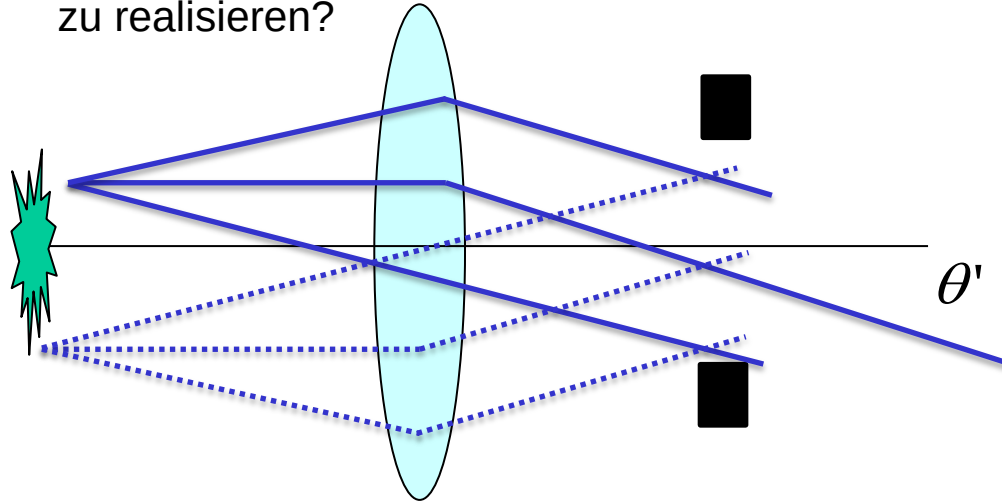
Objekt in F (Objekthöhe y)

$$w' = \frac{y}{f}$$

Anwendung – Einfacher Kollektor/Kondensor



Beispiel: Sie wollen ein einfaches „Köhler“-Beleuchtungssystem realisieren.
Die Lichtquelle hat einen Durchmesser von $d=2\text{mm}$.
Welche Brennweite müssen Sie wählen um im Leuchtfeld eine Apertur von $\text{NA}=0.25$ zu realisieren?



$$w' = \theta' = y / f$$

$$y = \frac{d}{2} = 1\text{mm}$$

$$\theta \approx 0.25\text{ rad}$$

$$\Rightarrow f = \frac{y}{\theta}$$

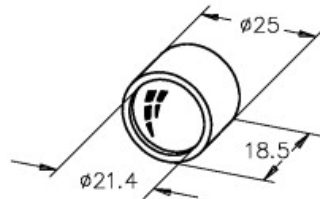
$$f = \frac{1\text{mm}}{0.25}$$

$$f = 4\text{mm}$$

Kombinationskondensor, $f = 16\text{ mm}$ aus Quarzglas



- Zur gleichmäßigen Ausleuchtung von Objektfeldern
- Zur Kollimierung in Beleuchtungssystemen mit großem Öffnungsverhältnis
- Hohe UV-Transmission
- In Fassung CL, $\varnothing 25\text{ mm}$, Öffnung 21.4 mm (Mikrobank-kompatibel)
- Linsenanordnung variierbar (siehe Abbildungen, Werkzeug wird mitgeliefert)



- bestehend aus: 2 Plankonvexlinsen $f = 40\text{ mm}$ (G31 2286 000), 1 Konkavkonvexlinse $f = 50\text{ mm}$ (G31 5506 000)



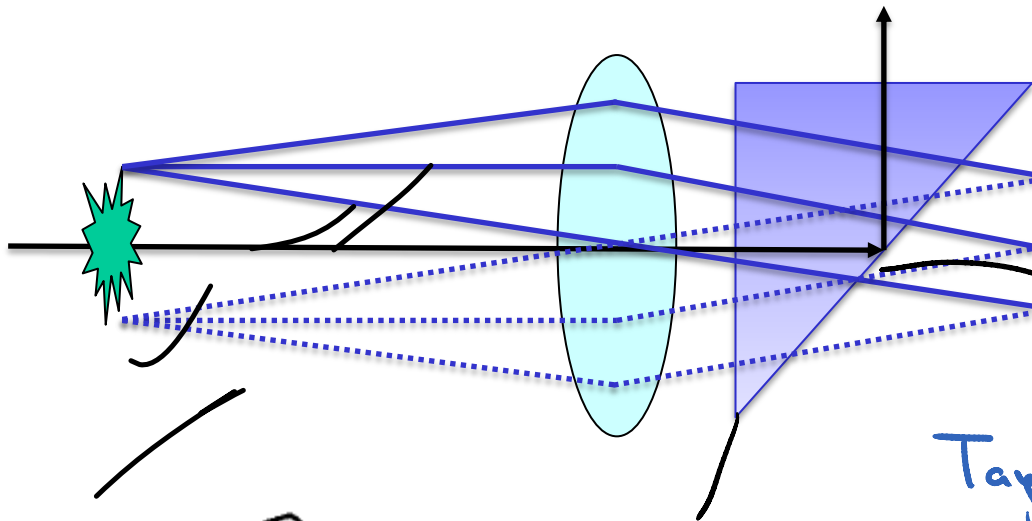
$f = 16\text{ mm}$

$f = 17.2\text{ mm}$

Anwendung: Totalreflexions-Prismen



Beispiel: Aus Geometrie-Gründen wollen Sie das Licht mit einem 45°-Prisma umlenken. Welchen Brechungsindex muss das Prisma besitzen, damit Sie ein Totalreflexions-Prisma einsetzen können?



Totalreflexion:

$$\sin i_g = \frac{1}{n}$$

$$i_g = 45^\circ - \theta'$$

$$\sin(45^\circ - \theta') = \frac{1}{n}$$

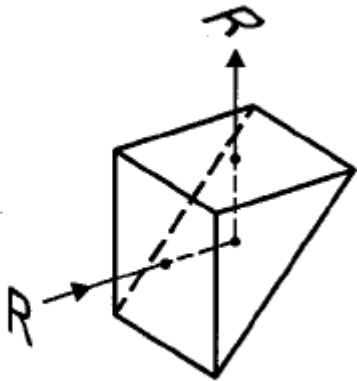
Taylor: $f(x + \Delta x) = f(x) + \frac{df}{dx} \cdot \Delta x$

$$\sin(45^\circ) - \theta' \cdot \cos(45^\circ) = \frac{1}{n}$$

$$\frac{1}{\sqrt{2}} - \theta' \cdot \frac{1}{\sqrt{2}} \cdot n = \frac{1}{n}$$

$$\frac{1}{n} (1 + \theta' \sqrt{2}) = \frac{1}{\sqrt{2}}$$

$$\Rightarrow n \approx \sqrt{2} + \theta = 1.66$$



Br.ung

$$\sin \theta' = \frac{1}{n} \sin \theta$$

$$\Rightarrow \theta' \approx \frac{\theta}{n}$$

$$\theta = 0.25$$

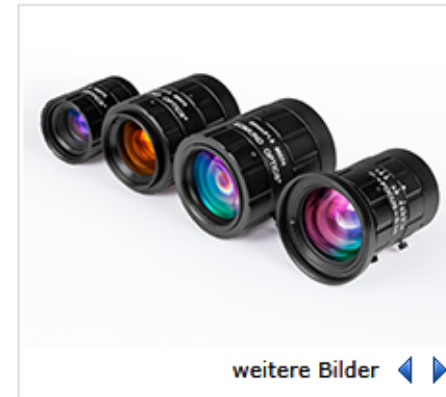
Beispiel: Für Ihre 1" CCD-Kamera suchen Sie ein Objektiv welches noch Objektwinkel von maximal 53° abbilden kann.
Welche Brennweite benötigen Sie?

$$y' = f \cdot w$$

$$y' = f \cdot \tan w$$

$$\begin{aligned} 1'' \text{ CCD} &\approx 16 \text{ mm} \\ \Rightarrow y' &= 8 \text{ mm} \\ w &= 53^\circ / 2 = 26,5^\circ \\ \Rightarrow f &= \frac{8 \text{ mm}}{\tan 26,5^\circ} \approx 16 \text{ mm} \end{aligned}$$

