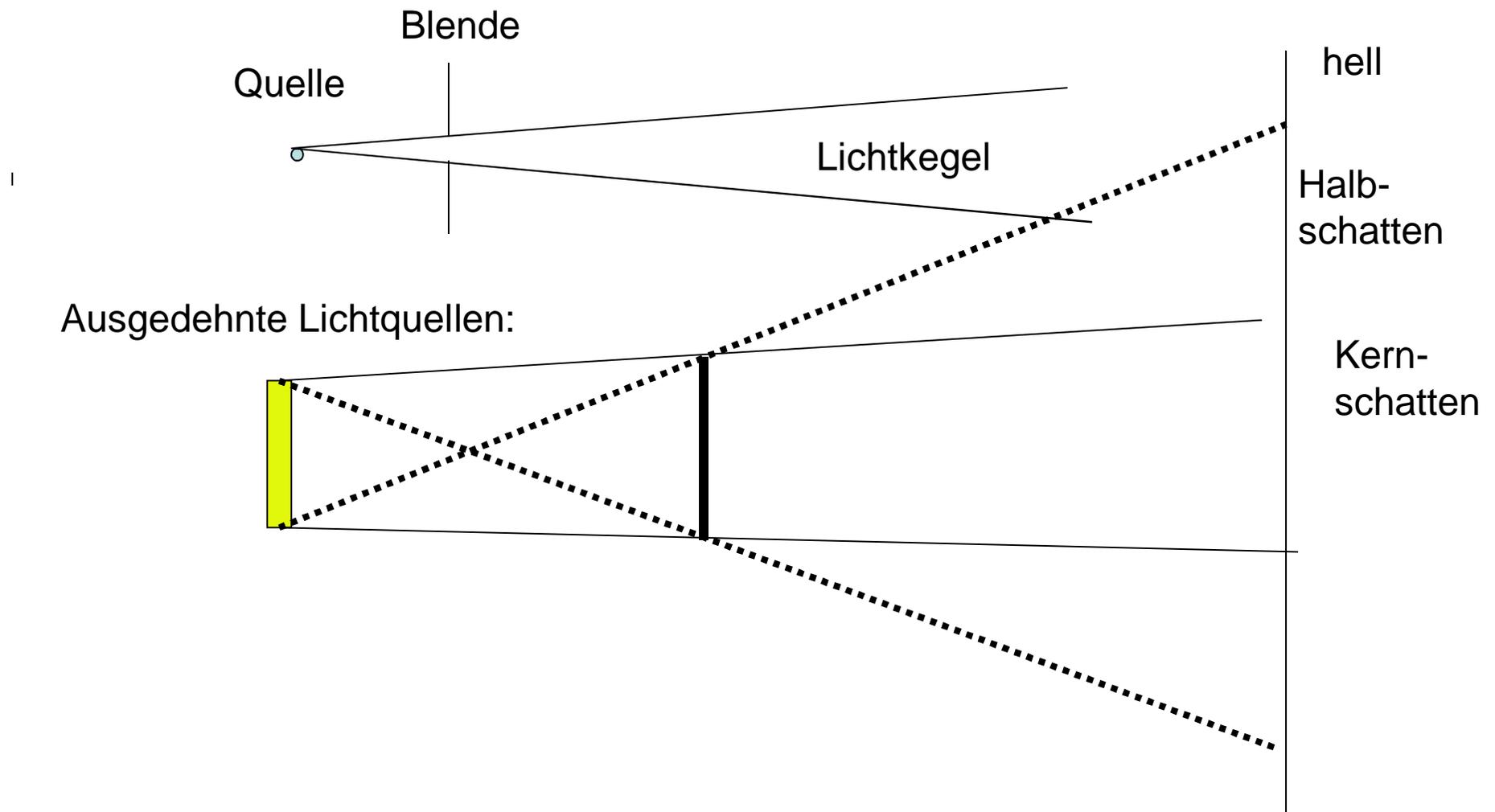


2. Geometrische Optik

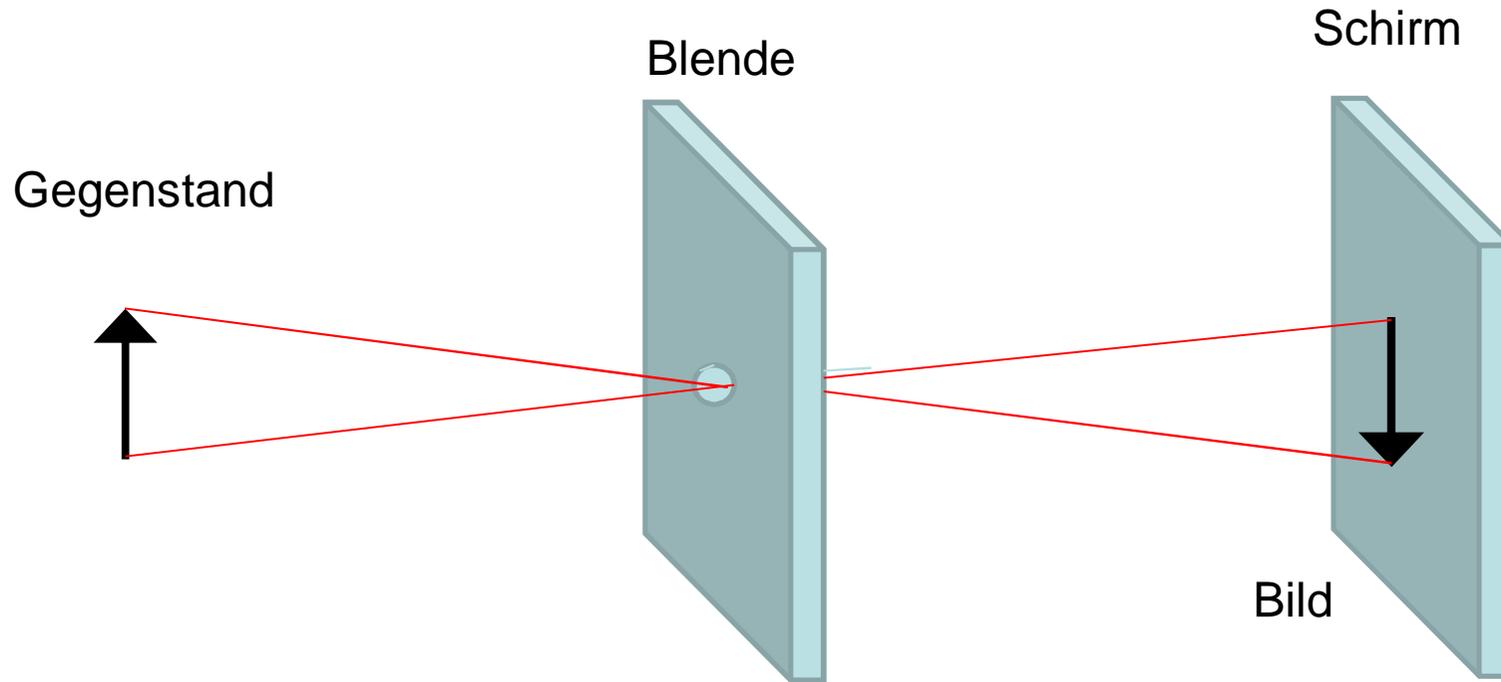
Abmessungen der begrenzenden Öffnungen und Hindernisse \gg Wellenlänge des Lichts

2.1 Ausbreitung des Lichts

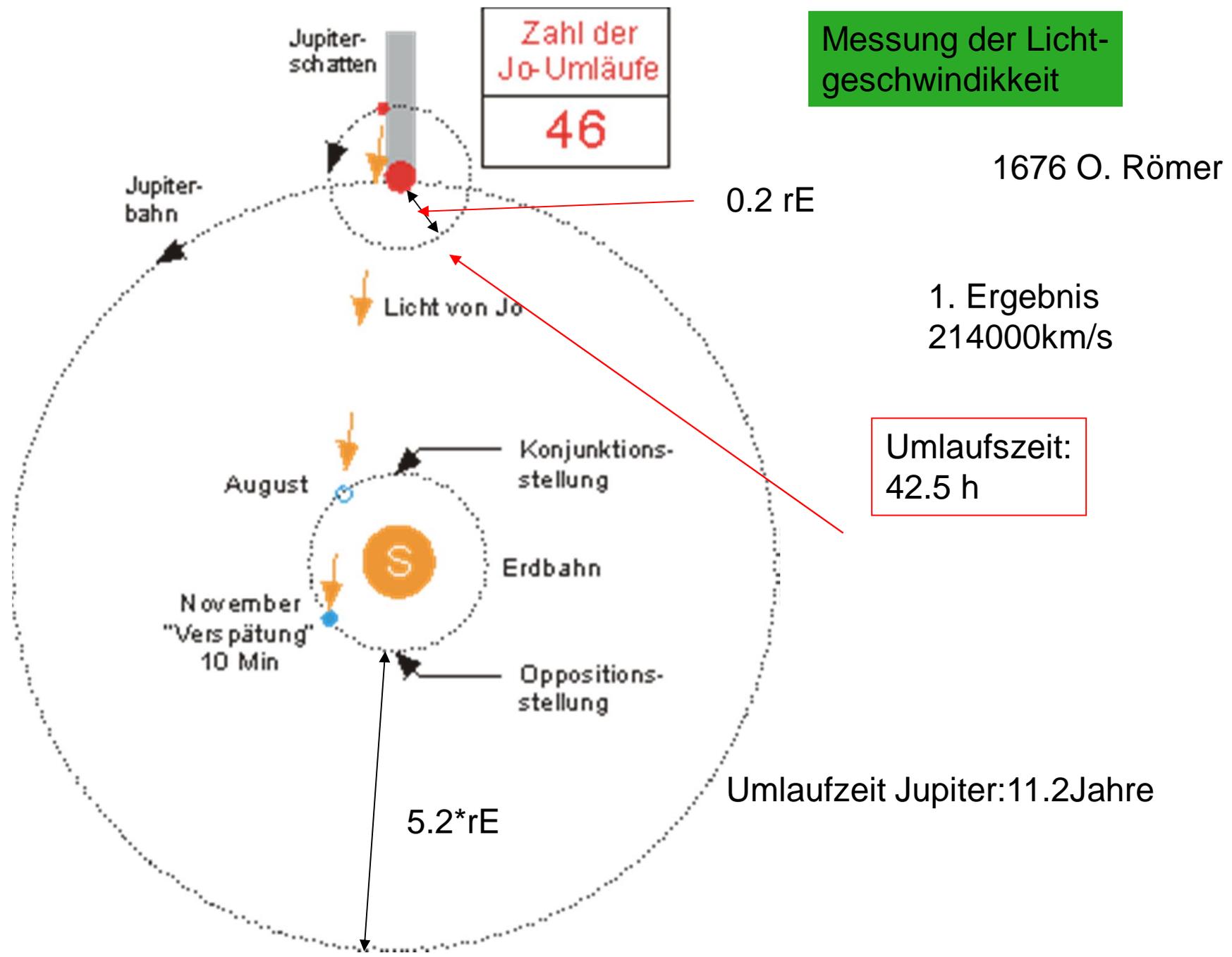
Licht breitet sich geradlinig aus!



