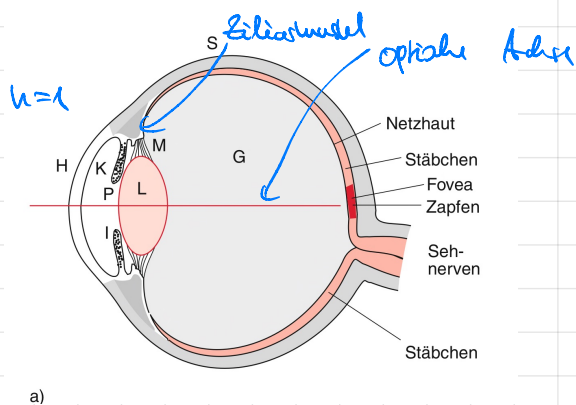


## 7. Optische Instrumente

Optische Instrumente erweitern den Wahrnehmungsbereich des Auges

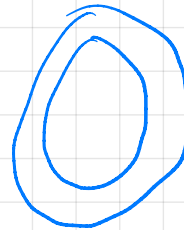
- Vergrößerung (Mikroskop)
- Verstärkung des Intensität (Teleskop)
- Erweiterung des Spektralbereichs

### 7.1 Das Auge

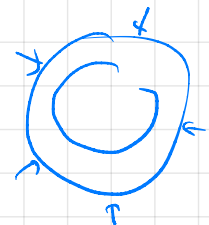


Fokussierung über Ringmuskel

(Ziliarmuskel)  
entspannt



angespannt



Deutlicher

Im entspannten Zustand hat der Ringmuskel den maximalen Durchmesser und zieht die Linse über Faser flach. Vergrößern die Brennweite der Linse und schauen in die Ferne.

Alterskurzsicht: Linse verliert ihre Elastizität und kann nicht mehr gut abgeflacht werden.

Im angespannten Zustand kontrahiert der Ringmuskel und die Linse zieht sich zusammen.

Es wird auf nahe Objekte fokussiert.

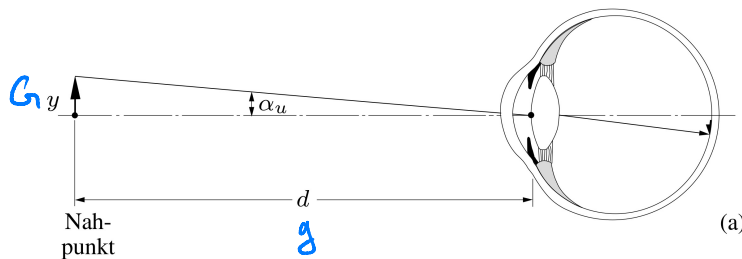
Kurzsichtigkeit: Die Linse zieht nicht genug zusammen.

Als Kind  $d_{\text{min}} \approx 10 \text{ cm}$   
Mit 60  $d_{\text{min}} \approx 200 \text{ cm}$

Standard-Nahpunkt bei  $\approx 25 \text{ cm}$

Def.:  $S_0 = 25 \text{ cm}$

Mit diesem Nahpunkt  $S_0$  wollen wir unser optisches Instrument vergleichen.



Hecht

Schwerfeld  $\alpha$  bei  $S_0 = g = 25 \text{ cm}$

$$\alpha \approx \tan \alpha = \frac{G}{g}$$

$$\alpha \approx \frac{G}{g}$$

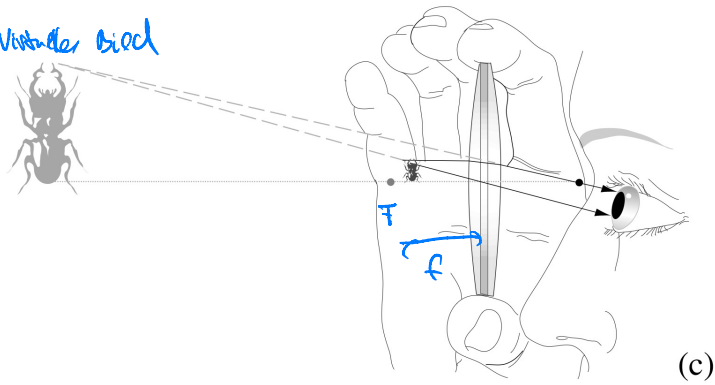
Schwerfeld mit Normalsehnd 25 cm  $\alpha = \frac{G}{25 \text{ cm}}$