TECHSPEC® 16mm Brennweite, hochauflö



Artikelnr. #86-571 Lage

€1,040.25

Stückzahl 1 IN DEN W

< gesamte Produkta

Technische Informationen zum Download

eDrawing

IGES



IGES

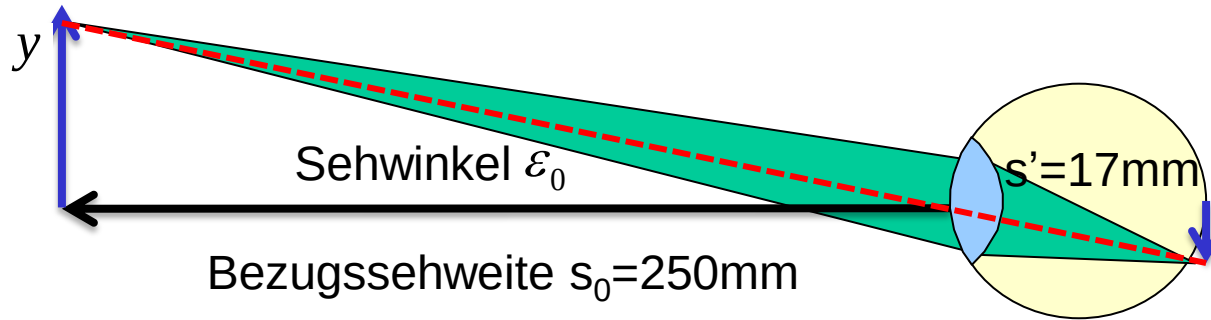
Spezifikationen

Brennweite FL (mm)	16
Max. Sensorgröße	1"
Bildfeld, 1" Sensor (°)	127mm – 53°
Arbeitsabstand (mm)	100 – ∞
Blende (f/#)	f1.8 – f16
Numerische Apertur NA, Objektseite	0.02
Verzeichnung (%)	< -3.5

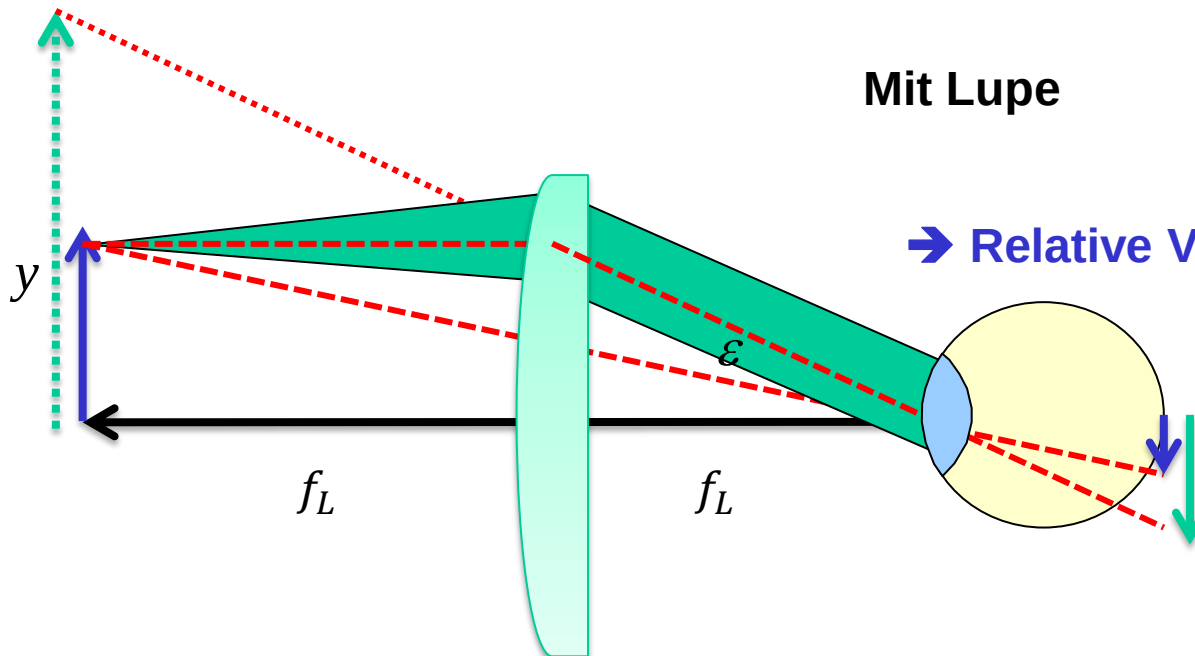
Auge / Lupe / Okular / Vergrößerung



Auge



Mit Lupe



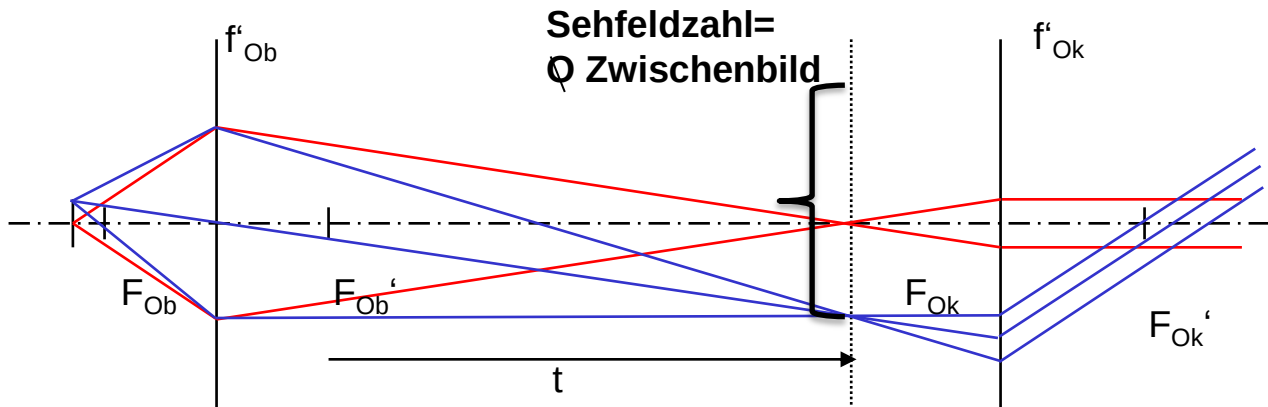
→ Relative Vergrößerung

$$\Gamma = \frac{\varepsilon}{\varepsilon_0} = \frac{250\text{mm}}{f_L'}$$

Anwendung: Okular



Mikroskop = Objektiv + Okular



Angabe auf Okularen

→ Vergrößerung / Sehfeldzahl

z.B. 10x / 22

Welche Brennweite hat das Okular?

Welcher max. Bildwinkel fällt in das Auge?

$$10 \times \Rightarrow \frac{250}{f} = 10 \Rightarrow f = 25 \text{ mm}$$

$$\tan \omega = \frac{y}{f} = \frac{11 \text{ mm}}{25 \text{ mm}} = 0.44 \Rightarrow \omega = \pm 24^\circ$$



<http://de.wikipedia.org/w/index.php?title=Datei:Okulare1357.jpg>

Gesamtbrechkraft für 2 Brechkräfte
(Linsen) im Abstand d (in Luft n=1)

$$\Phi = \frac{1}{f'} = \varphi_1 + \varphi_2 - \frac{d}{n} \varphi_1 \varphi_2$$

über Tubuslänge:
(Abst. Fokalfunkte)

$$f' = - \frac{f'_1 f'_2}{t}$$

Lage der Hauptebenen
(für Linsen an Luft n=1)

$$a_{1H} = f' \varphi_2 \frac{d}{n}$$

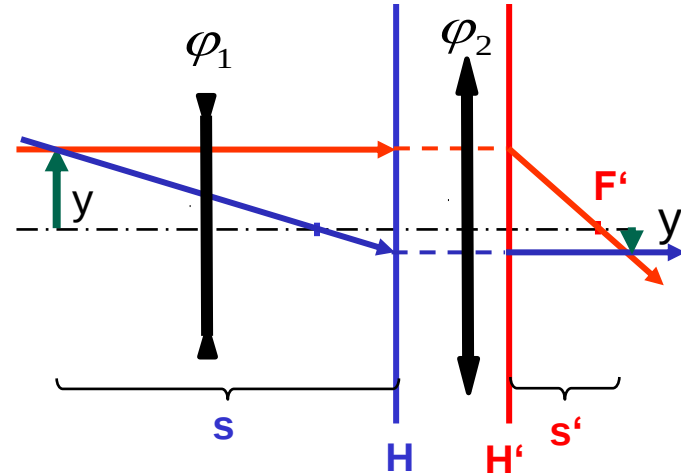
$$a'_{2H'} = - f' \varphi_1 \frac{d}{n}$$

Bildfeldkrümmung(Petzval-Radius)
für mehrere Linsen mit Brechzahl n

$$\frac{1}{R_p} = - \sum_k \frac{\varphi_k}{n_k}$$

Achromat

$$0 = \Delta \varphi_1 + \Delta \varphi_2 = \frac{\varphi_1}{v_1} + \frac{\varphi_2}{v_2}$$