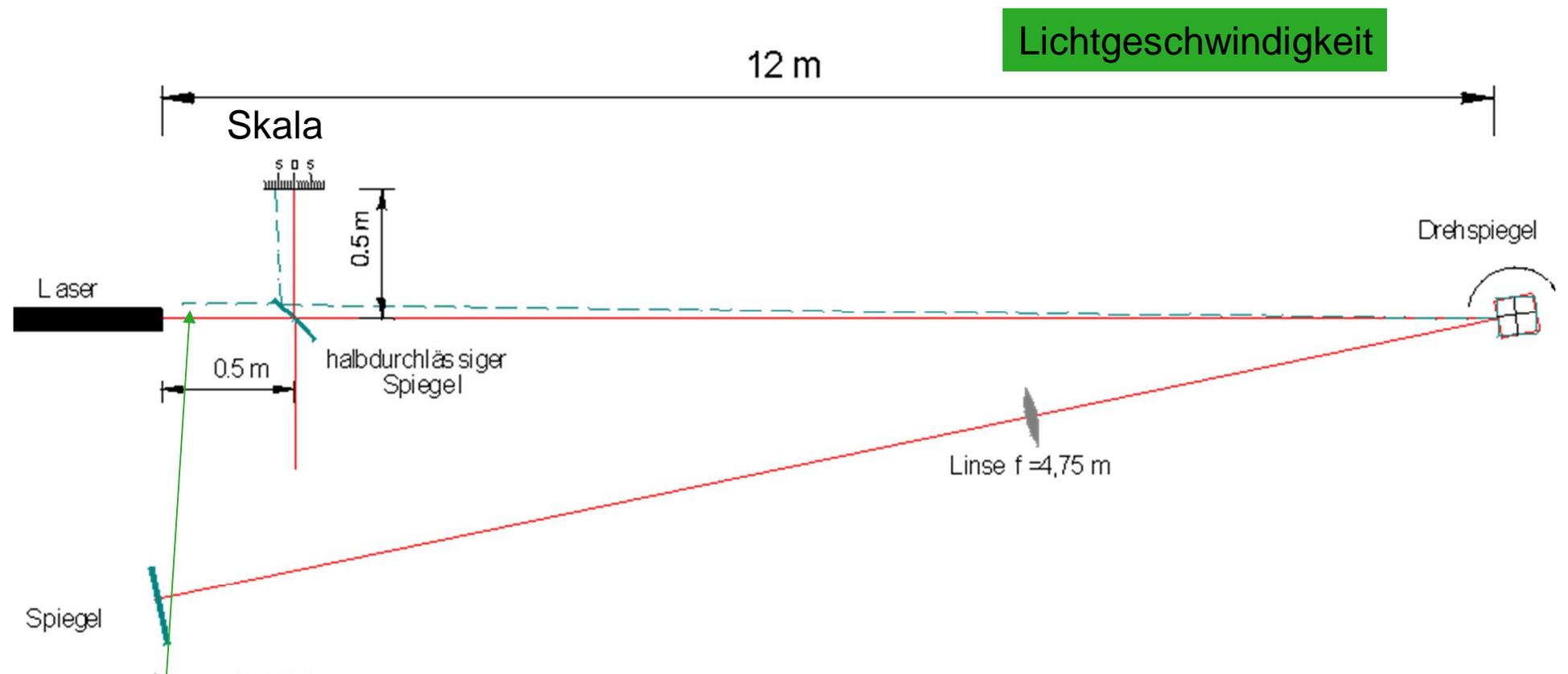
Lochkamera



Je enger das Loch, desto schärfer das Bild



Lichtgeschwindigkeit



$$= \frac{0.006m}{24m} = 0.00025rad = 25 * 10^{-5} rad$$

$$= \frac{25 * 10^{-5}}{500 * 2\pi} = \frac{25}{\pi} * 10^{-8} s$$

$$\frac{24m}{\frac{25}{\pi} * 10^{-8}} = 301440000ms^{-1} \sim 300000kms^{-1}$$

L = 12 m = Messstrecke

$\Delta\Theta$ = Drehwinkel

t = Zeit

n = 500s⁻¹ = Drehzahl

ω = Kreisfrequenz = 2 π * n

v = Geschwindigkeit

c = 299792458 ms⁻¹

Prinzip von Fermat

Ausdehnung des Lichts folgt einem Extremalprinzip:
Das Licht nimmt zwischen zwei Punkten A und B den kürzesten Lichtweg

Im freien Raum geradlinig

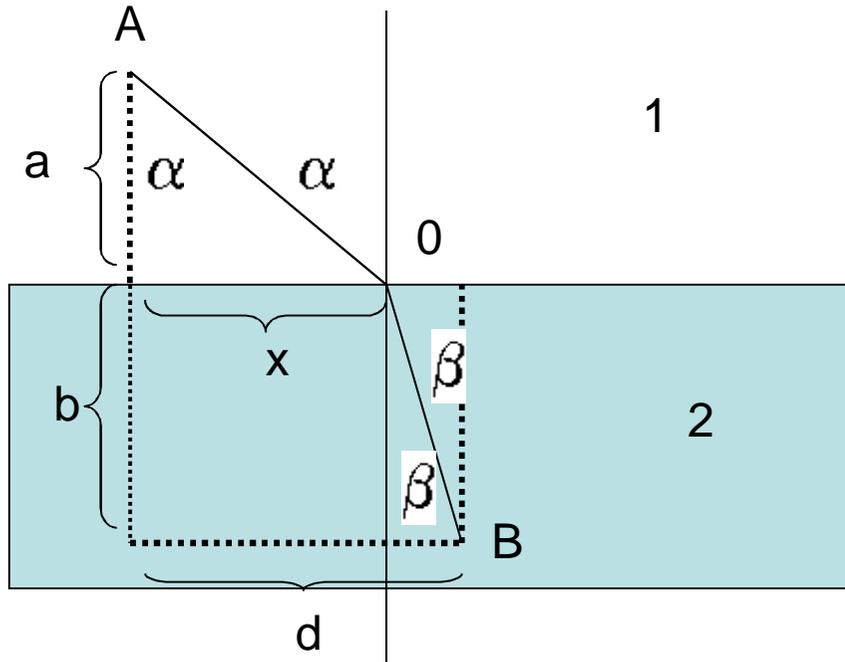


Zeit: $A \rightarrow B$

$$T(x) = \frac{AO}{c_1} + \frac{OB}{c_2}$$

$$= \frac{1}{c_1} \sqrt{a^2 + x^2} + \frac{1}{c_2} \sqrt{b^2 + (d-x)^2}$$

Zwei Medien:



So, dass T minimal

$$\frac{dT}{dx} = \frac{1}{c_1} \frac{x}{\sqrt{a^2+x^2}} - \frac{1}{c_2} \frac{d-x}{\sqrt{b^2+(d-x)^2}}$$

$\sin \alpha$
 $\sin \beta$

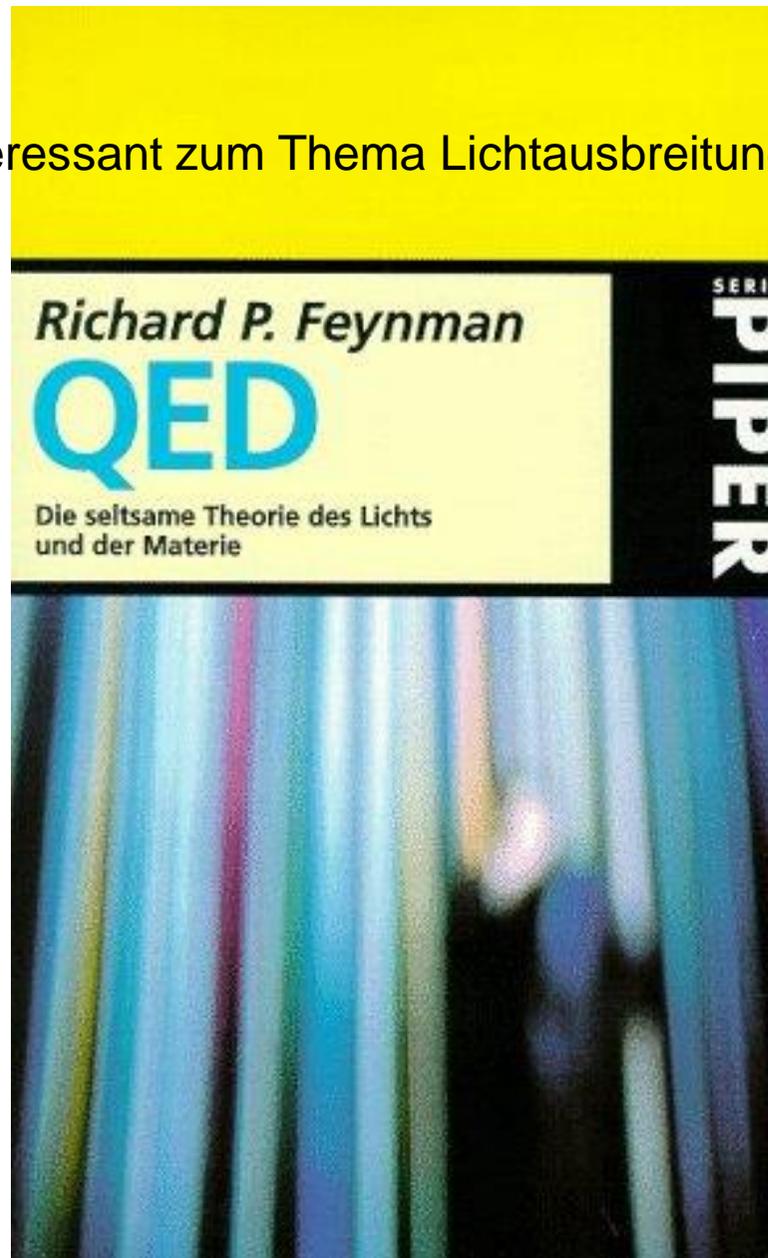
$$\frac{dT}{dx} = \frac{\sin \alpha}{c_1} - \frac{\sin \beta}{c_2}$$

$$\frac{dT}{dx} = 0$$

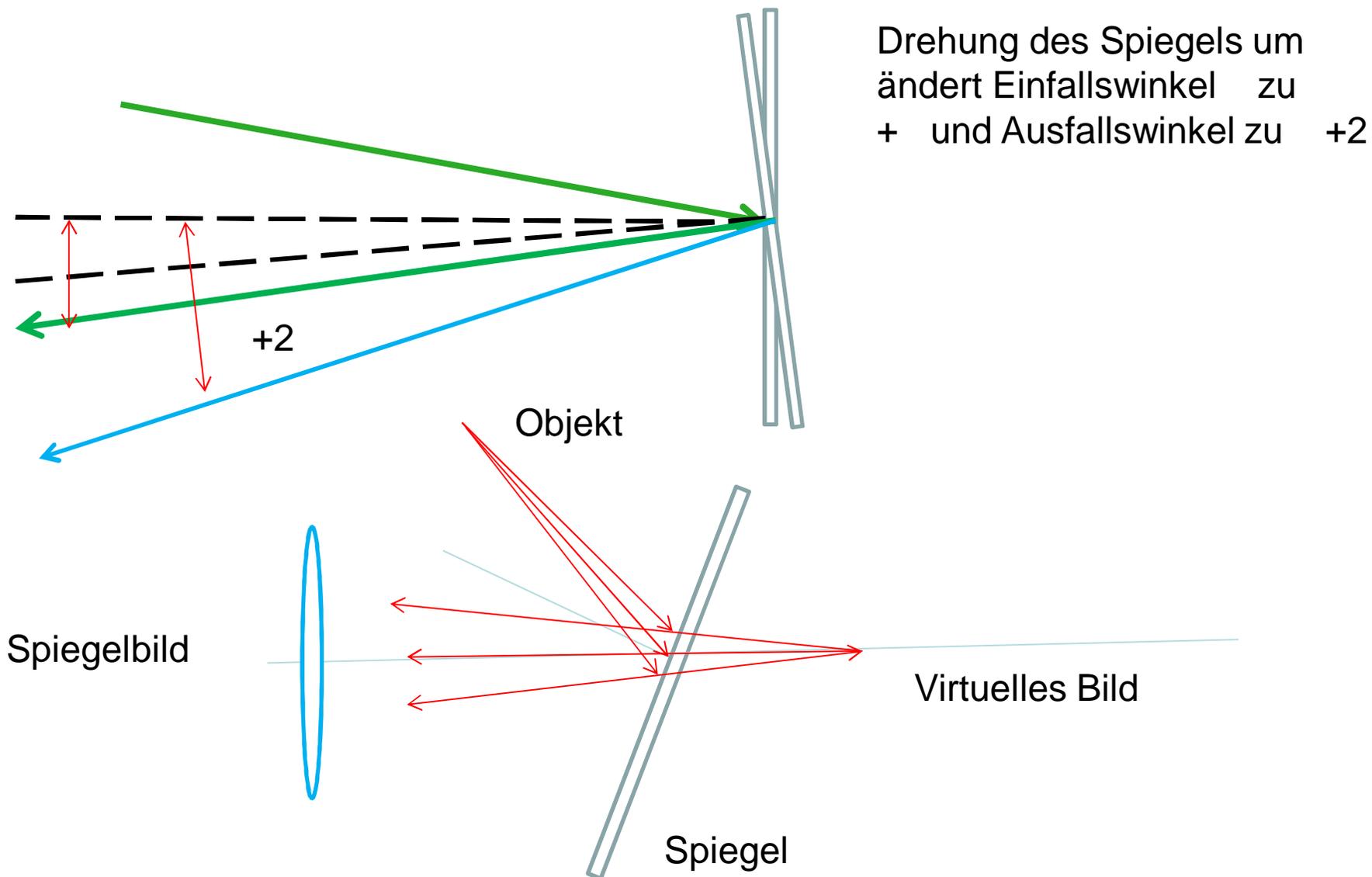
$$\frac{\sin \alpha}{\sin \beta} = \frac{c_1}{c_2}$$