7.2 Die Lupe

Winkelvergrößerung

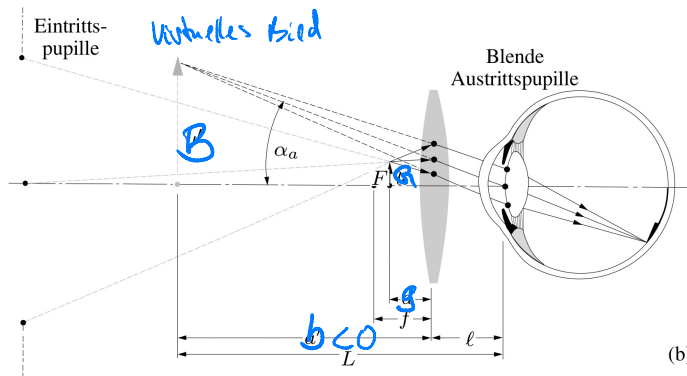
$$V = \frac{\text{Schwerfeld } \alpha \text{ mit Instrument}}{\text{Schwerfeld } \alpha \text{ ohne Instrument}}$$

Virtuelles Bild



(c)

Hedst



(b)

Hedst

$$V_L = \frac{\alpha_L}{\alpha_o} = \frac{B/L}{G/s_o} = - \frac{b G s_o}{G L g} = - \frac{b s_o}{g L}$$

$$\text{mit } \frac{1}{g} + \frac{1}{b} = \frac{1}{f} \Rightarrow V_L = \left(1 - \frac{b}{f}\right) \frac{s_o}{L}$$

$$\text{mit } b = -(L - l) \quad V_L = \frac{s_o}{L} \left(1 + \frac{1}{f}(L - l)\right)$$

$L = \infty$  entspanntes Bild ins unendliche

$$V_L = \frac{s_o}{f}$$

Seespid : Lupe mit  $D = 10 \text{ dpt}$   $f = 0.1 \text{ m}$

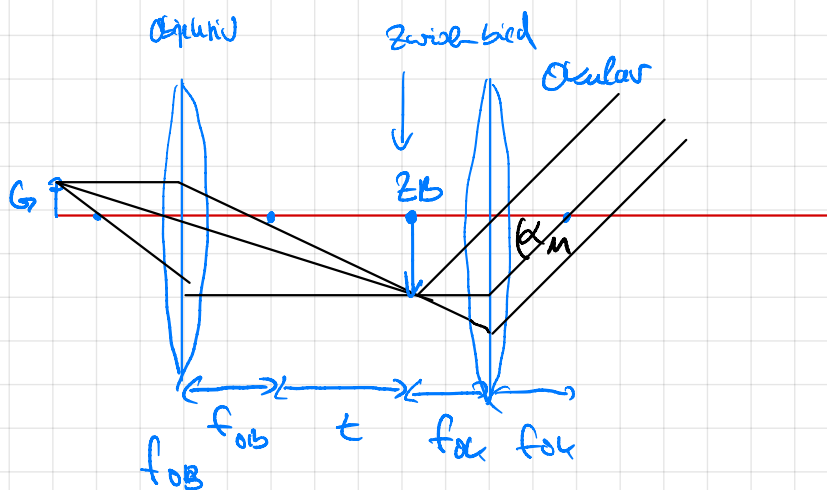
$$V_L = 2,5$$

## 7.3 Das Mikroskop

Linzensystem aus zwei Linse:

Objektiv: Linse nahe an zu beobachtendes Objekt

Ocular: Linse nahe an Auge



Vergrößerung

$$V_M = \beta_{OB} \cdot V_{OK}$$

↑  
Vergrößerung  
reales Zwischenbild

↑  
Vergrößerung der  
Ocular analog  
zur Lupe mit  $L=\infty$

$$\beta_{OB} = -\frac{b}{g} = -\frac{b - f_{OB}}{f_{OB}} = -\frac{t}{f_{OB}} \quad \leftarrow \text{Tubuslänge}$$