Zusammengesetzte Linsen-Systeme



Kombination von zwei Linsen in Luft

Kombination von zwei Brechkraften
in Luft ($n=1$)

→ analog zur dicken Linsen folgt
(siehe Gl. 3.29 und Gl. 3.31)

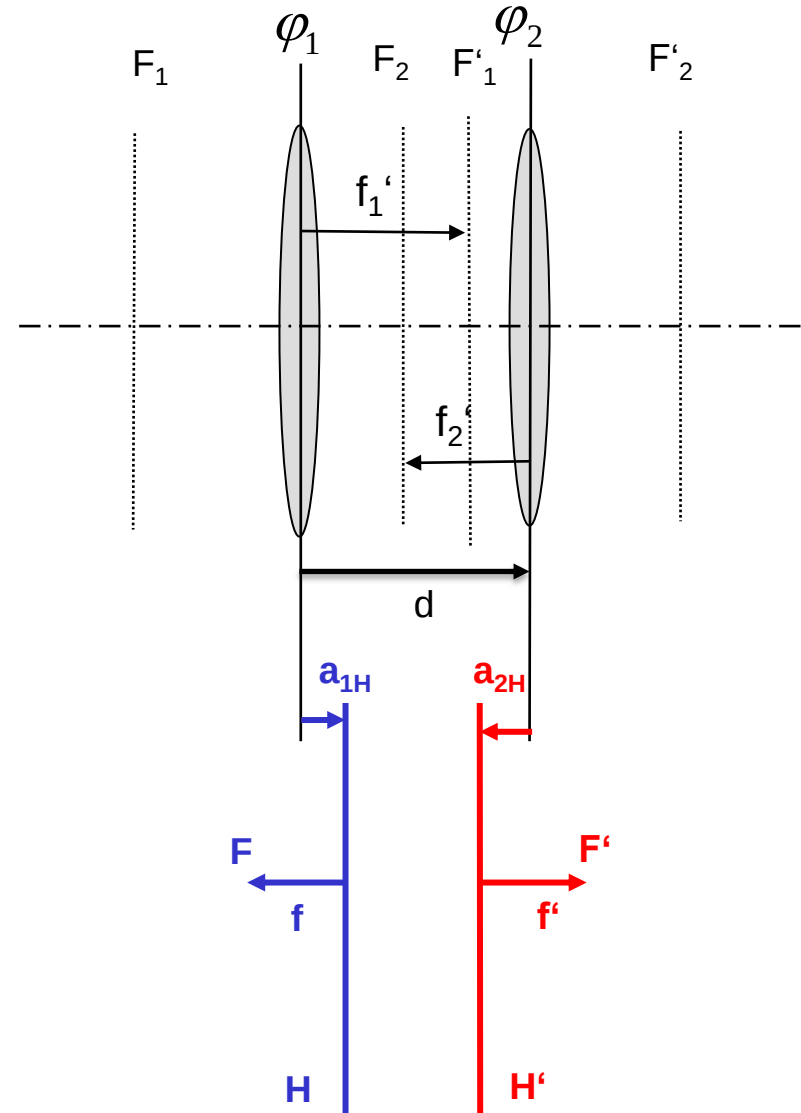
Brechkraft:

$$\phi = \frac{1}{f'} = \phi_1 + \phi_2 - d\phi_1\phi_2$$

Hauptebenen:

$$a_{1H} = f' \cdot \phi_2 \cdot d$$

$$a'_{2H'} = -f' \cdot \phi_1 \cdot d$$



Anwendung: Zusammengesetzte Brechkräfte



Beispiel: Sie benötigen für Ihren Laboraufbau eine Brennweite von 80mm haben aber nur zwei Kataloglinsen mit ja $f=100\text{mm}$.
Was können Sie tun?

$$\varphi_1 = \varphi_2 = \frac{1}{f} = \frac{1}{100} = 0.01$$

$$\varphi_{\text{ges}} = \frac{1}{80} = 0.0125$$

$$\underbrace{\varphi_{\text{ges}}}_{0.0125} = \underbrace{\varphi_1 + \varphi_2}_{0.02} - d \varphi_1 \varphi_2 \Rightarrow d \varphi_1 \varphi_2 = 0.0075$$
$$d = 75\text{mm}$$

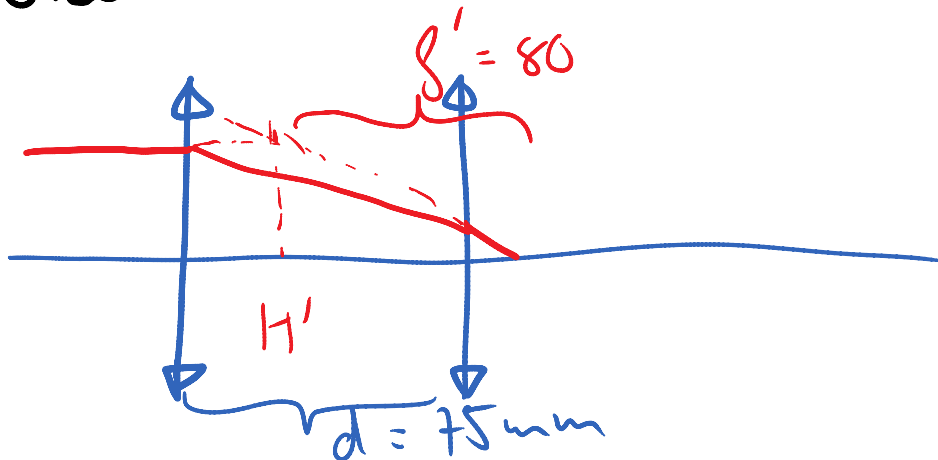
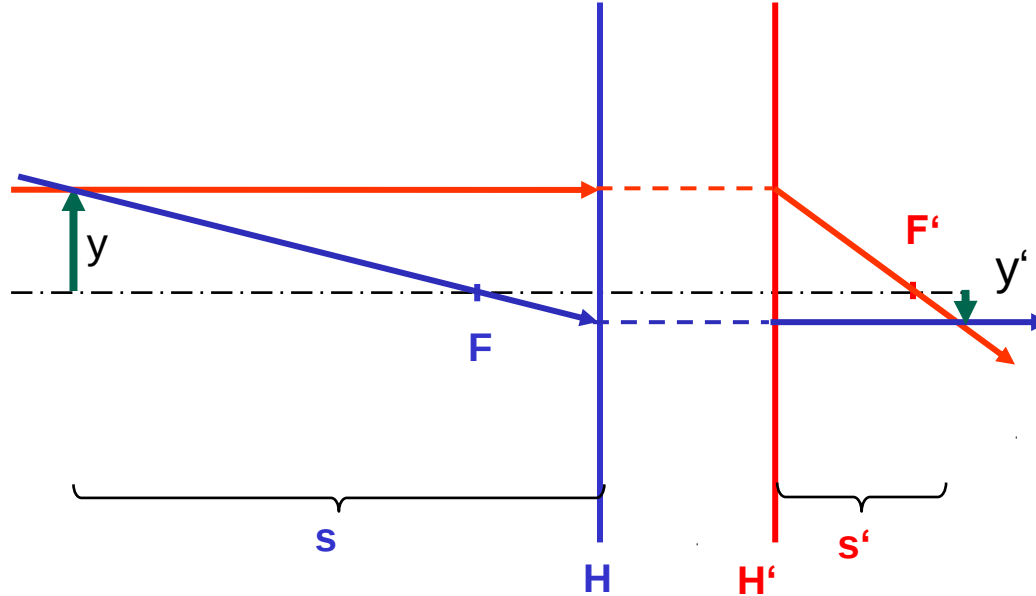