$$\frac{c_1}{c_2} = \frac{n_2}{n_1} \quad n = \frac{c_0}{c}$$

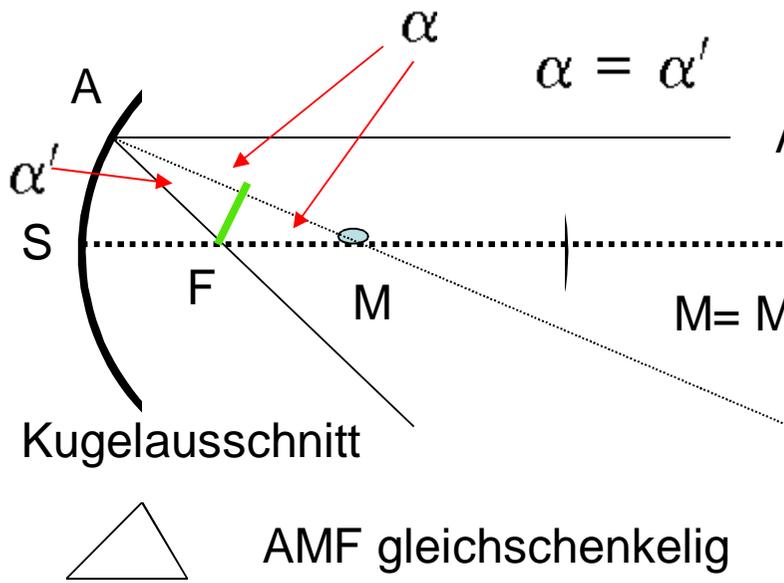
Interessant zum Thema Lichtausbreitung



2.3 Reflexion



Reflexion an gekrümmter Fläche:



Sphärischer Hohlspiegel
 Achsenparalleler Strahl

Optische Achse

M= Mittelpunkt des Hohlspiegels

R= Radius

$$\cos \alpha = \frac{\frac{R}{2}}{MF}$$

$$\overline{MF} = \frac{R}{2 \cos \alpha} = \frac{R}{2 \sqrt{1 - \sin^2 \alpha}}$$

Bei kleinen Einfallswinkeln:

$$\sin \alpha \approx 0$$

$$\cos \alpha \approx 1$$

$$\overline{MF} = \frac{R}{2}$$

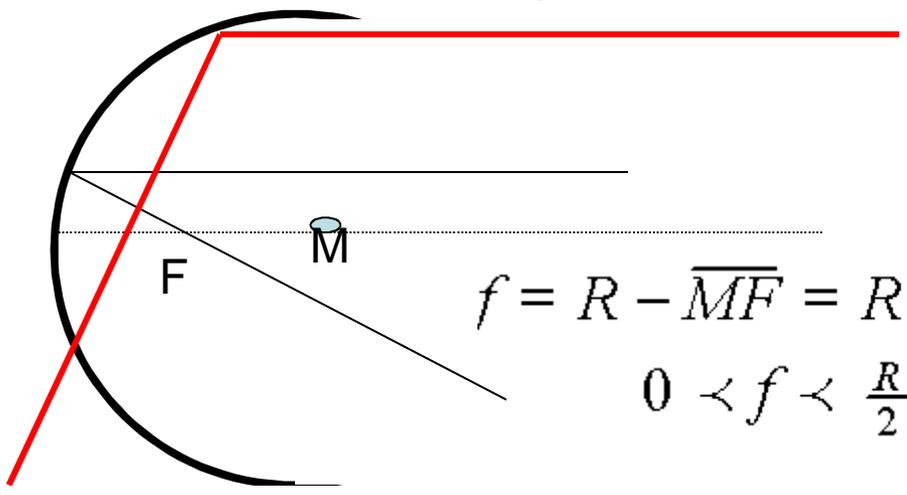
Alle reflektierten und achsennahen Strahlen gehen durch F:

Brennpunkt

$$\overline{SF} \approx f$$

Achsenferne Strahlen

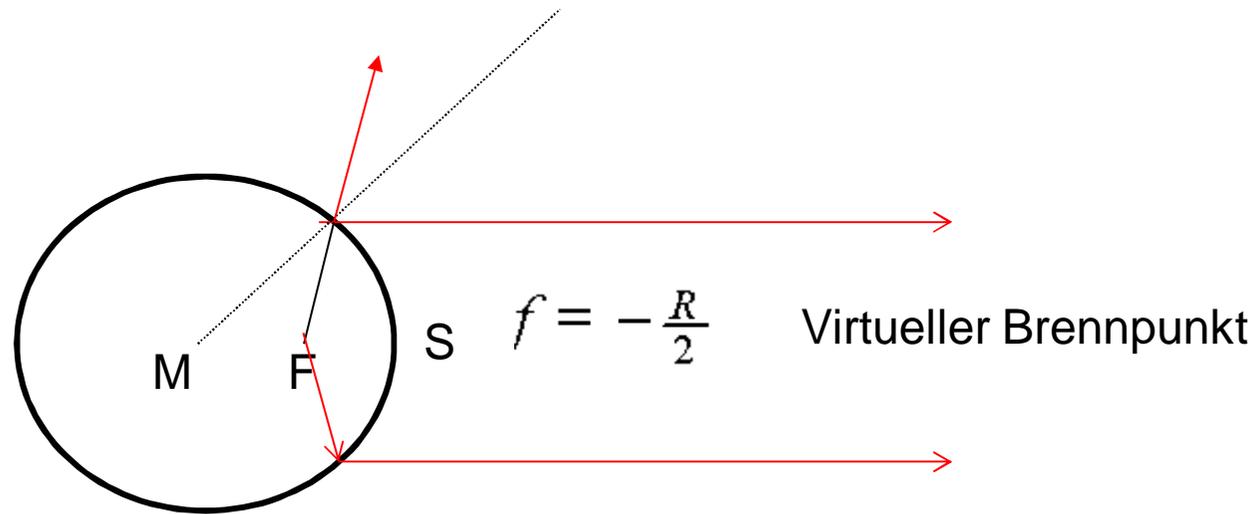
Kaustik des Hohlspiegels



$$f = R - \overline{MF} = R \left[1 - \frac{1}{2 \cdot \cos \alpha} \right]$$

$$0 < f < \frac{R}{2}$$

Spärrischer Konvexspiegel



2.4 Abbildung mit Hohlspiegel

$$\tan \alpha = \frac{G}{g} = \frac{b}{g} \quad B = \frac{b}{g} G$$

Abbildungs-
gleichung

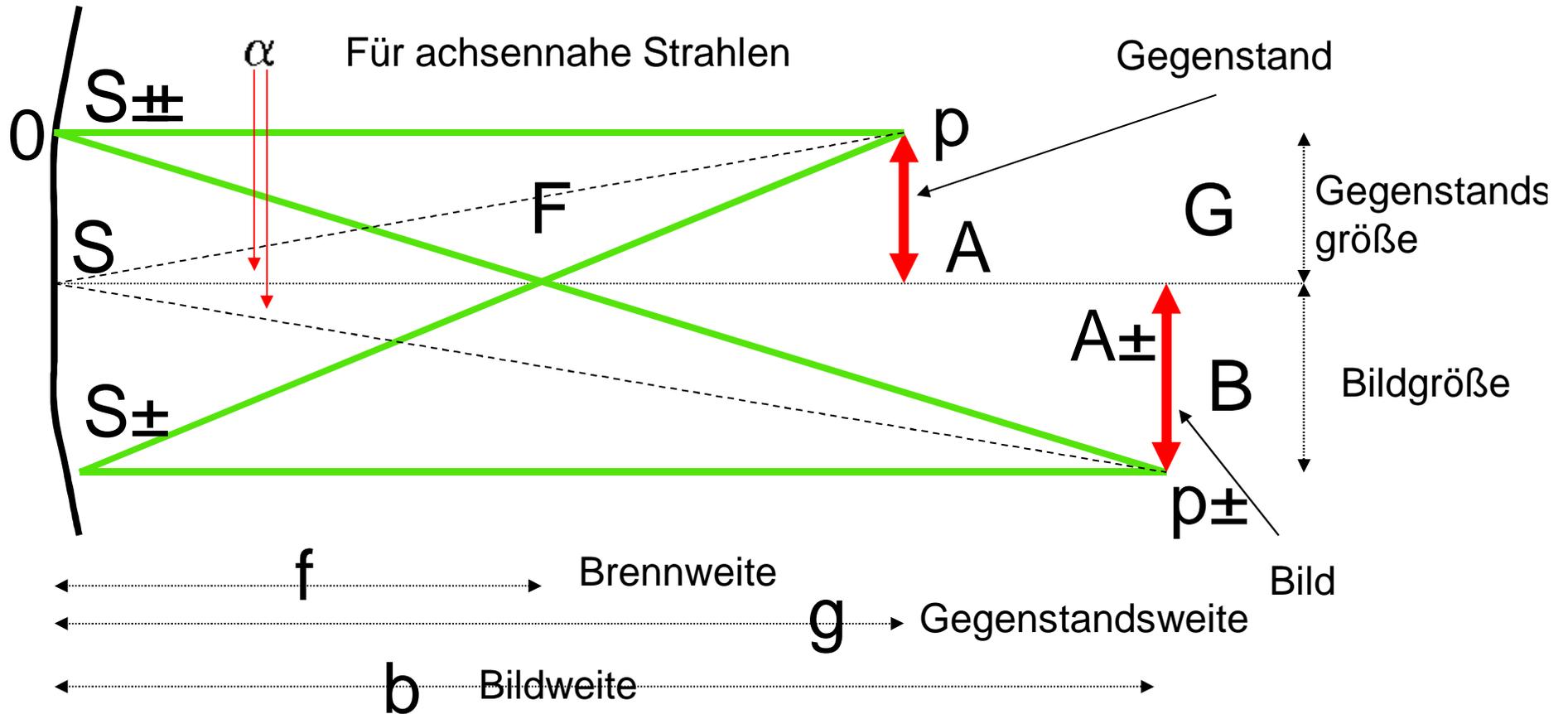
$$\frac{G}{f} = \frac{B}{b-f}$$

$$\frac{B}{G} = \frac{b-f}{f}$$

$$\frac{b}{g} = \frac{b-f}{f}$$

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

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

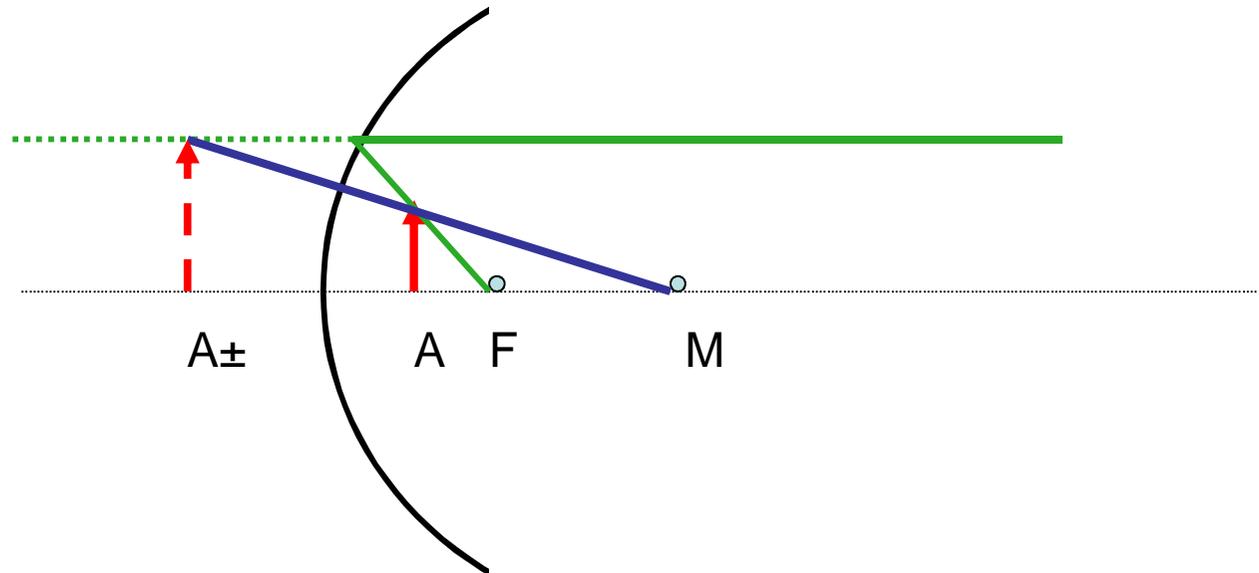


3 Fälle: a) $\infty > g > R \rightarrow f < b < R$

Reelles, umgekehrtes Bild
(verkleinert)

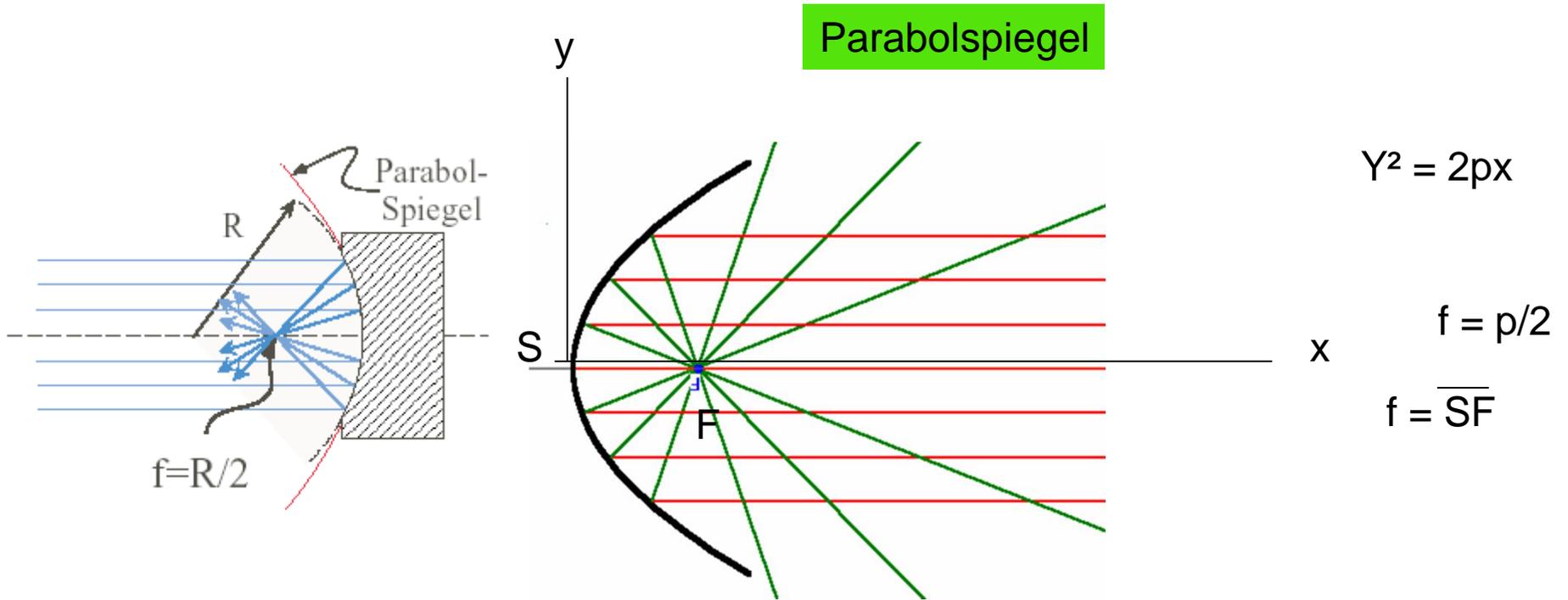
b) $R > g > f \rightarrow$ Reelles, umgekehrtes
Bild (vergrößert)

c) $0 < g < f \rightarrow 0 > b > -\infty$



Virtuelles,
aufrechtes
Bild

Rasierspiegel



Alle achsennahen, parallelen Strahlen schneiden sich im Brennpunkt:

Anwendung: Scheinwerfer

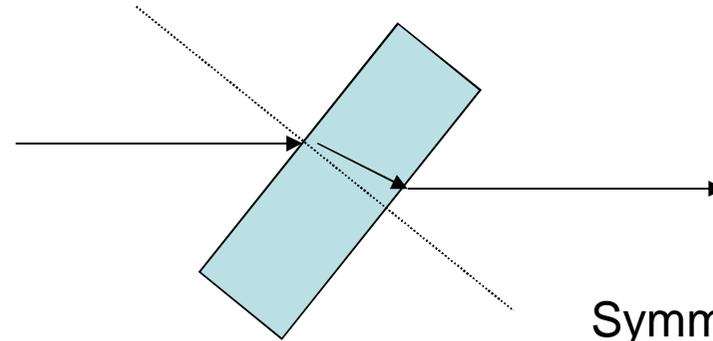
Hohe Richtwirkung

2.5 Brechung des Lichts

1. Wellenoptik

2.6. Ablenkung des Lichts

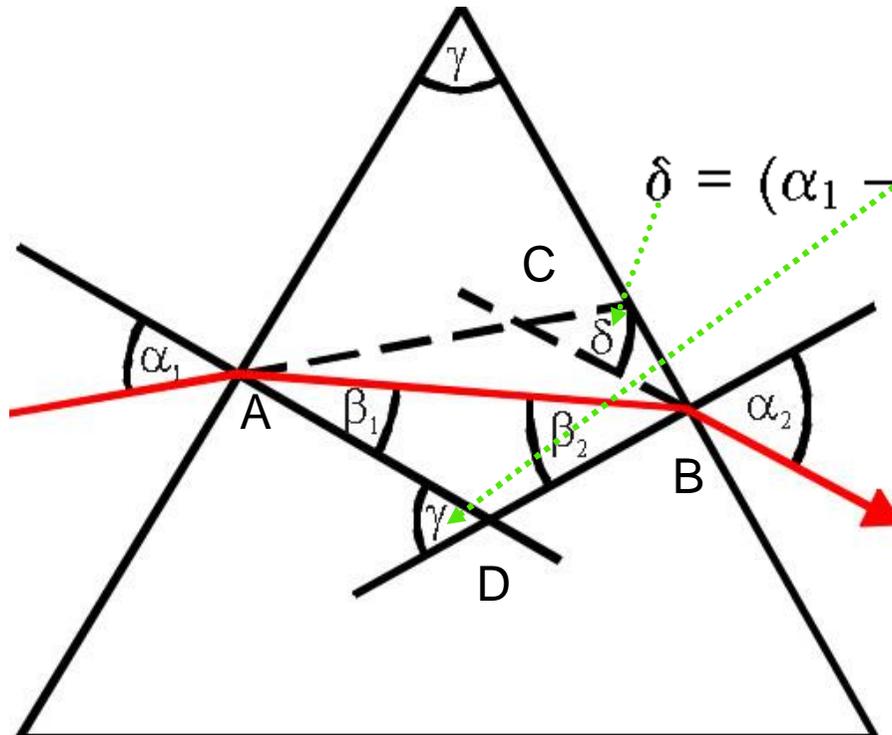
Planparallele Platte



Prisma:

Parallelversatz

Symmetrischer Strahlengang



$$\gamma = \beta_1 + \beta_2 \quad \gamma = 2\beta_1$$

$$\delta = (\alpha_1 - \beta_1) + (\alpha_2 - \beta_2) \quad \delta = 2 \cdot (\alpha_1 - \alpha_2)$$

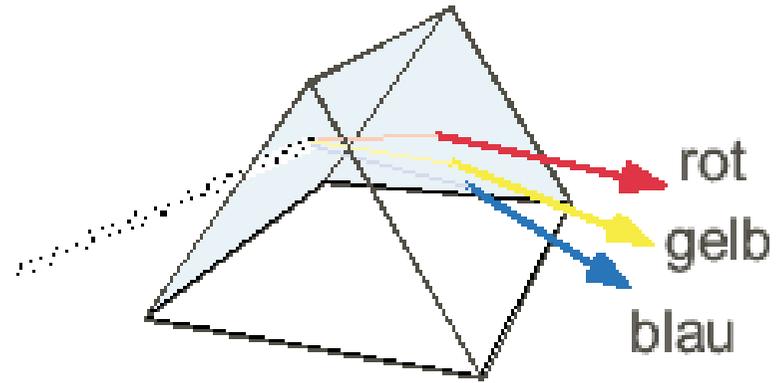
$$\gamma + \delta = \alpha_1 + \alpha_2 \quad \gamma + \delta = 2 \cdot \alpha_1$$

$$\frac{\sin \alpha_1}{\sin \beta_1} = n = \frac{\sin(\frac{\gamma + \delta}{2})}{\sin(\frac{\gamma}{2})}$$