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

$$V_M = -\frac{t}{f_{OB}} \cdot \frac{s_0}{f_{OK}}$$

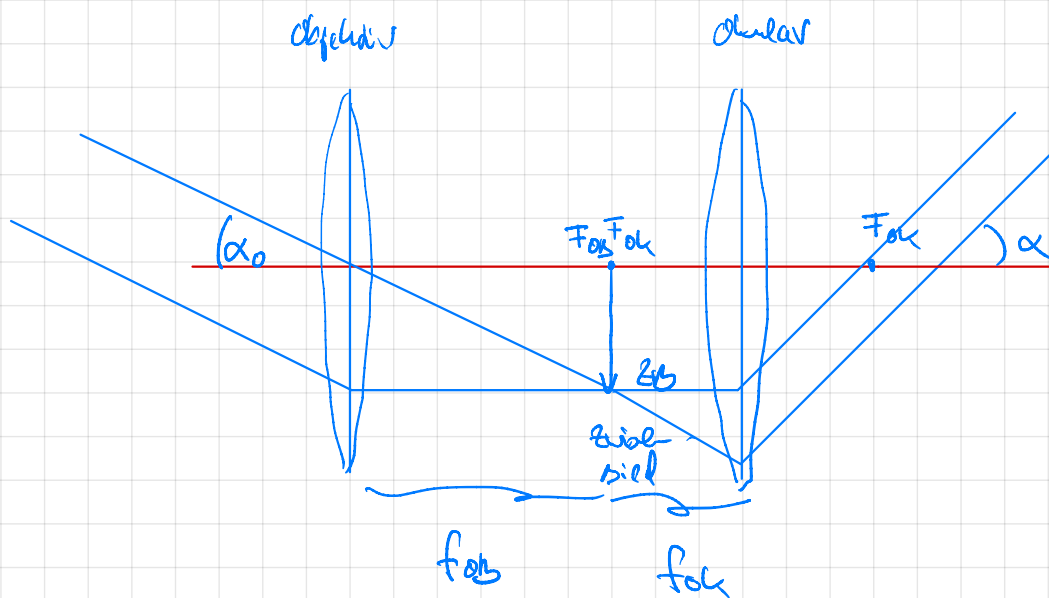
Vergrößerung des  
Mikroskops



## 7.4 Das Fernrohr

Vergleich der Beobachtung eines sehr weit entfernten Objekts mit und ohne optisches Instrument.

Im Idealfall ist der Gegenstandsabstand  $G = \infty$ .  
Wie können wir dann in der Zeichnung die Vergrößerung bestimmen?



Keplersche Fernrohr besteht aus zwei Sammellinsen.  
Objektiv hat eine größere Brennweite gegenüber dem Okular.

$$\alpha_0 = - \frac{z_b}{f_{\text{obj}}}$$

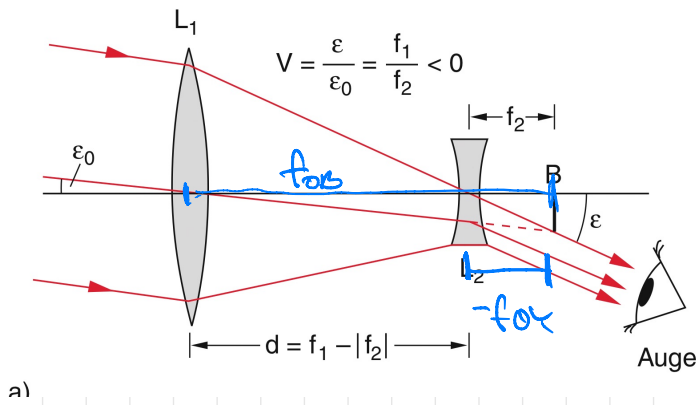
$$\alpha = \frac{z_b}{f_{\text{ok}}}$$

Vergrößerung  $V_F = \frac{\alpha}{\alpha_0} = - \frac{f_{\text{obj}}}{f_{\text{ok}}}$

$$f_{\text{obj}} \gg f_{\text{ok}}$$

inverted,  
Bild steht  
auf dem Kopf!

# Das Hollandische Fernrohr oder Galileische Fernrohr



$$V_F = \frac{\alpha}{\alpha_s} = -\frac{f_{\text{obj}}}{f_{\text{ok}}} \approx 0$$

↑  
negativ

Der Teleskop

Bild steht aufrecht?