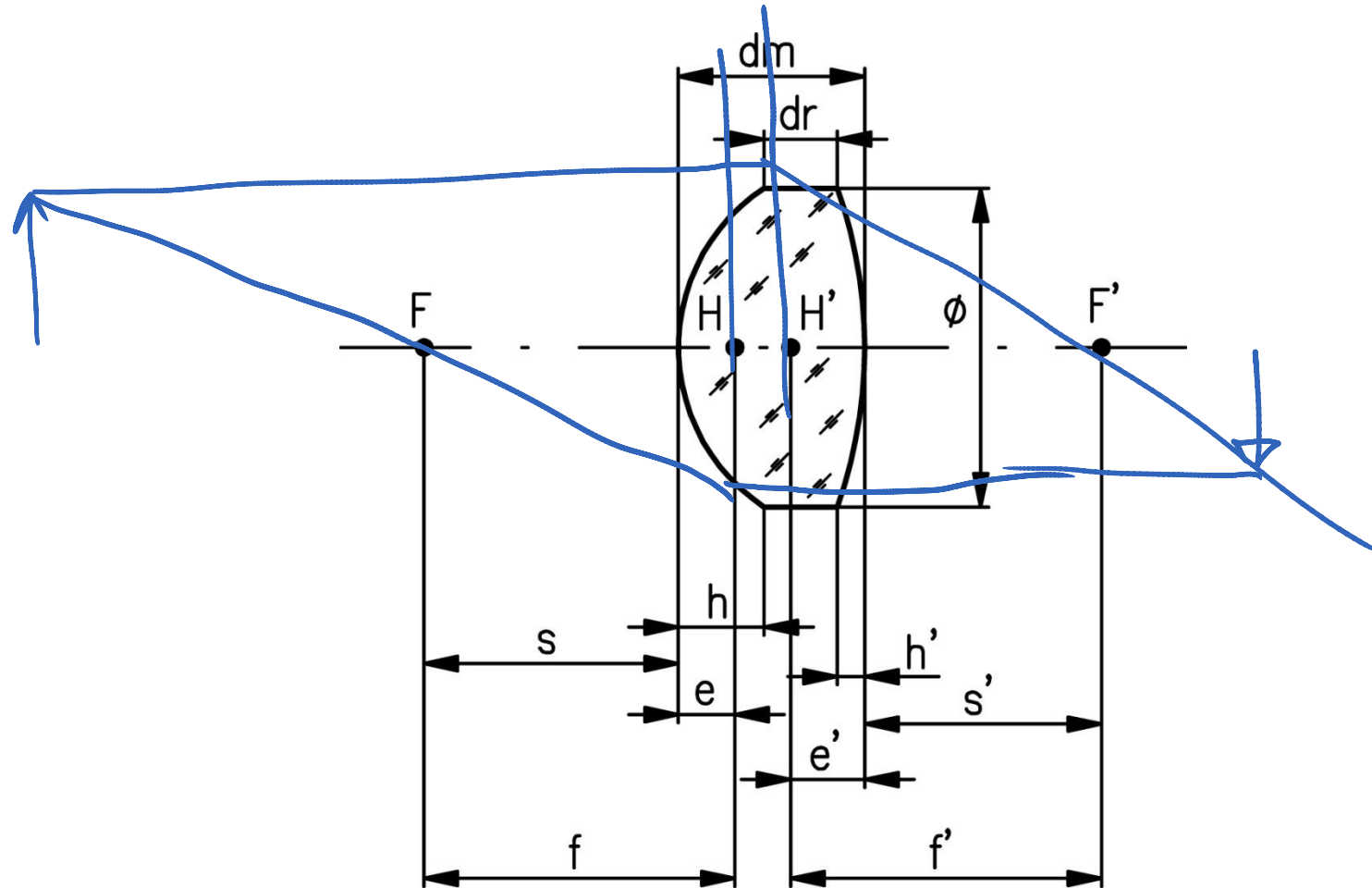
Abbildung und Konstruktion mit Hauptebenen



- Abbildungskonstruktion vor/nach Hauptebenen ist identisch zu Situation mit Einzelbrechkraft
- Bezogen auf die Hauptebenen gilt dieselbe Abbildungsgleichung mit der Gesamtbrechkraft φ

$$\frac{1}{s'} - \frac{1}{s} = \varphi = \frac{1}{f'_{ges}}$$

Beispiel: Hauptebenen bei Kauflinsen



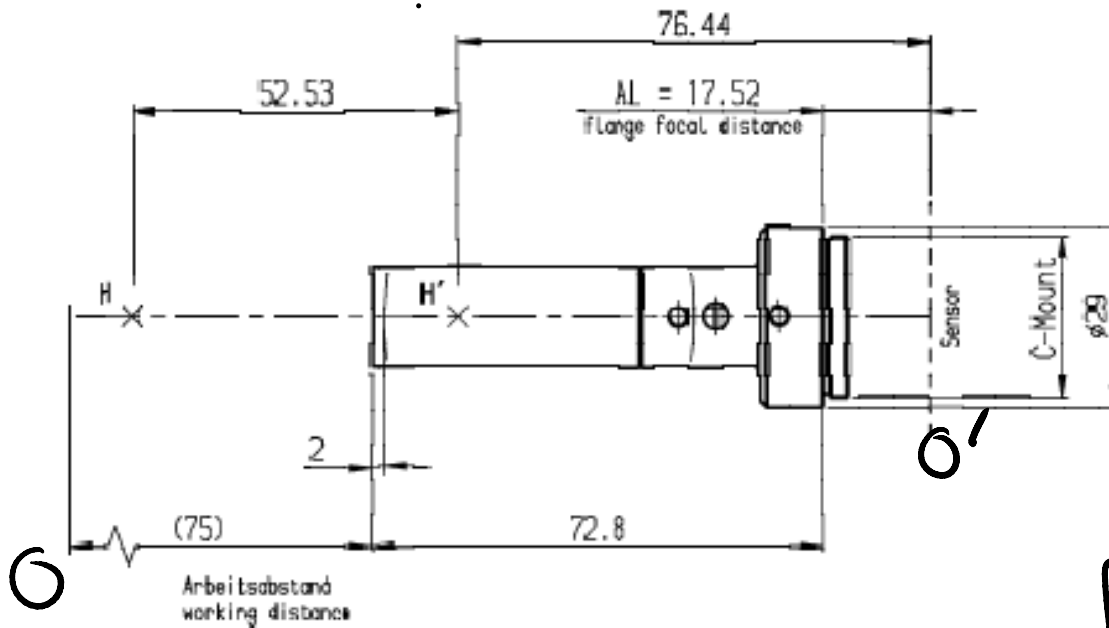
Anwendung: CCD Objektiv



Beispiel: Im Instituts Keller finden Sie ein komplexes CCD-Objektiv

Dabei liegt leider nur folgende Konstruktionszeichnung.

Welchen Abbildungsmaßstab und welche Brennweite hat das Objektiv?



$$H'-O' = 76 \text{ mm} = s'$$

$$HH' = 52.5 \text{ mm}$$

$$OO' = 75 + 73 + 17.5 = 165.5$$

$$O-H = 165.5 - 52.5 - 76 = 37 \hat{=} -s$$

$$\beta = \frac{s'}{s} \approx 2 \times$$

$$\frac{1}{f'} = \frac{1}{s'} - \frac{1}{s} = \frac{1}{76} - \frac{1}{37} \Rightarrow f' = 25 \text{ mm}$$

1/2" CCD	Sensor	4.4	Festblende
2/3" CCD			Fix f-stop
3.2 x 2.4 mm	Objektfeld bei 1/2" Sensor	< 0.1%	Verzeichnung
4.2 x 3.1 mm	Objektfeld bei 2/3" Sensor		distortion
f' = 25.55 mm	Brennweite	2x	Abbildungsmaßstab
	Focal length		scale
	Einheitsvergrößerung		Einheitsvergrößerung

Anwendung: Hauptebenen



Beispiel: Sie benötigen ein (Unendlich-)Objektiv für Ihren Laboraufbau mit einer Brennweite von $f' = 50\text{mm}$.

Andererseits benötigen Sie 75mm freien Arbeitsabstand zwischen der letzten Linse und dem Sensor.