n() !!! $\sin(\frac{\gamma + \delta}{2}) = n \cdot \sin(\frac{\gamma}{2})$

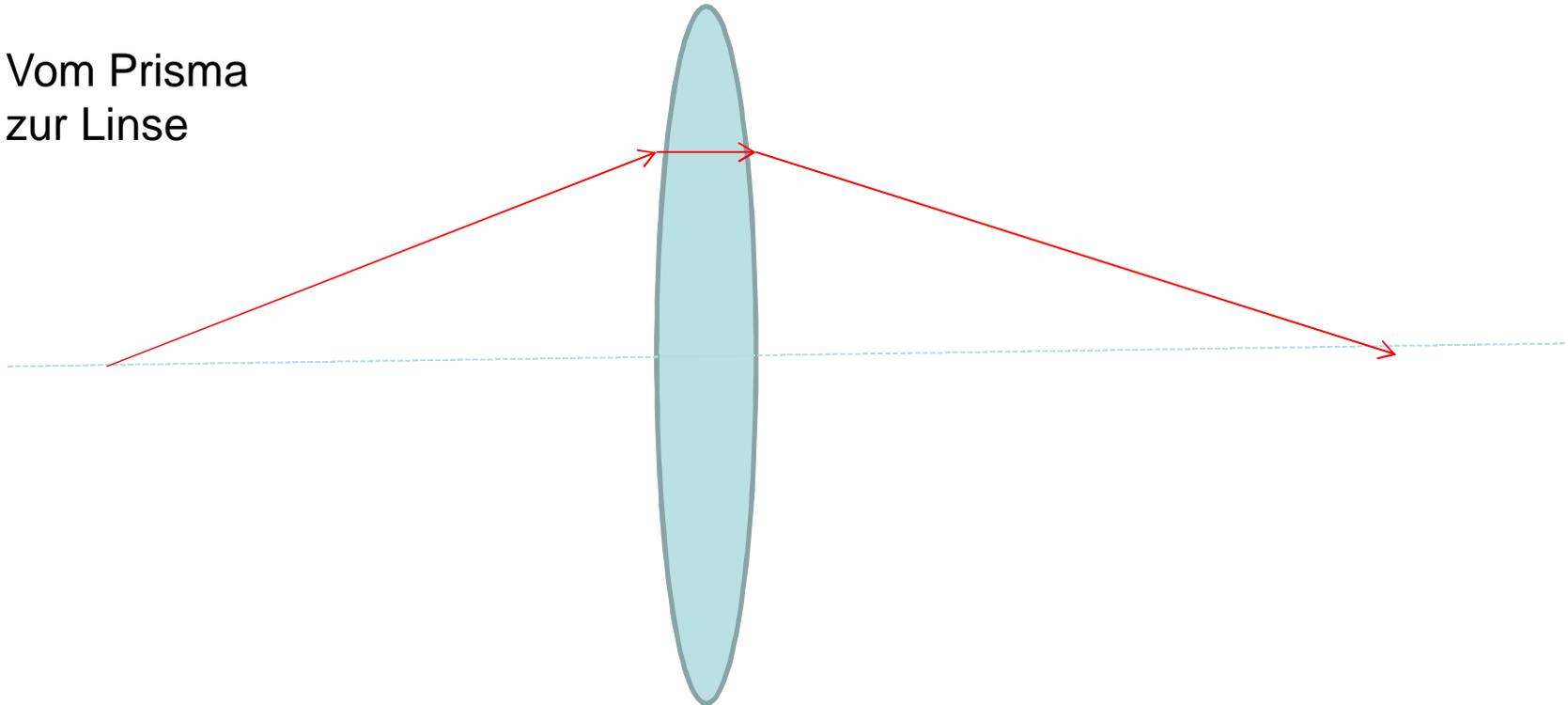
Kleine Winkel: $\delta = (n - 1)\gamma$

Spektrale
Zerlegung



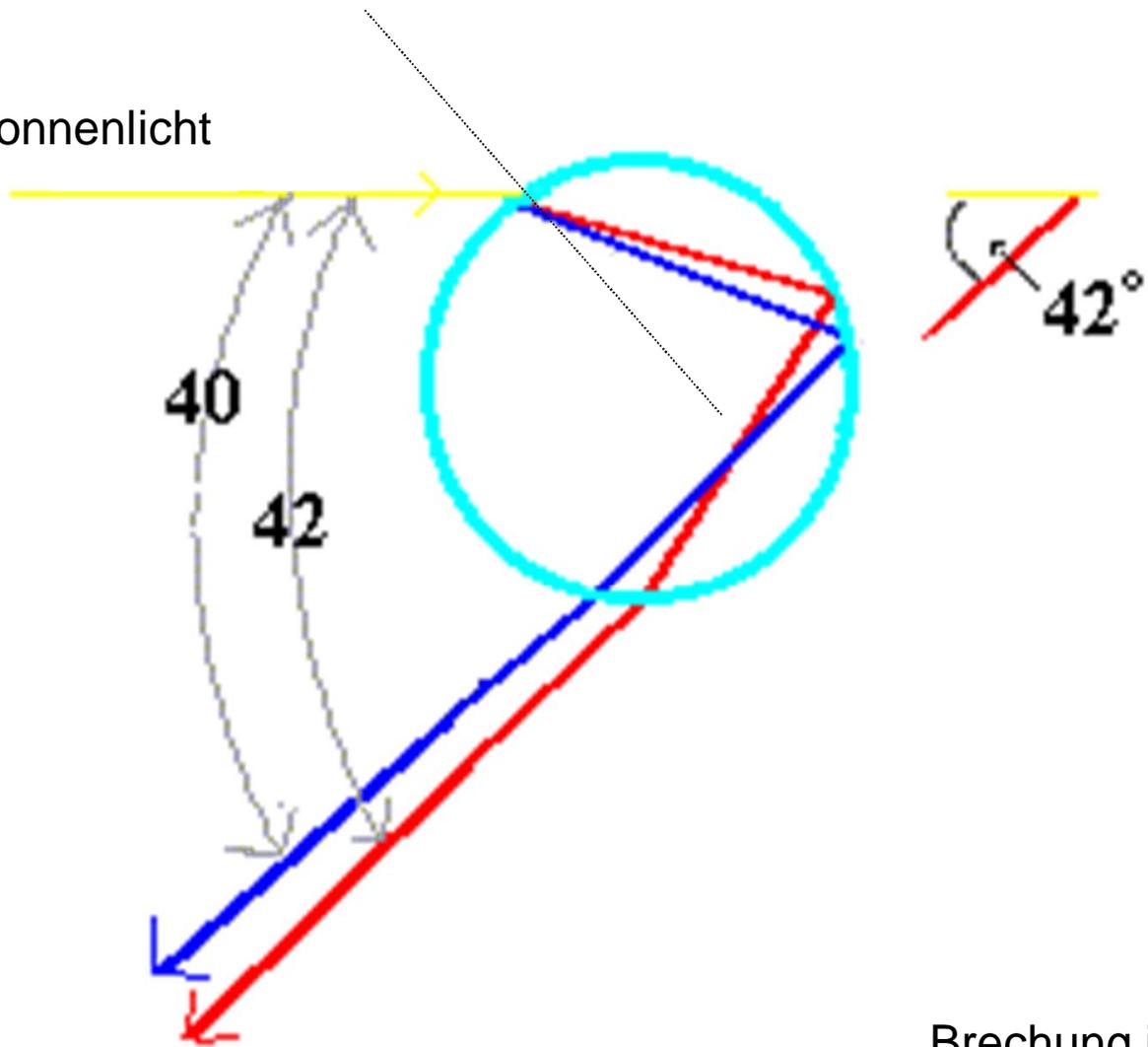
2.7 Abbildungen mit Linsen

Vom Prisma
zur Linse





Sonnenlicht



Brechung im Tropfen

Strahlenoptik: Brechung im 1. und 2. Regenbogen

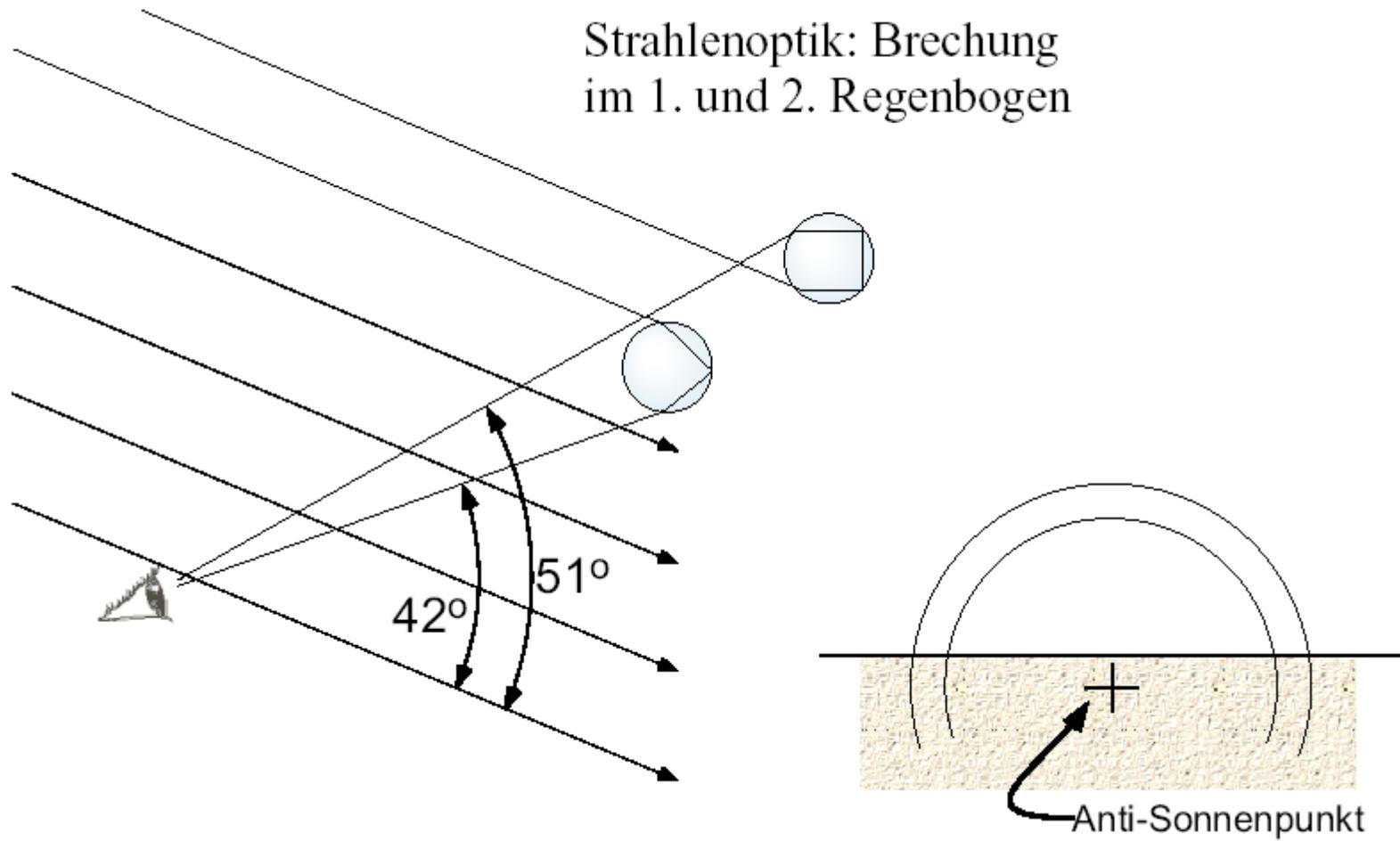
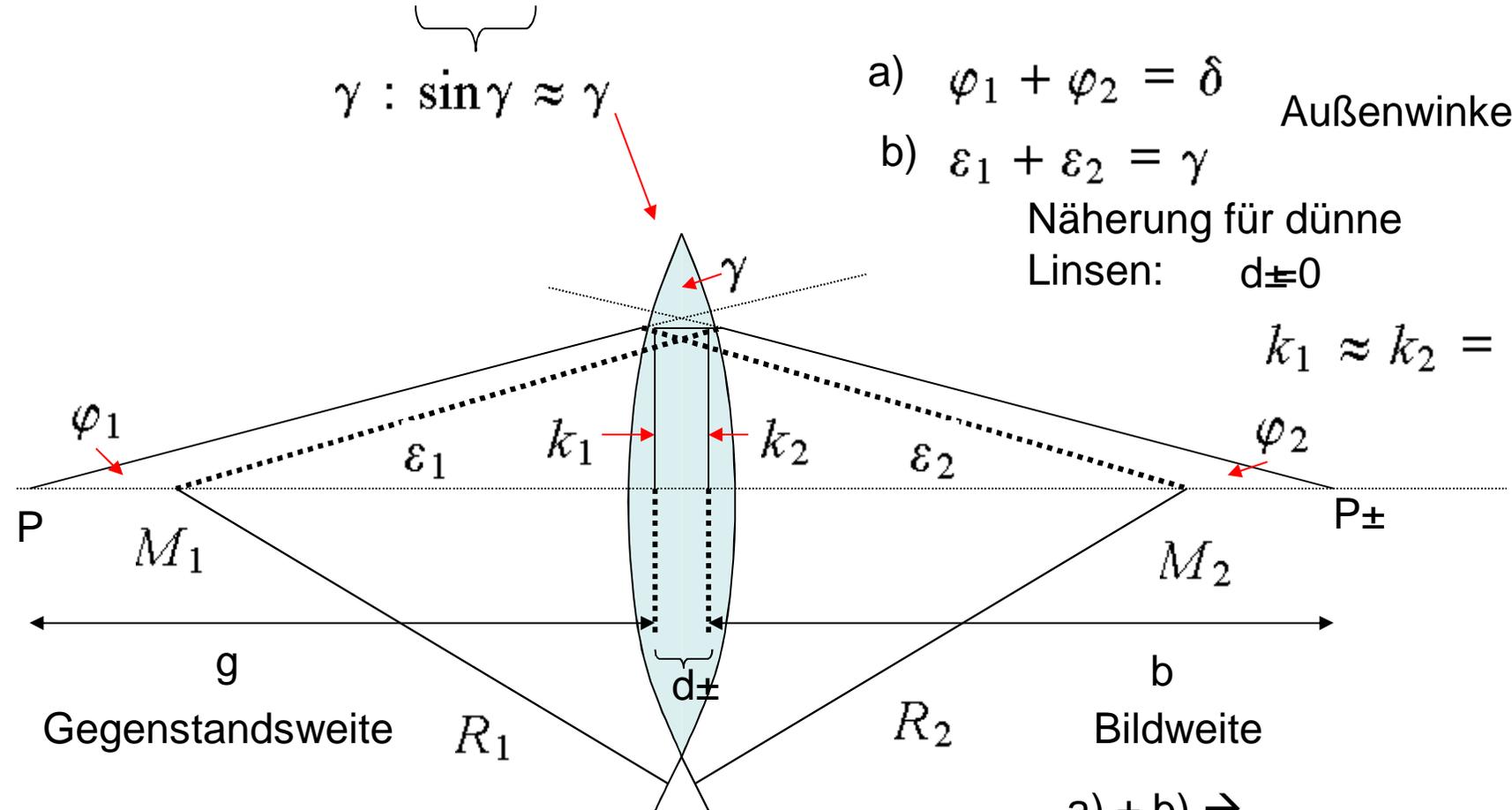