Welche die Vergrößerung liefert das Teleskop auch der Aufgabe, mehr Licht zu sammeln?

Gesammelte Lichtmenge  $\propto \pi N_t^2$

$N_t$  Radius der Eintrittsöffnung

$N_a$  Radius der Pupille des menschlichen Auges

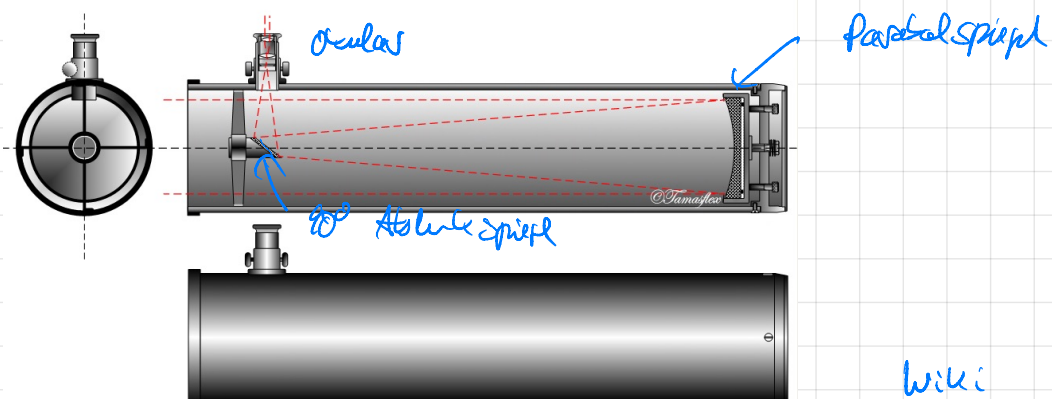
Verhältnis der Eintritts

$$\frac{N_t^2}{N_a^2}$$

Verhältnis der Intensitäten

$$\frac{N_t^2}{N_a^2} \left( \frac{1}{V_F} \right)^2$$

Typische Linsenburcher bis  $\phi \approx 150 \text{ mm}$ .

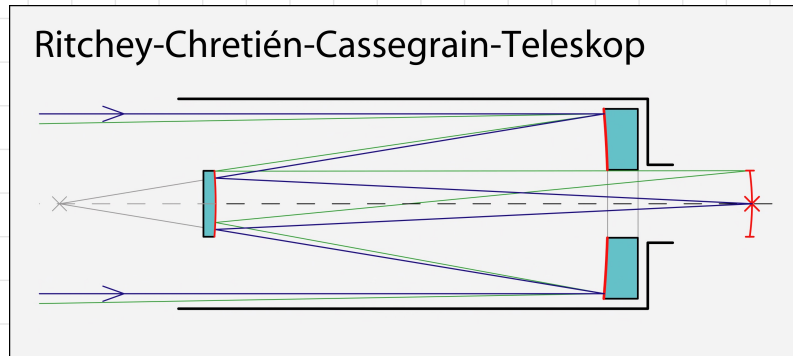


Wiki

## Newtonsche Teleskop

Parabolspiegel als Primärspiegel mit großer Brennweite  
Sekundärspiegel, der den Strahlengang leicht  $90^\circ$  ablenkt.

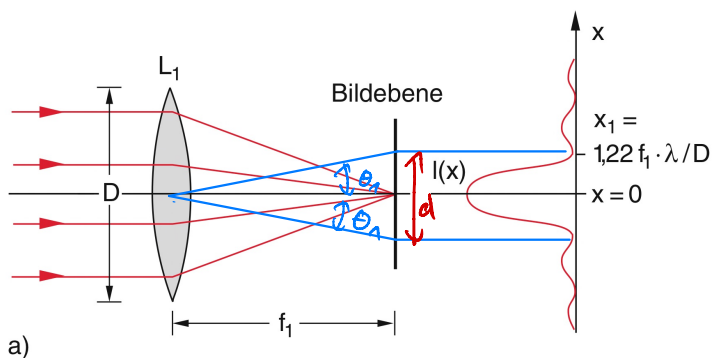
Frei von sphärischen Aberrationen und chromatischen Fehlern.