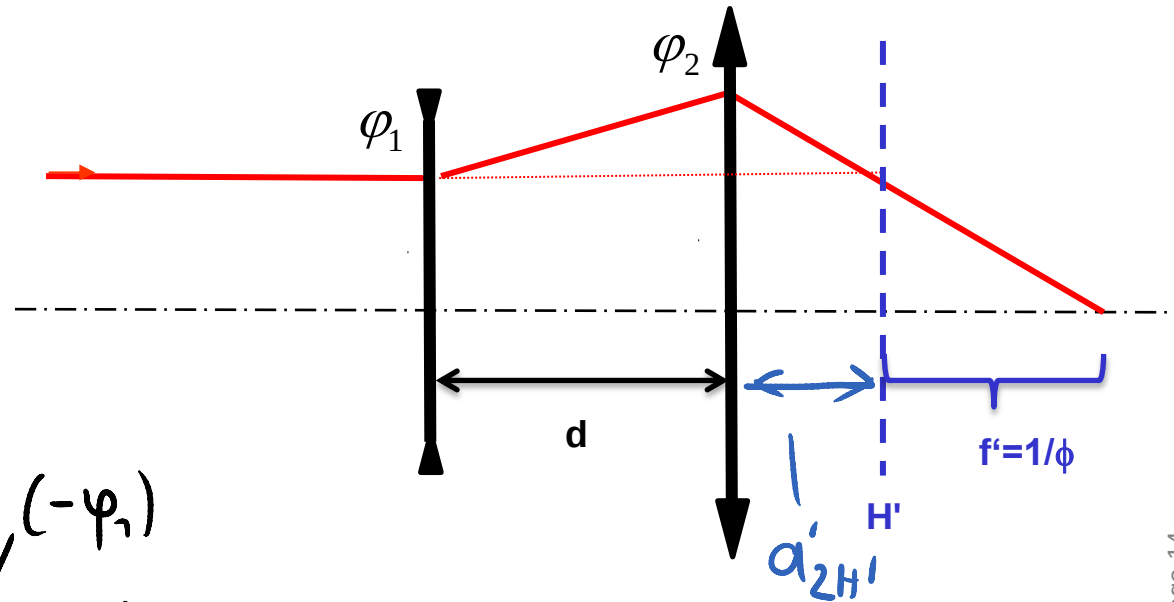
Zudem soll das System geebnet sein (Summe der Brechkräfte = 0 - Petzval)
Welche Aufbau würden Sie wählen und welche Einzellinsen kaufen Sie?

$$f' = 50$$

$$a'_{2H'} = 25$$

$$a'_{2H'} = -f' \cdot \varphi_1 \cdot d$$

$$\Rightarrow \varphi_1 \cdot d = -\frac{1}{2}$$

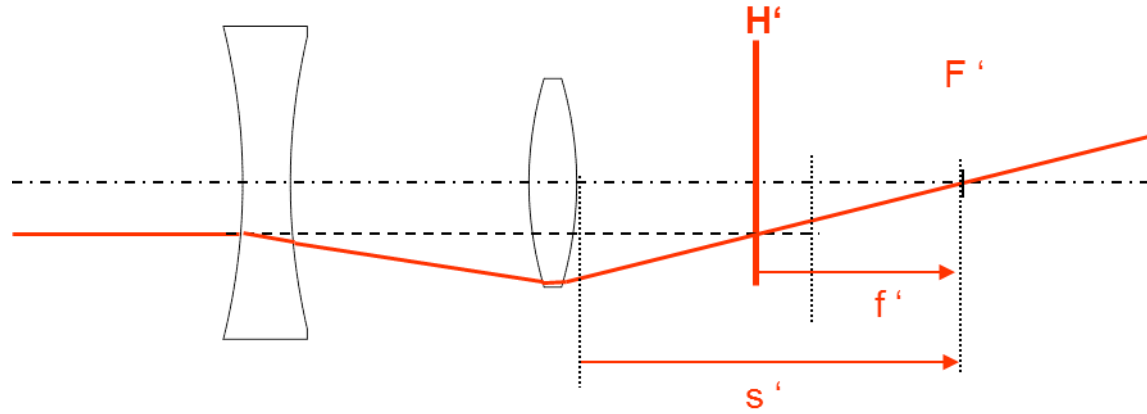


$$\varphi_{ges} = \frac{1}{f'} = \varphi_1 + \varphi_2 - d\varphi_1\varphi_2 = \frac{1}{2}\varphi_2$$

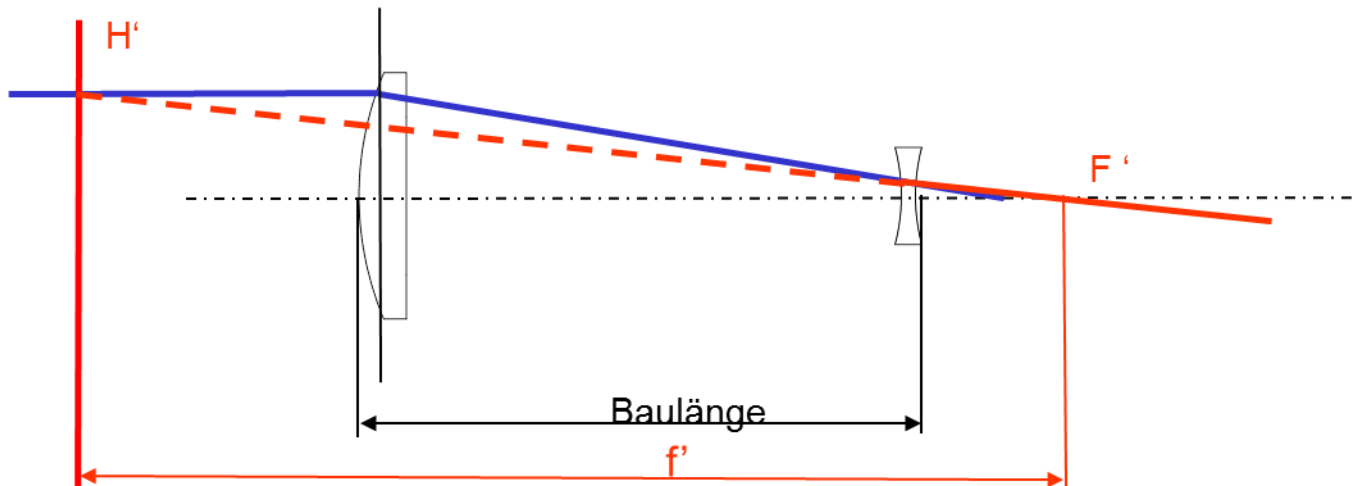
$$\Rightarrow f_2 = \frac{1}{2}f' = 25\text{mm}$$

$$\Rightarrow \begin{matrix} d = 125\text{mm} \\ f_1 = -25\text{mm} \end{matrix}$$

Retrofokus-System



Tele-System

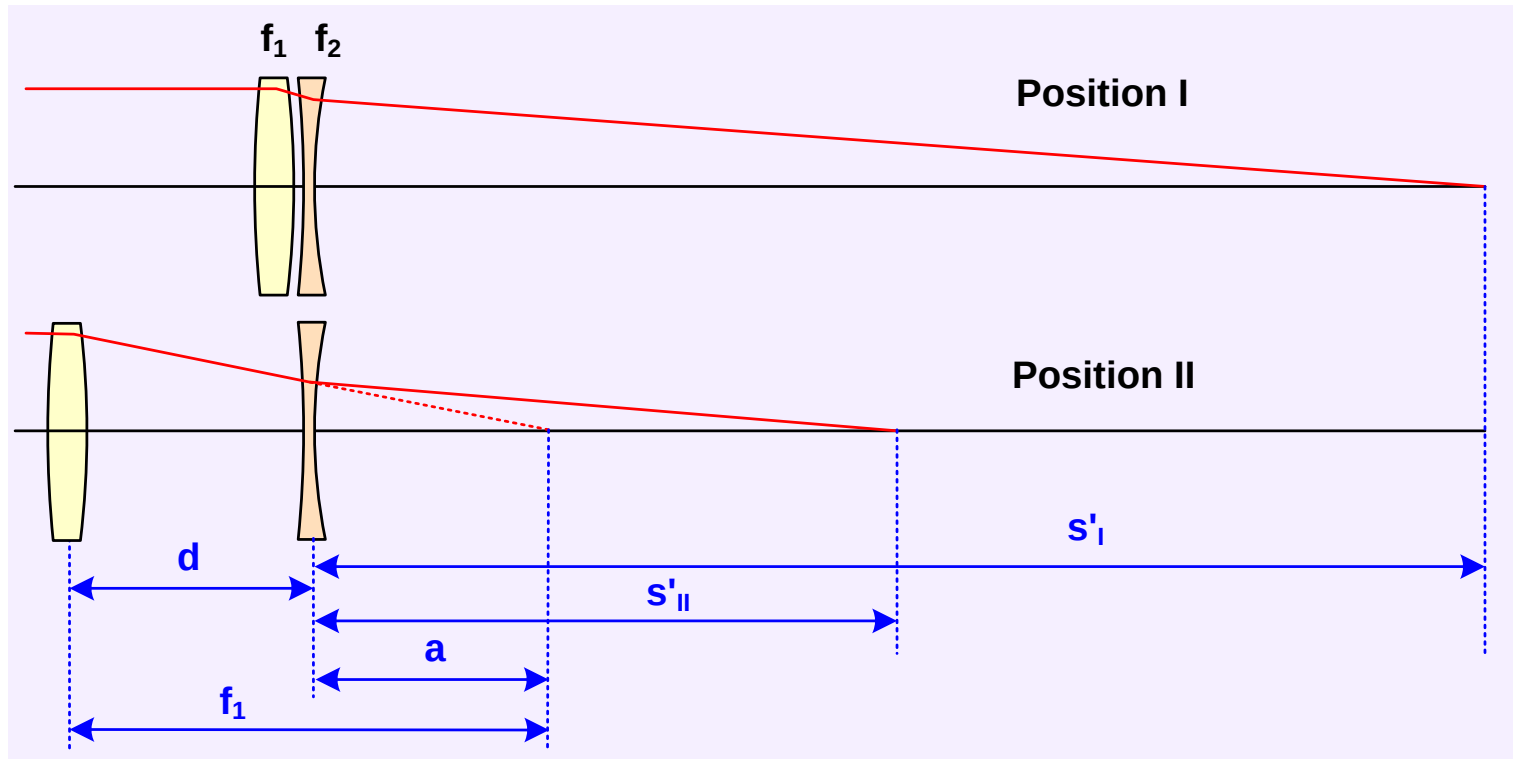


Gesamtbrechkraft:

$$\phi = \phi_1 + \phi_2 - d\phi_1\phi_2$$

$$f = \frac{f_1 \cdot f_2}{f_1 + f_2 - d}$$

→ Änderung des Abstandes **d** zwischen den Linsen ändert Gesamtbrechkraft:

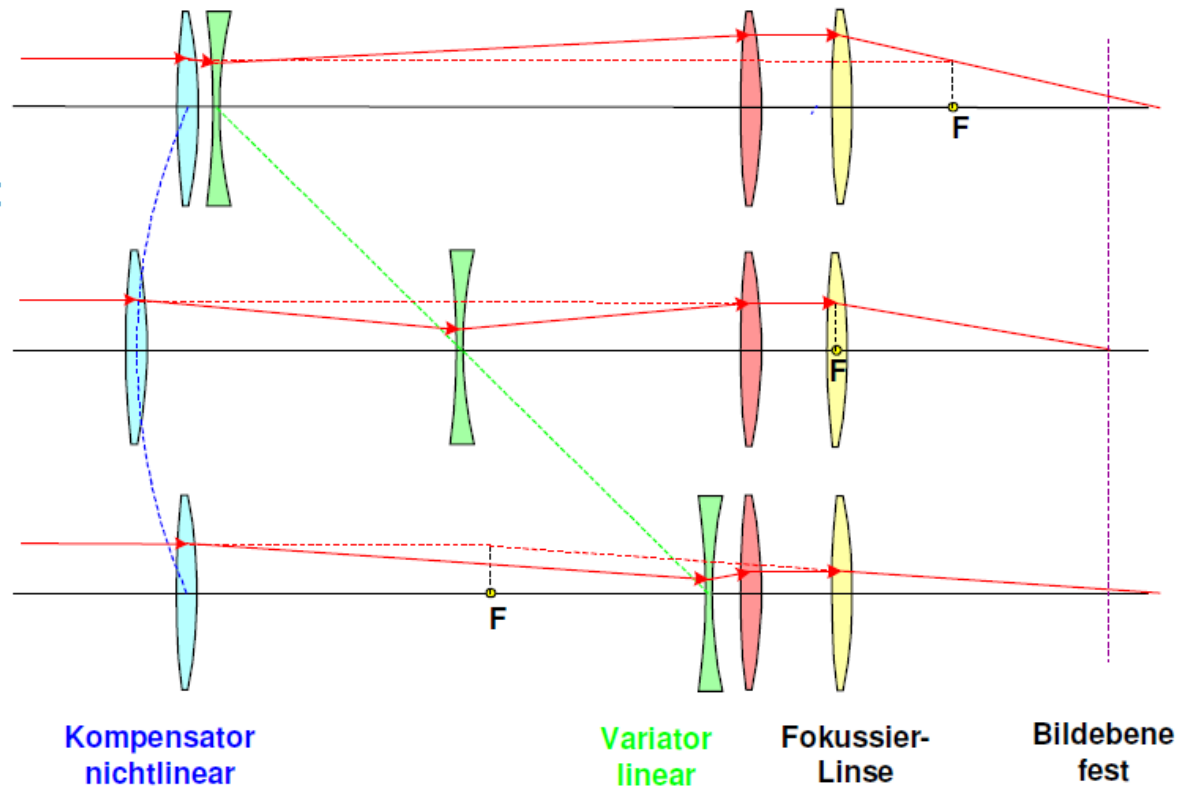


Charakteristika:

$$V = \frac{f_{MAX}}{f_{MIN}} = \frac{\beta_{MAX}}{\beta_{MIN}} = \frac{\Gamma_{MAX}}{\Gamma_{MIN}}$$

Variofaktor / Dehnungsfaktor

Prinzip :



Grundaufbau Zoom-Systeme

Base Configuration (1X TV Tube with no Aux. Lens)	(@ Low Mag.)	(@ High Mag.)
Magnification Range	0.75X	5.25X
Numerical Aperture	0.024	0.080
Resolution	72 lp/mm	240 lp/mm
Depth-of-Field	0.98 mm	0.09 mm
Working Distance	89 mm	89 mm
FOV (1/3" Camera)	4.80 x 6.40 mm	0.69 x 0.92 mm
FOV (1/2" Camera)	6.40 x 8.53 mm	0.91 x 1.23 mm
FOV (2/3" Camera)	8.80 x 11.73 mm	1.26 x 1.69 mm
FOV (1" Camera)	12.80 x 17.07 mm	1.85 x 2.46 mm

Zoom 70XL features a three-piece modular design in most configurations for maximum flexibility.

Grundaufbau meist basierend auf afokalem Zoom



Quelle: Qioptiq

Symmetrisches Zoom-Teleskop aus dünnen Linsen

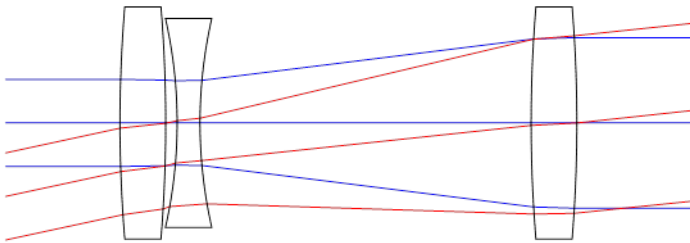


- Zwei Sammellinsen mit Brechkraft f_1 in festem Abstand d
- Dazwischen Zerstreuungslinse mit Brechkraft f_2

Extremstellungen:

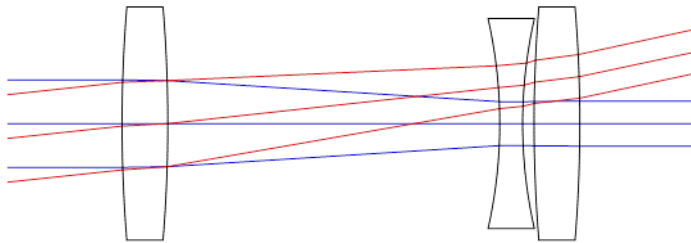
$$f_{in} = \frac{f_1 \cdot f_2}{f_1 + f_2}$$

$$f_{out} = f_1$$



$$f_{in} = f_1$$

$$f_{out} = \frac{f_1 \cdot f_2}{f_1 + f_2}$$



Bei passendem Abstand:

Galilei-Teleskop mit Vergrößerung

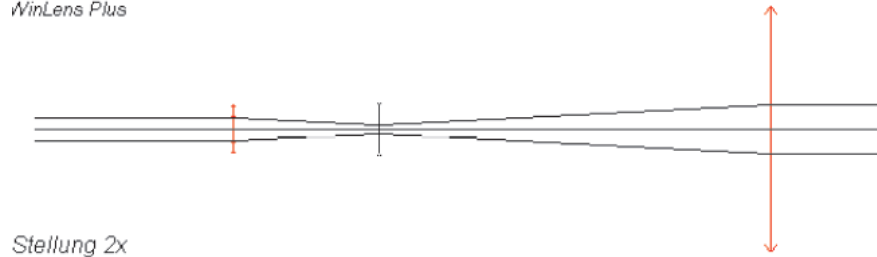
$$\Gamma_a = -\frac{f_{out}}{f_{in}} = -\frac{f_1 + f_2}{f_2}$$

$$\Gamma_a > 1 \quad \Rightarrow \quad f_2 < -f_1/2$$

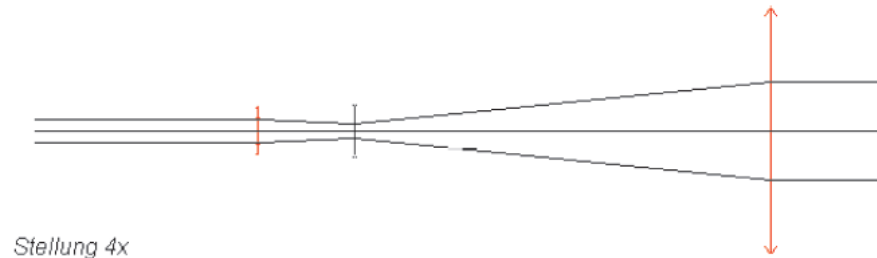
$$\Gamma_b = \frac{1}{\Gamma_a} = -\frac{f_2}{f_1 + f_2}$$