Abbildung mit dünner Linse

Analog zum Prisma



$\gamma : \sin \gamma \approx \gamma$

a) $\varphi_1 + \varphi_2 = \delta$ Außenwinkel

b) $\varepsilon_1 + \varepsilon_2 = \gamma$
Näherung für dünne Linsen: $d_{\pm} \neq 0$

$k_1 \approx k_2 = k$

c) $\varphi_1 \approx \tan \varphi_1 = \frac{k}{g}$
 $\varepsilon_1 \approx \sin \varepsilon_1 = \frac{k}{R_1}$

$\varphi_2 \approx \tan \varphi_2 = \frac{k}{b}$
 $\varepsilon_2 \approx \sin \varepsilon_2 = \frac{k}{R_2}$

a) + b) \rightarrow
 $\varphi_1 + \varphi_2 = (n - 1) \cdot (\varepsilon_1 + \varepsilon_2)$

c) \rightarrow
 $\frac{k}{g} + \frac{k}{b} = (n - 1) \left[\frac{k}{R_1} + \frac{k}{R_2} \right]$

a) $\rightarrow \varphi_1 + \varphi_2 = (n - 1) \cdot \gamma$

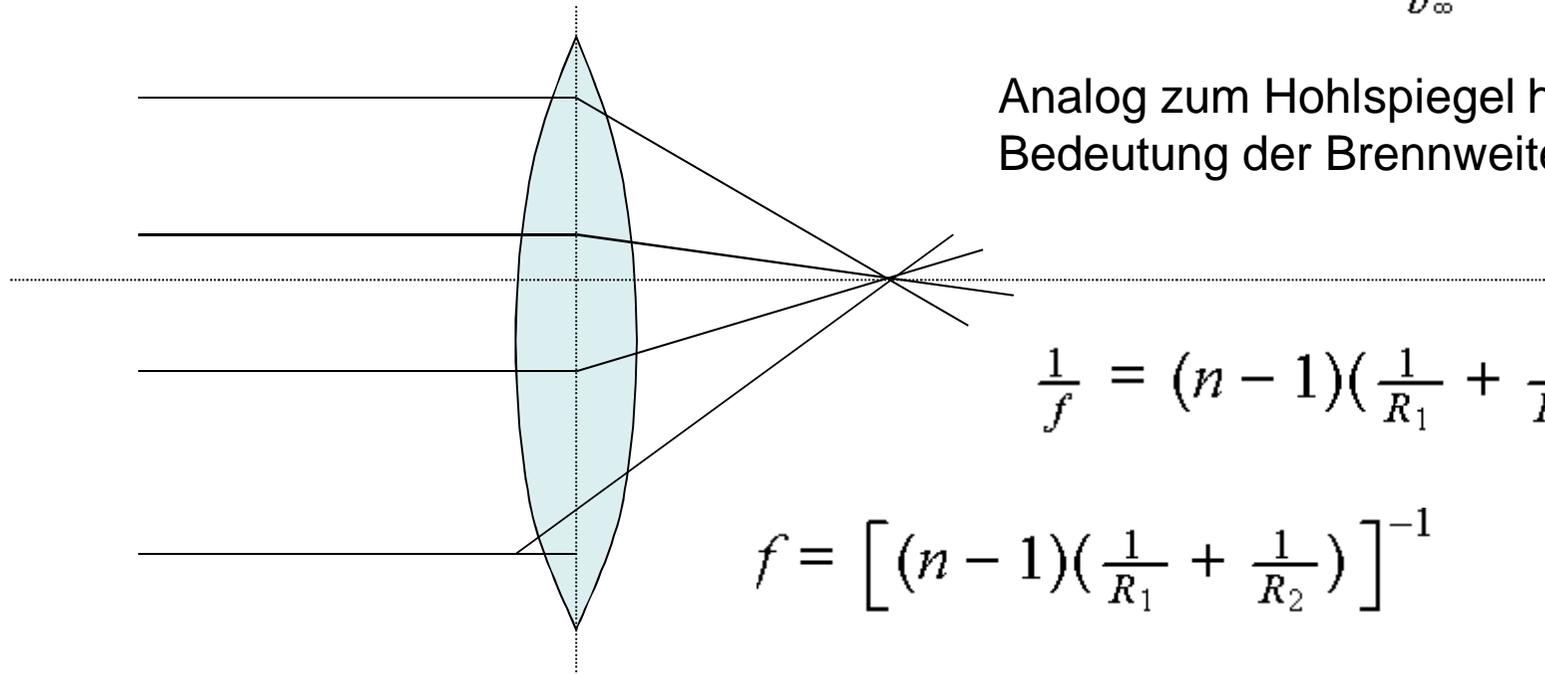
$\frac{1}{g} + \frac{1}{b} = (n - 1) \left(\frac{1}{R_1} + \frac{1}{R_2} \right) = \frac{1}{L}$

$$\frac{1}{g} + \frac{1}{b} = \underbrace{(n-1)\left(\frac{1}{R_1} + \frac{1}{R_2}\right)}_{\text{Nur Eigenschaften der Linse}} = \frac{1}{L} \quad ? \quad \text{Achsenparallele Strahlen}$$