WIKI:

Kurze Bauhöhe, Fokuspunkt zerstreut  
in der Hauptachse hinter den Primärspiegel  
zu bekommen.

## 7.5 Das Auflösungsvermögen



a)

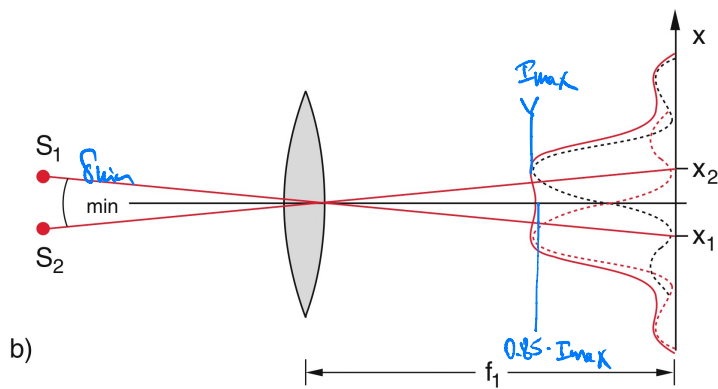
Abg. Beugung an der  
Lichtblende

$$\sin \theta_1 = 1,22 \lambda / D$$

$$d = 2 \cdot f \cdot \sin \theta_1$$

Beiträge

$$d = 2,44 f \cdot \lambda / D$$



kleinster noch auflösbarer

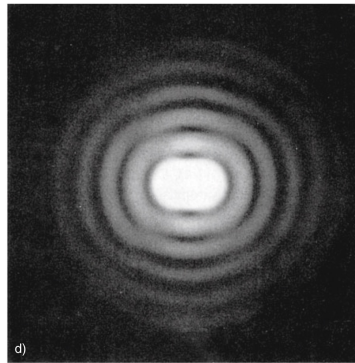
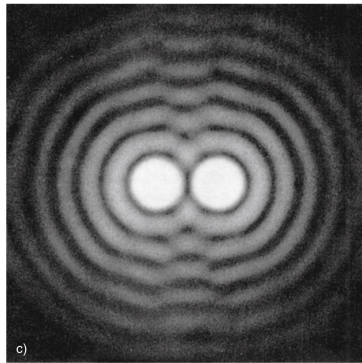
Winkelabstand