Allgemein:
3-gliedriger afokaler Zoom

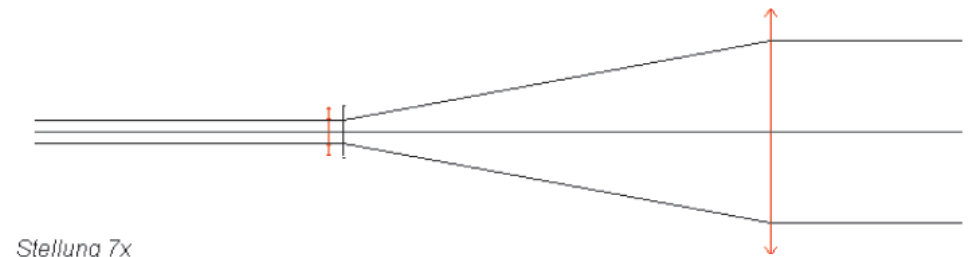
WinLens Plus



Stellung 2x



Stellung 4x



Stellung 7x

BMX- Einsätze
3x- 10x

BMX-Grundmodul

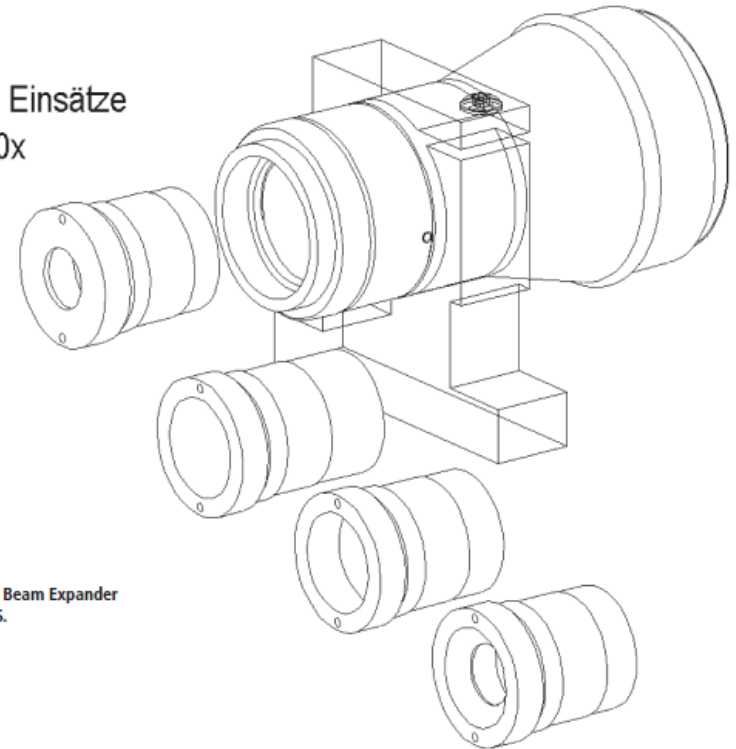


Bild 5:
Modulare Beam Expander
von LINOS.

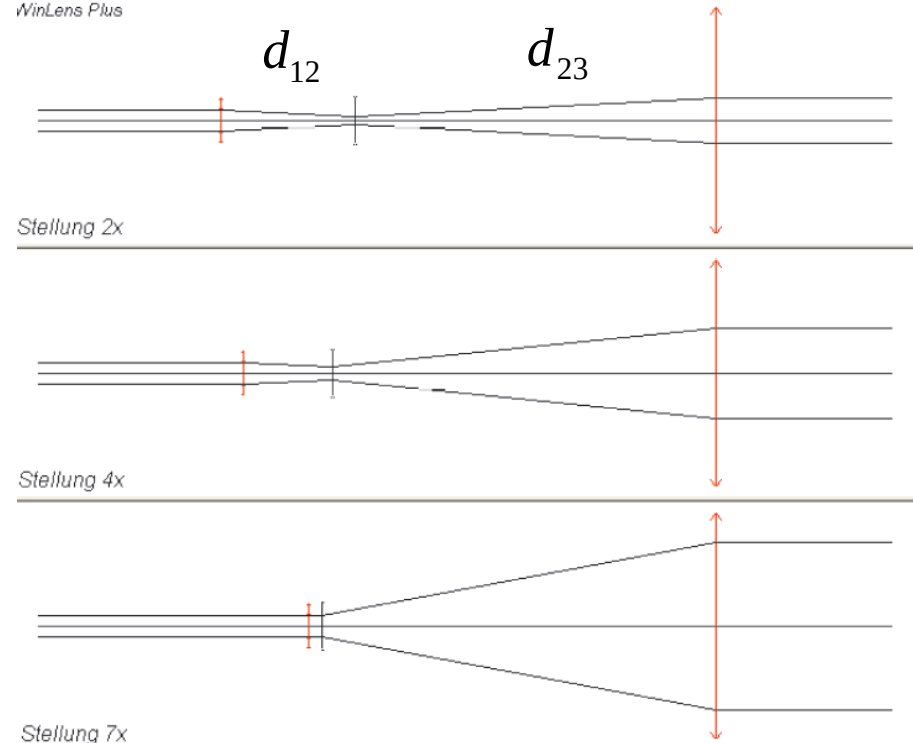
Quelle: Qioptiq

Allgemein [4]:
3-gliedriger afokaler Zoom
mit Vergrößerung Γ

$$d_{12} = f_1 + f_2 + \frac{f_1 \cdot f_2}{f_3 \cdot \Gamma}$$

$$d_{23} = f_2 + f_3 + \frac{f_1 \cdot f_2 \cdot \Gamma}{f_1}$$

WinLens Plus



[4] Fu-Ming Chuang, Ming-Wen Chang: „Solution areas of three-component afocal zoom systems“; Optik 101. No. 1 (1995), S.10-16

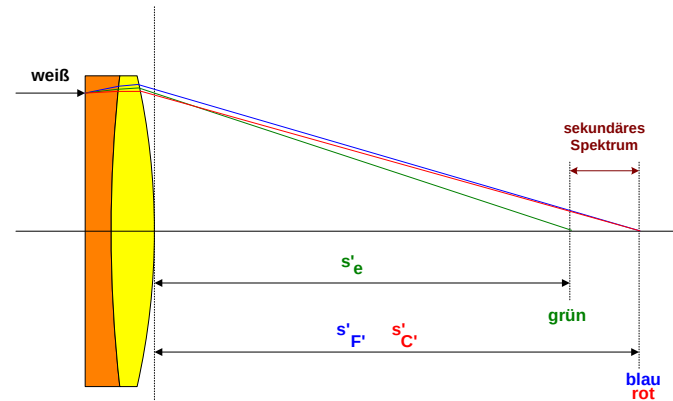
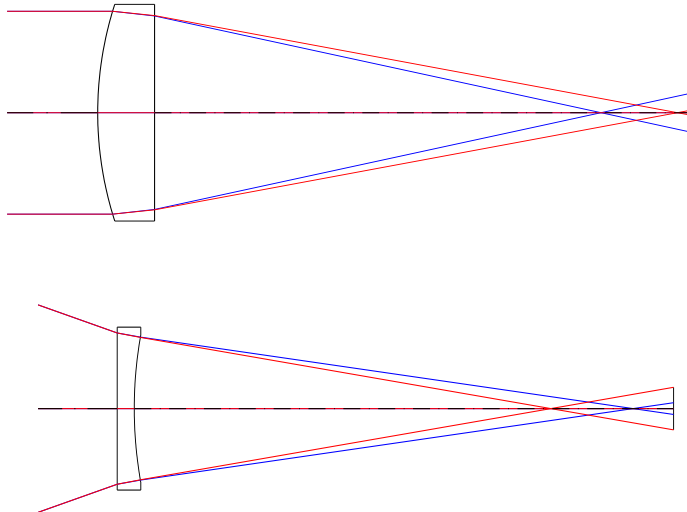
Brechkraft zweier dünner Linsen im Kontakt ist Summe der Einzelbrechkräfte:

$$\varphi = \varphi_1 + \varphi_2$$

Korrektur des Farblängsfehlers bedeutet, dass die Summe der chromatischen Variationen der Brechkraft verschwindet:

$$0 = \Delta\varphi_1 + \Delta\varphi_2 = \frac{\varphi_1}{\nu_1} + \frac{\varphi_2}{\nu_2}$$