Nur Eigenschaften
der Linse

$$g \rightarrow \infty$$

$$\frac{1}{b_\infty} \approx \frac{1}{L}$$



Analog zum Hohlspiegel hat L die
Bedeutung der Brennweite f

$$\frac{1}{f} = (n-1)\left(\frac{1}{R_1} + \frac{1}{R_2}\right) \approx D$$

$$f = \left[(n-1)\left(\frac{1}{R_1} + \frac{1}{R_2}\right) \right]^{-1}$$

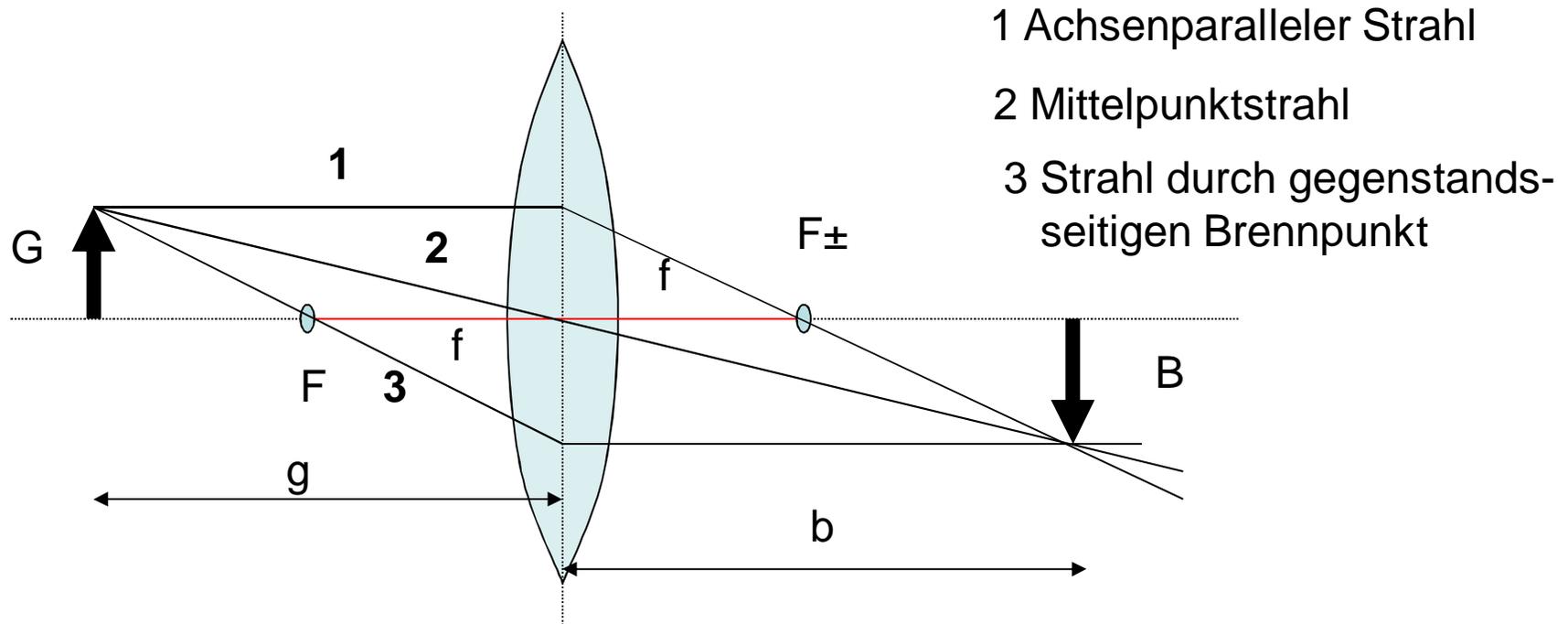
Brechkraft

Beispiel: Linse mit $R_1 \approx R_2 = 1\text{m}$ $n = 1.5$

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

Abbildungsgleichung

$$\rightarrow f = 1\text{m}$$



Je nach Gegenstandsweite: 3 Fälle

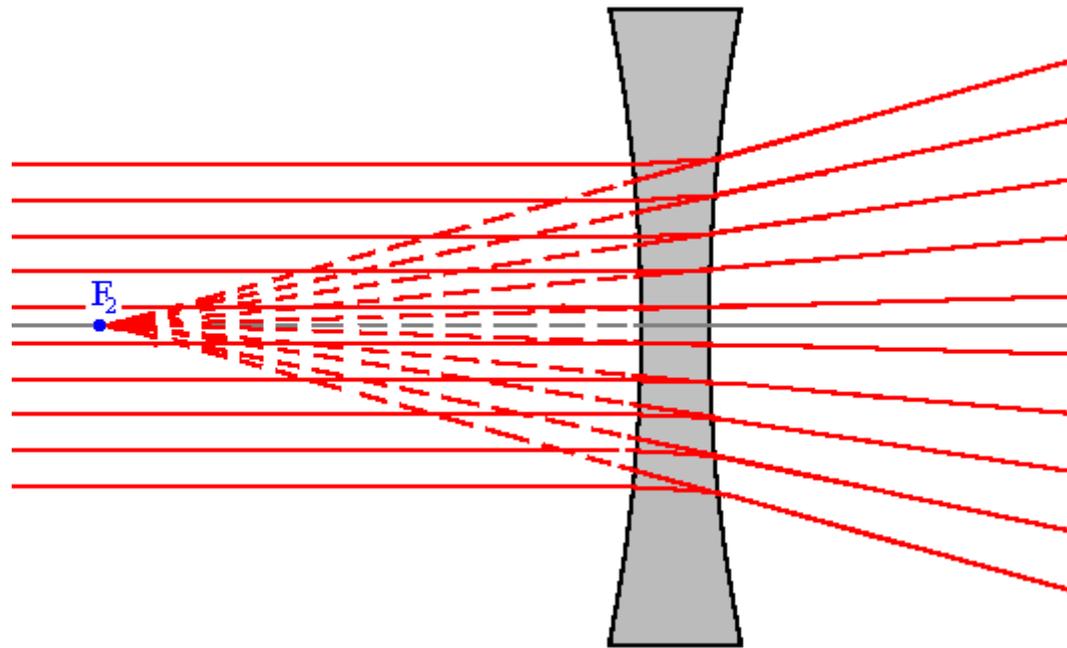
a) $\infty > g \geq 2f \rightarrow f < b \leq 2f \rightarrow$ Umgekehrtes reelles Bild (verkleinert) $\frac{b}{g} \leq 1$

b) $2f > g \geq f \rightarrow 2f < b \leq \infty \rightarrow$ Umgekehrtes reelles Bild (vergrößert) $\frac{b}{g} \geq 1$

c) $f > g > 0 \rightarrow -\infty < b < 0 \rightarrow$ Aufrechtes virtuelles Bild