$$\theta_{\min} \approx \sin \theta_1 = 1.22 \cdot \lambda / D$$

Deutlicher

$$\theta > \theta_{\min}$$

$$\theta = \theta_{\min}$$



Rayleigh  
Grenze

$$\theta_{\min} = 1.22 \cdot \lambda / D$$

Deutlicher

Beispiel : - Hubble Teleskop

$$D = 2.4 \text{ m}$$

$$\theta_{\min} @ 500 \text{ nm} = 2.5 \times 10^{-7} \text{ rad}$$

$$\hat{=} \Delta x \approx 100 \text{ m auf dem Mond (Abstand 380000 km)}$$

$$\text{- Auge } D = 2 \text{ mm } f = 25 \text{ mm}$$

$$\lambda = 550 \text{ nm } n = 1.33 \text{ (Augapfel)}$$

$$\rightarrow a \approx 413 \text{ nm}$$

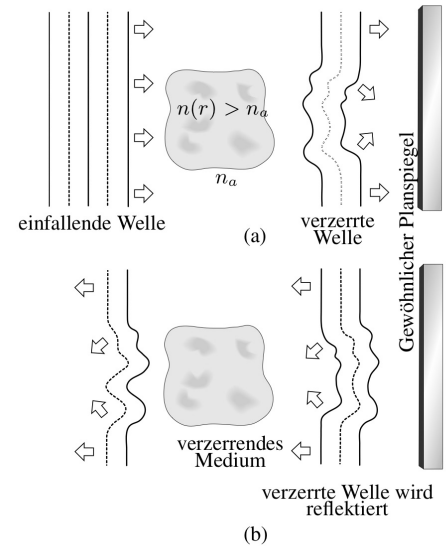
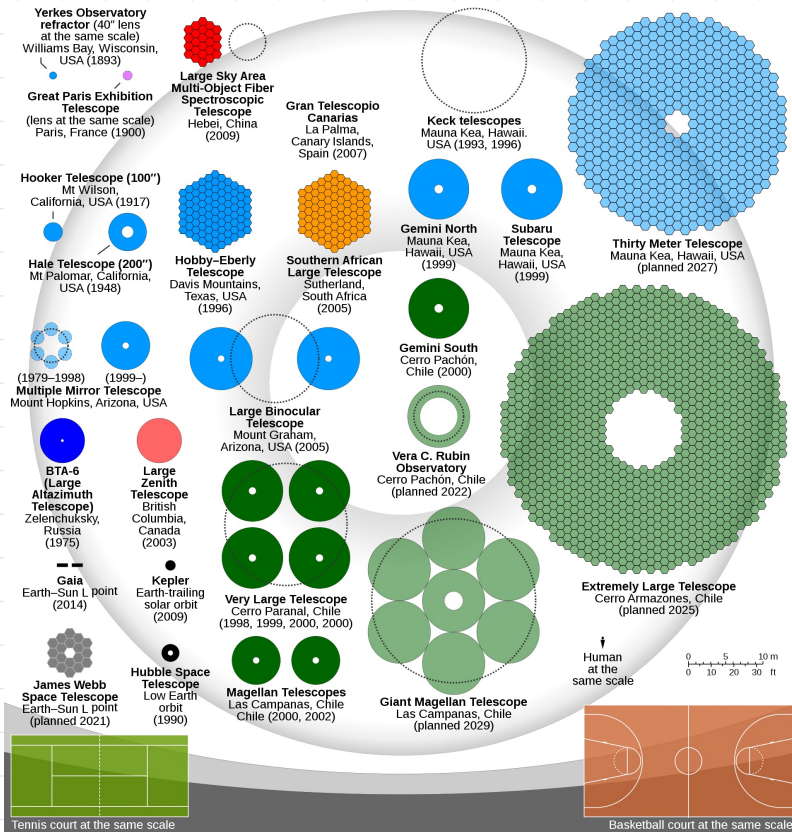
$$\theta_{\min} \approx 3 \cdot 10^{-4} \text{ rad} \approx 1' \text{ (Bogenminuten)}$$

$$\Delta x_{\min} = s \cdot \theta_{\min} = 25 \text{ cm} \cdot 2\pi / 360 \cdot 60 = 72 \mu\text{m}$$

Wie können Objekte noch bis zu dem Abstand von 72  $\mu\text{m}$  aufgelöst werden (bei Betrachtung mit Normalabstand 25 cm).

$\rightarrow$  Dies entspricht auf der Netzhaut in etwa der

# Spiegelteleskope



## Hilf

### Wiki

bei der astronomischen Beobachtung spielen die Lichtwellenfronten eine wichtige Rolle, in der sie die Wellenfronten verformen.

Adaptives Optics: Verformung des Spiegels zur Ausgleich der Verzerrung der Wellenfronten.

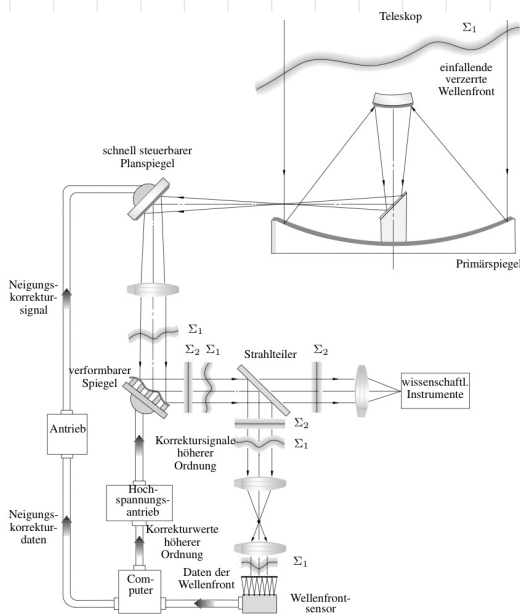
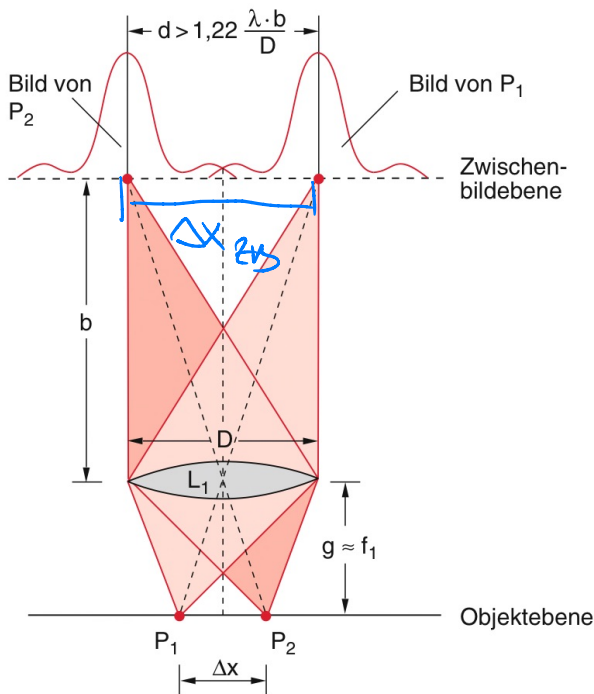