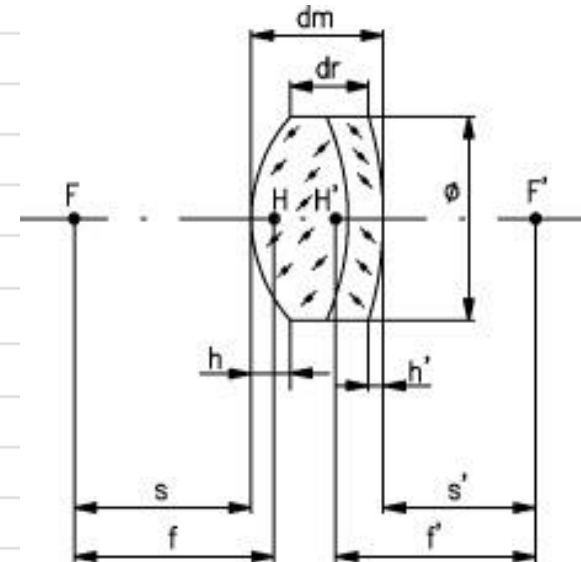
Achromasiebedingung



☐ Achromat 2mm D. x 12mm Brennweite, VIS-NIR beschichtet

#83-981

Durchmesser (mm)	2.00
Toleranz Durchmesser (mm)	+0.0/-0.025
freie Apertur CA (mm)	≥80% of Diameter
Brennweite EFL (mm)	12.00
hintere Brennweite BFL (mm)	11
Toleranz Brennweite (%)	±2
Radius R_1 (mm)	7.2
Radius R_2 (mm)	-7.2
Radius R_3 (mm)	-27.80
Randdicke ET (mm)	1.91
Mittendicke CT 1 (mm)	1.00
Mittendicke CT 2 (mm)	1.00
Toleranz Mittendicke (mm)	±0.1
Zentrierung (Bogenminuten)	30 - 45
Oberflächenqualität	20-10
Fase	Protective bevel as needed
Substrat	S-PHM52/N-LaSFN9



Google play

Suchen

+Alois

Apps

neue Apps

inkaufen

spiele

empfehlungen



SPIE Geometrical Optics Lite

SPIE.org - 14. August 2012

Bücher & Nachschlagewerke

Installiert

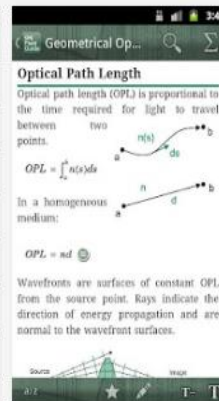
Diese App ist mit Ihrem Gerät kompatibel.

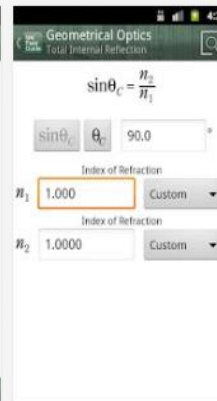
★★★★★ (16)

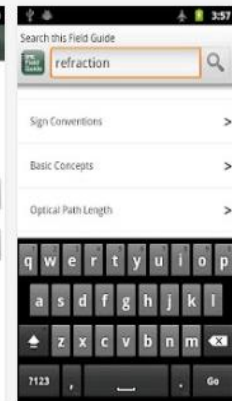
+32 Auf Google empfehlen











Moderne Helferlein



Google play Suchen

Apps

Meine Apps

Einkaufen

Spiele

Empfehlungen

Qioptiq Lens Calculator

Optical Software - 28. Dezember 2013
Lernen

Installieren [Zur Wunschliste hinzufügen](#)

Diese App ist mit Ihrem Gerät kompatibel.

★★★★★ (24) [+34 Auf Google empfehlen](#)

Qioptiq Lens Calculator

Key lens parameters:

- Focal length: 100.0
- Object distance: -500.0
- Image height: 50.0
- Stop radius: 25.0

Results: valid solution

Real Object	Real Image
Focal length	+100.0mm
Object distance	-500.0mm
Image distance	+125.0mm
Magnification	-0.25x
Total track	+625.0mm

Tablet mode: default system

Qioptiq Lens Calculator

Key lens parameters:

- Focal length: 100.0
- Object distance: -500.0
- Image height: 50.0
- Stop radius: 25.0

Results: valid solution

Real Object	Real Image
Focal length	+100.0mm
Object distance	-500.0mm
Image distance	+125.0mm
Magnification	-0.25x
Total track	+625.0mm

Alternative ray-set: 'construction rays option' [aperture is ignored]

Qioptiq Lens Calculator - options

Options for drawing:

- Draw construction lines (construction is ignored)
- Use advanced ray-tracing (trace with high speed)
- Draw field diameter & pupil points

Options for result editing:

- Options results table during result editing
- Allow result editing in single column mode (small screens)

Options for calculations:

- Allow results
- Allow position (input) object distance
- Use advanced option values

Distance between principal planes [mm]: 0.0

Refraction index for object space: 1.00

Refraction index for image space: 1.00

Number of rays for diffraction limit [mm]: 500

Options for depth of field:

Circle of confusion: 0.005

Default design: [Show result](#)

Results: valid solution

Real Object	Real Image
Focal length	+100.0mm
Object distance	-500.0mm
Image distance	+125.0mm
Magnification	-0.25x
Total track	+665.0mm

https://play.google.com/store/apps/details?id=com.raytrace Schneiders Simple Raytrace... x

Google play Suchen +Alois

Apps

Meine Apps

Einkaufen

Spiele

Empfehlungen



Schneiders Simple Raytracer

App.Schneiderey - 26. April 2014

Lernen

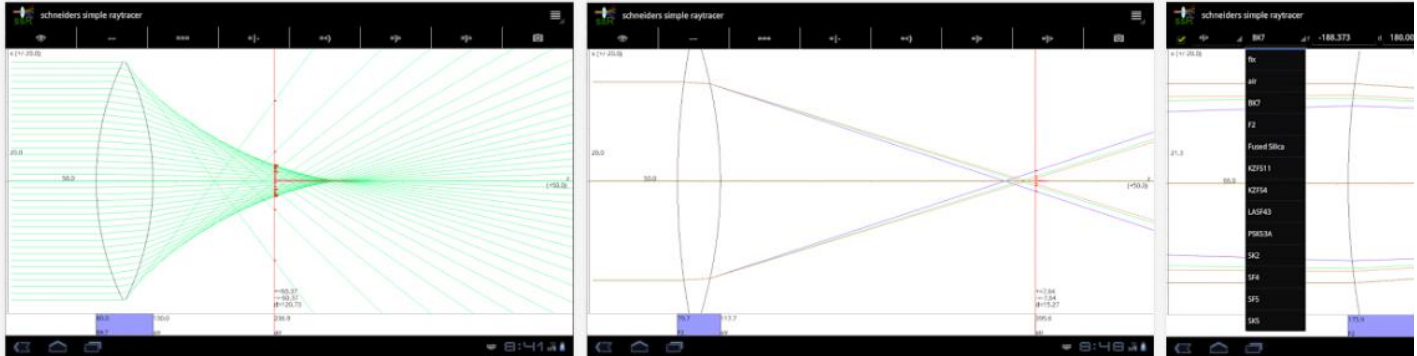
Installieren

Zur Wunschliste hinzufügen

Diese App ist mit Ihrem Gerät kompatibel.

★★★★☆ (7)

+10 Auf Google empfehlen



Zusammenhänge Brennweite, Objekthöhe, Winkel für Unendlich-System

Grundgleichungen

- Brechungsgesetz / Totalreflexion
- Einzellinse, Vergrößerung, Abbildungsgleichung
- Bildfeldwölbung

Konstruktion und Rechnung mit Hauptebenen

Zusammengesetzte Systeme

- Gesamtbrechkraft
- Tele, Retrofokus
- Bildfeldwölbung
- Zoomsysteme
- Achromat, Farbfehler