Lupe

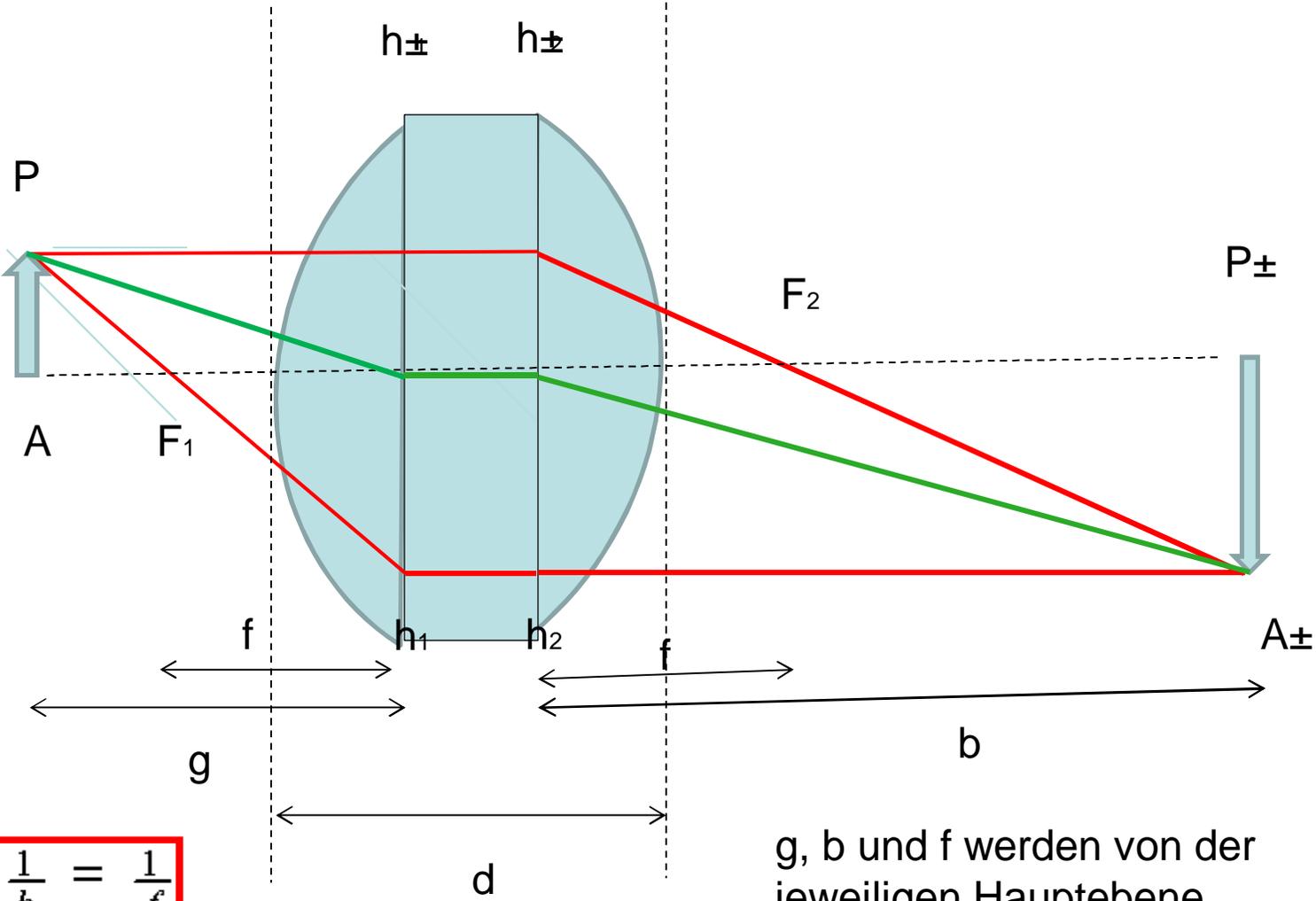
Konkave Linsen



Dicke Linsen

h_{\pm} Hauptebenen

Bildkonstruktion

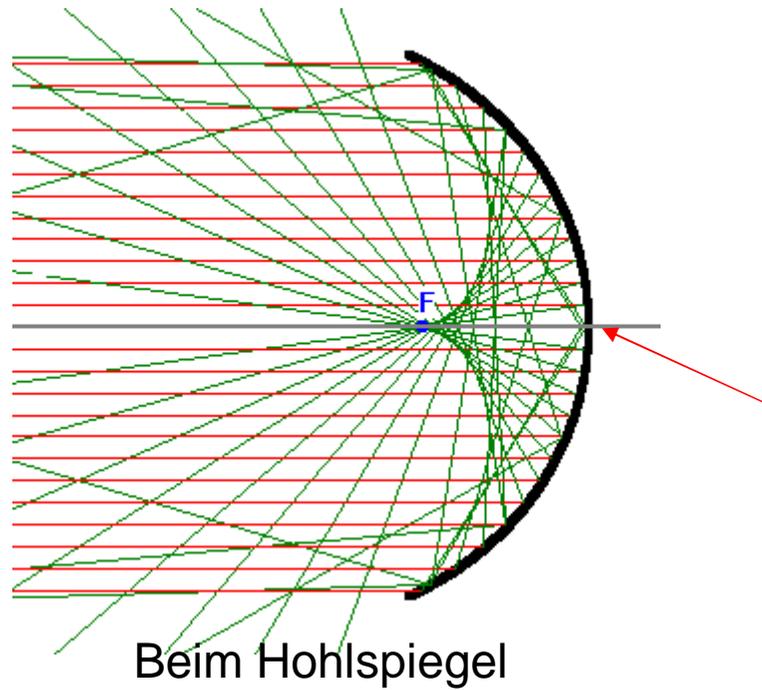


$$\frac{1}{g} + \frac{1}{b} = \frac{1}{f}$$

Nicht vernachlässigbar

g , b und f werden von der jeweiligen Hauptebene gemessen

Abbildungsfehler



Sphärische Aberration: Hohlspiegel

Achsenferne Strahlen schneiden die Achse nicht bei $f=R/2$



Kollimation

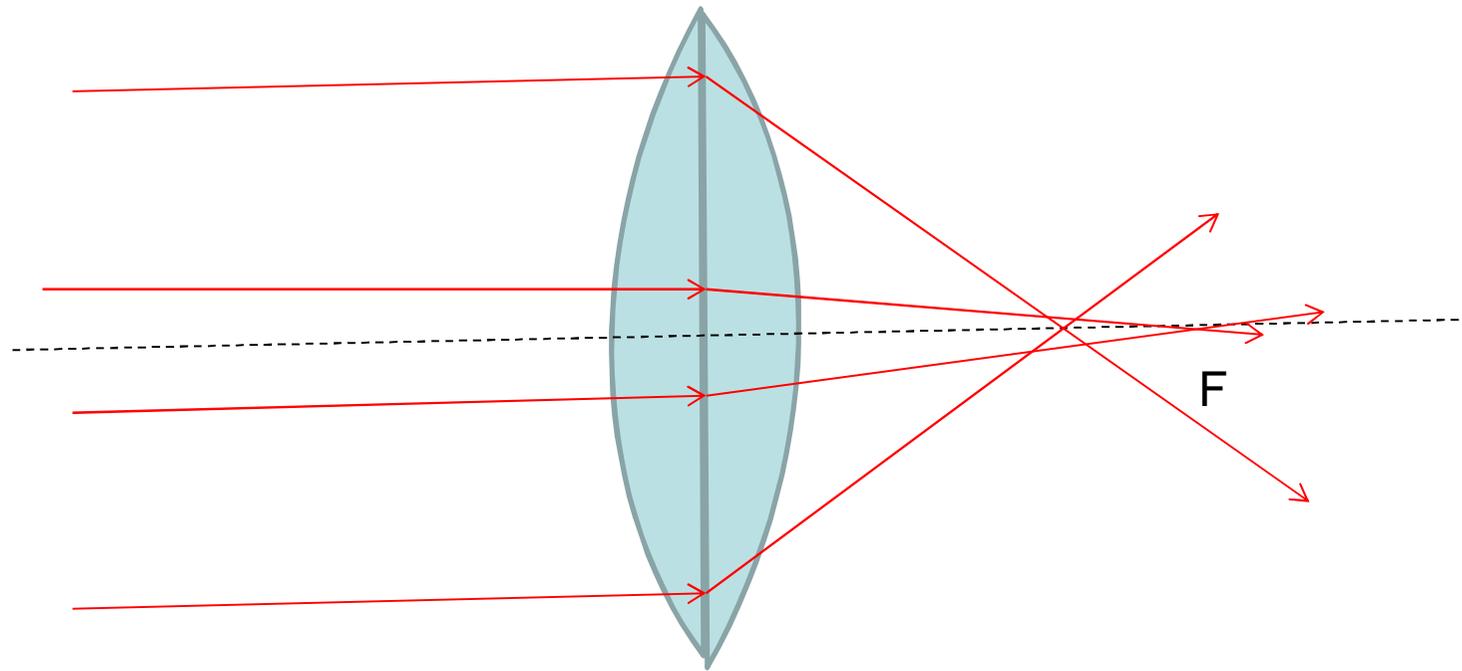


Einschränkung:
Gesichtsfeld
Lichtstärke

f



Sphärische Aberration: Linse



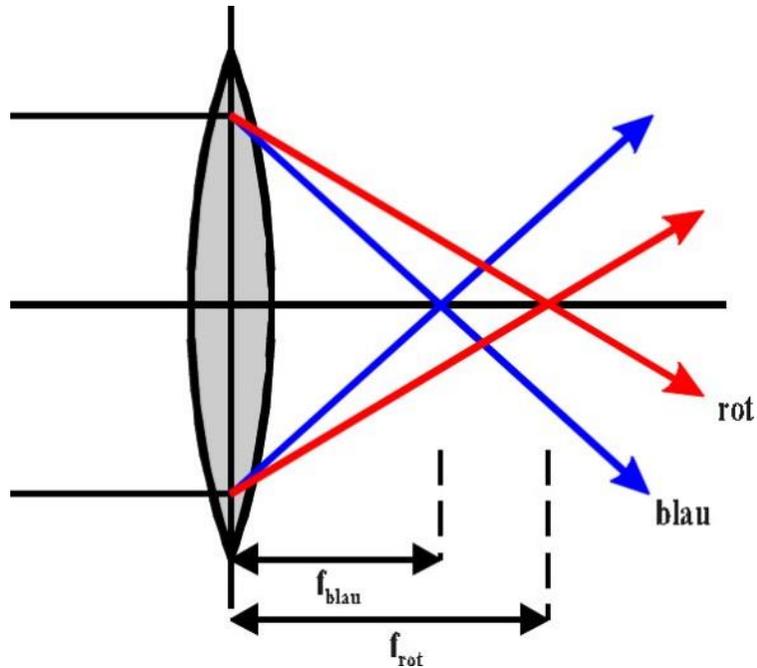
Achsenferne Strahlen schneiden die Achse nicht bei F

Behebung: Kollimation



Einschränkung:
Gesichtsfeld
Lichtstärke

Chromatische Aberration



Behebung:

Kombination konvex-konkave
Linsen

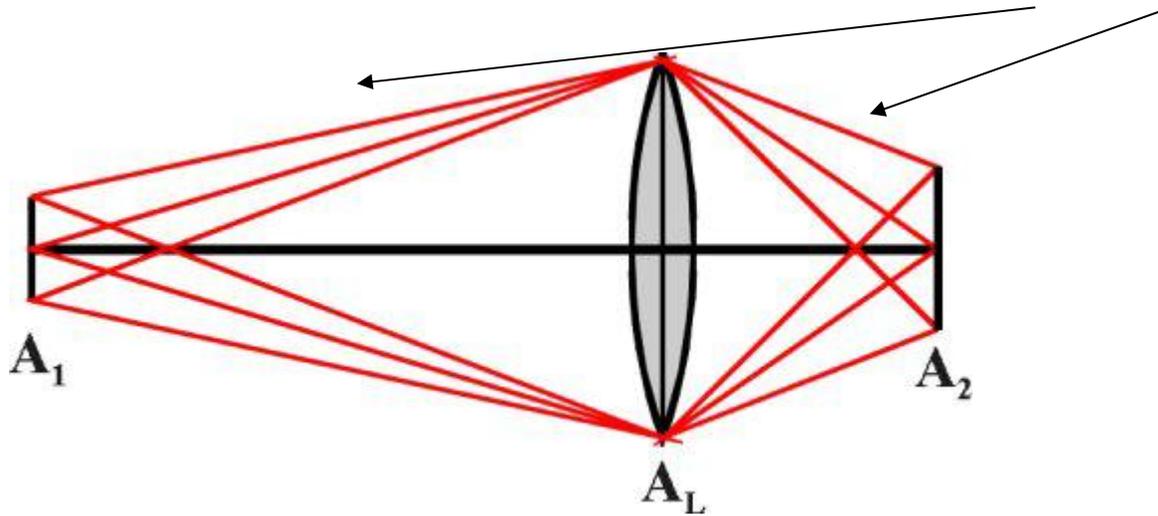
Astigmatismus

Linsenflächen nicht in alle Richtungen
gleich stark gekrümmt

Folge:
Foci ausgeschmiert

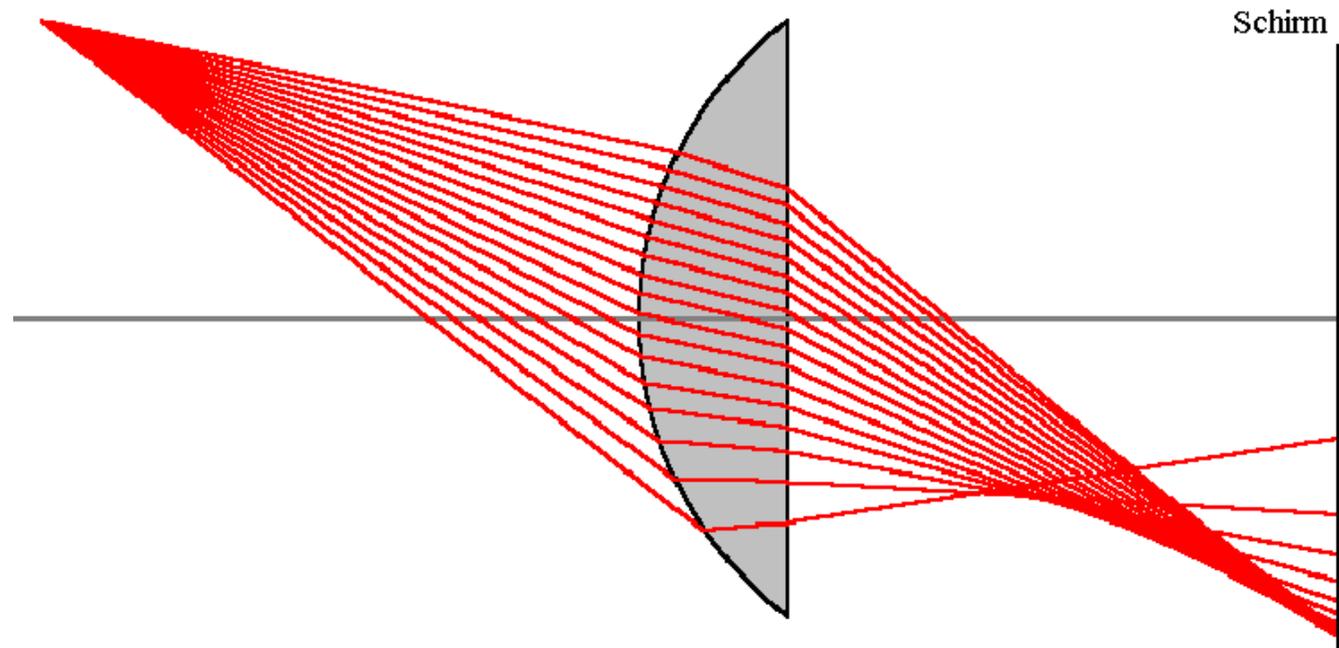
Koma und Verzeichnungen

Bei Kollimation hier



Koma

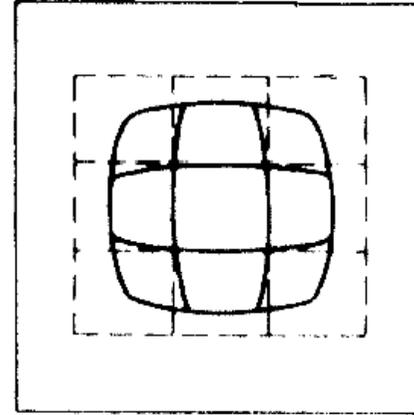
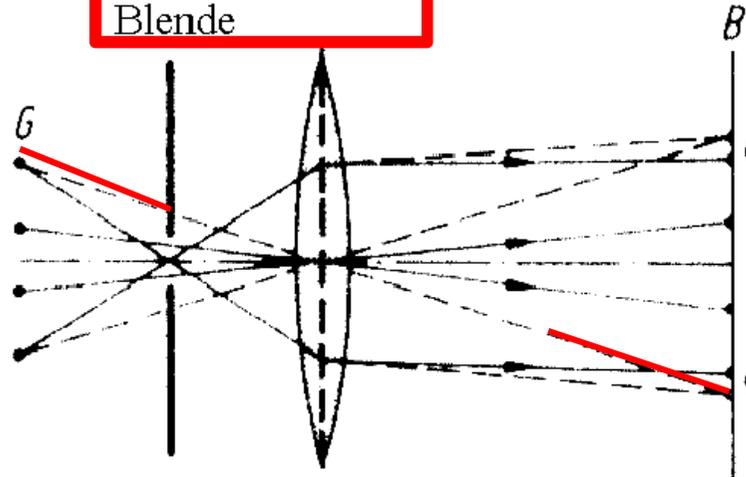
Abb. eines
sehr seitlich
liegenden
Punkts



Bildfeldwölbung

a)

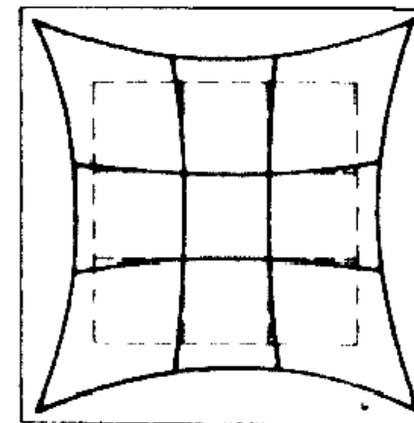
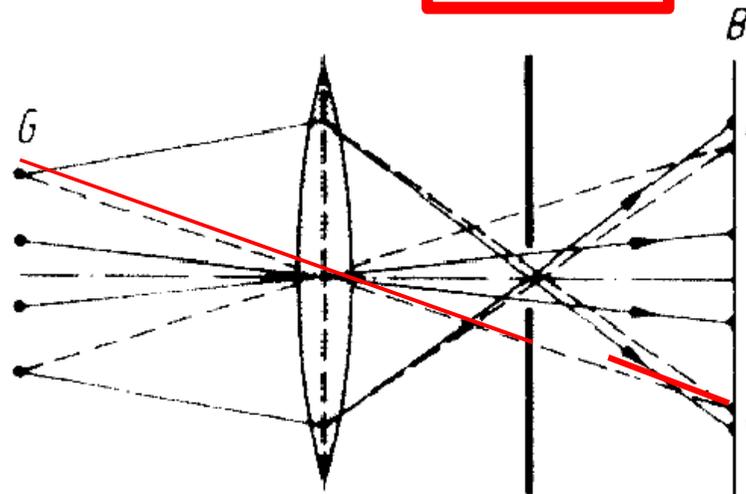
gegenstandseitige
Blende



Tonnenverzeichnung

b)

bildseitige
Blende



Kissenverzeichnung