Bild 5.127: Ein adaptives optisches System. Die verzerrte Wellenfront  $\Sigma_1$  wird analysiert und umgeformt. Die korrigierte ebene Wellenfront wird zu den wissenschaftlichen Instrumenten gelenkt.



**Abbildung 11.18** Zur Herleitung des Auflösungsvermögens eines Mikroskops

Für Beugungsgrenze  
sehen wir wieder die  
Rayleigh-Bedingung ein:

$$\Delta x_{2B} = \delta_{\min} \cdot b$$

$$\delta_{\min} = 1.22 \lambda / D$$

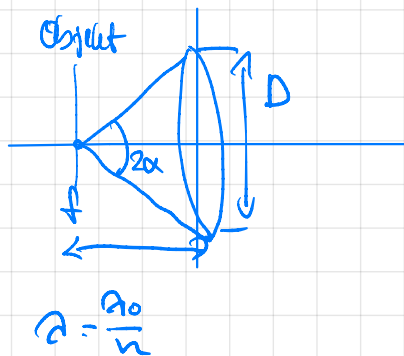
$$\Delta x = \Delta x_{2B} \cdot g / b$$

$$\Rightarrow \Delta x_{\min} = 1.22 \lambda \cdot g / D$$

Deutlich

mit  $g \approx f$

$$\Rightarrow \Delta x_{\min} = 1.22 \lambda \cdot f / D$$



$$2 \sin \alpha = D / f$$

$$\Delta x_{\min} = 1.22 \lambda \cdot \frac{f}{D} = 1.22 \frac{D_0}{n 2 \sin \alpha}$$

$$= 0.61 \frac{D_0}{NA}$$

NA Numerische Apertur,  $NA = n \sin \alpha$

Hochwertige Auflösung (kleines  $\Delta x_{\min}$ )

1. Wäre  $\sin \alpha$  groß

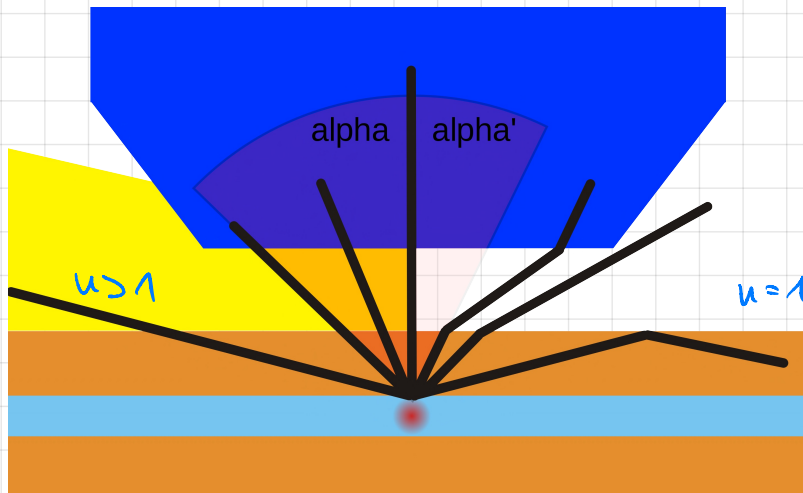
Plan-Konvexe Linse als Objektiv mit

Plan-Seite zu Objekt.

2. Wäre größer  $n$

Füge eine Flüssigkeit mit großer Brechzahl

$n$  zwischen Objekt und Objektiv ein.

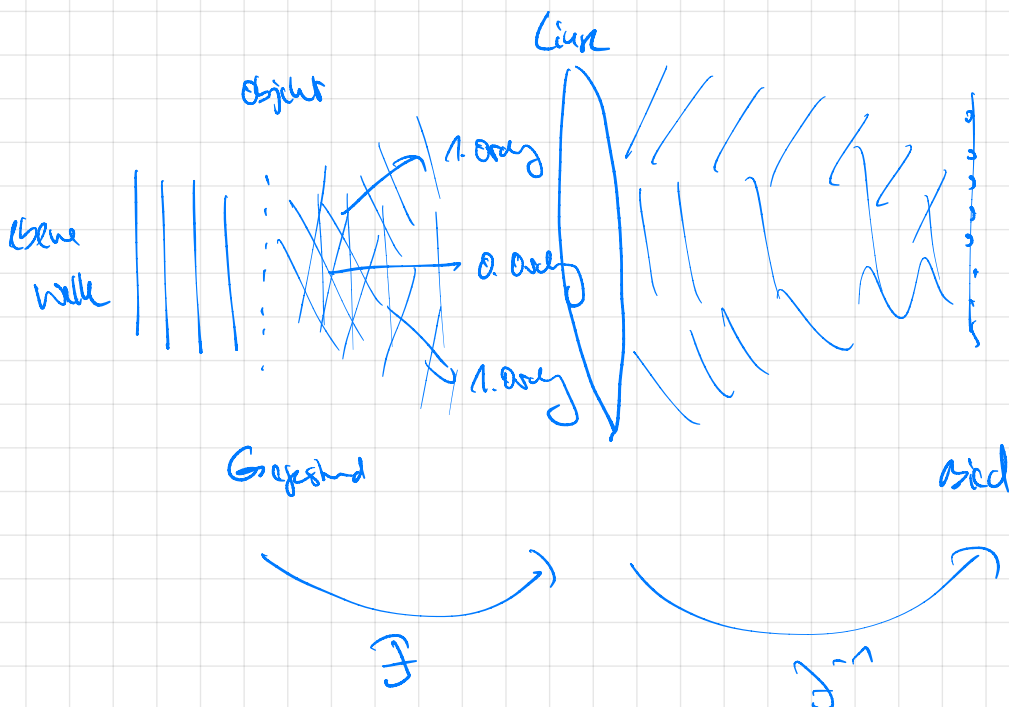


Wiki:

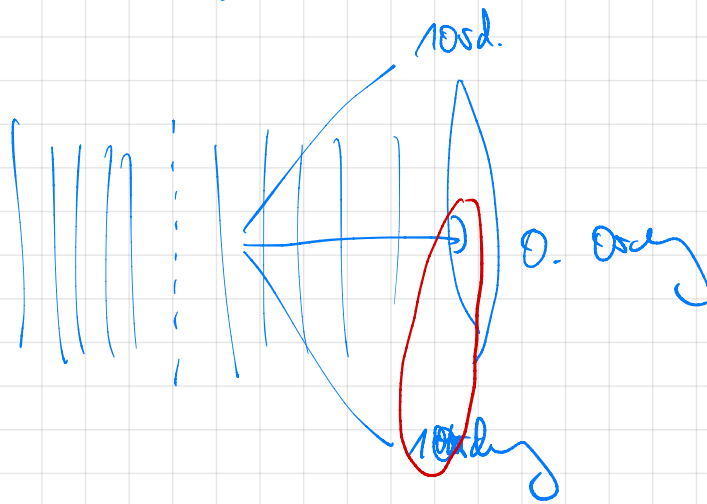
Einführung in die Abstrakte Abbildungslehre  
1873

Ein Objekt wird als Superposition von periodischen Strukturen beschrieben.

→ Fourier-Transformation



Endlicher Raum würde die Linie beschreiben die  
 Fokus-Transformierte des Objekts im "Rezeptor-Raum"  
 1kl sind.



Off-Axis Betrieb  
 wie Linse

→ Doppelte Auflösung