

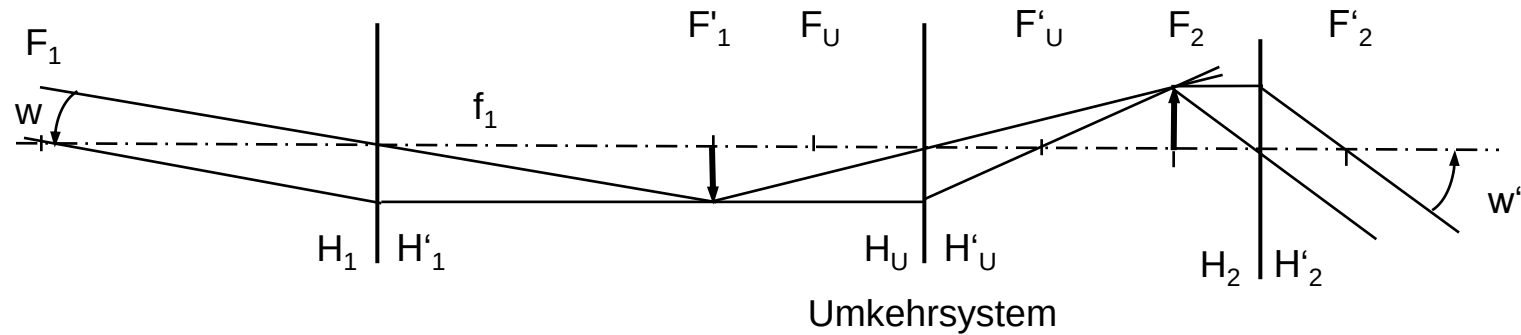
6. Systemkonzept II: Schnittstellen, Gesamtsystem

- 6.1 Kombination von Teilsystemen (Feld, Pupillen)**
- 6.2 Schnittstellen Objekt/Bild (Detektor, Faser)**
- 6.3 Kombination von Systemen / Strahlteiler**
- 6.4 Systemtransmission / Schichten**

Zusammengesetzte Systeme

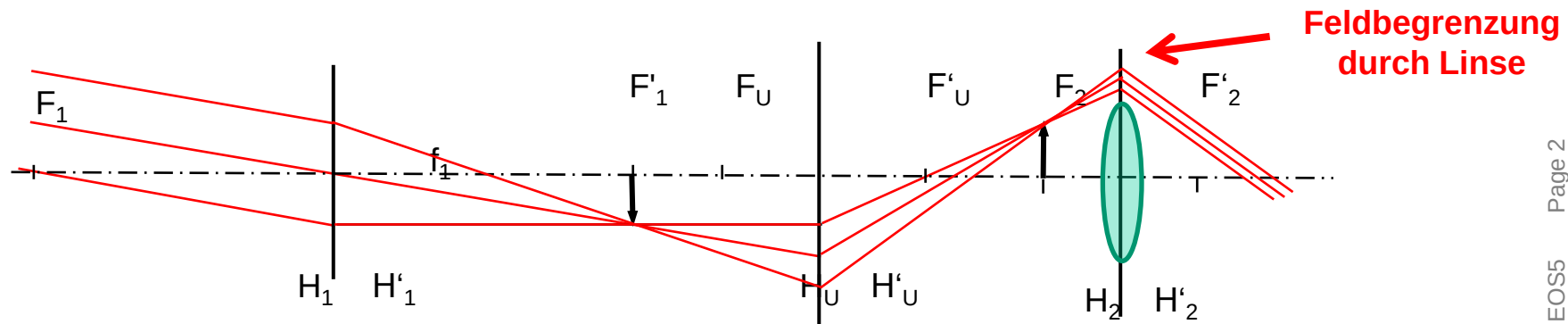


Z.B.: Terrestrisches Fernrohr: Objektiv + Umkehrsystem + Lupe



Strahlkonstruktion → Lage und Größe der Bilder

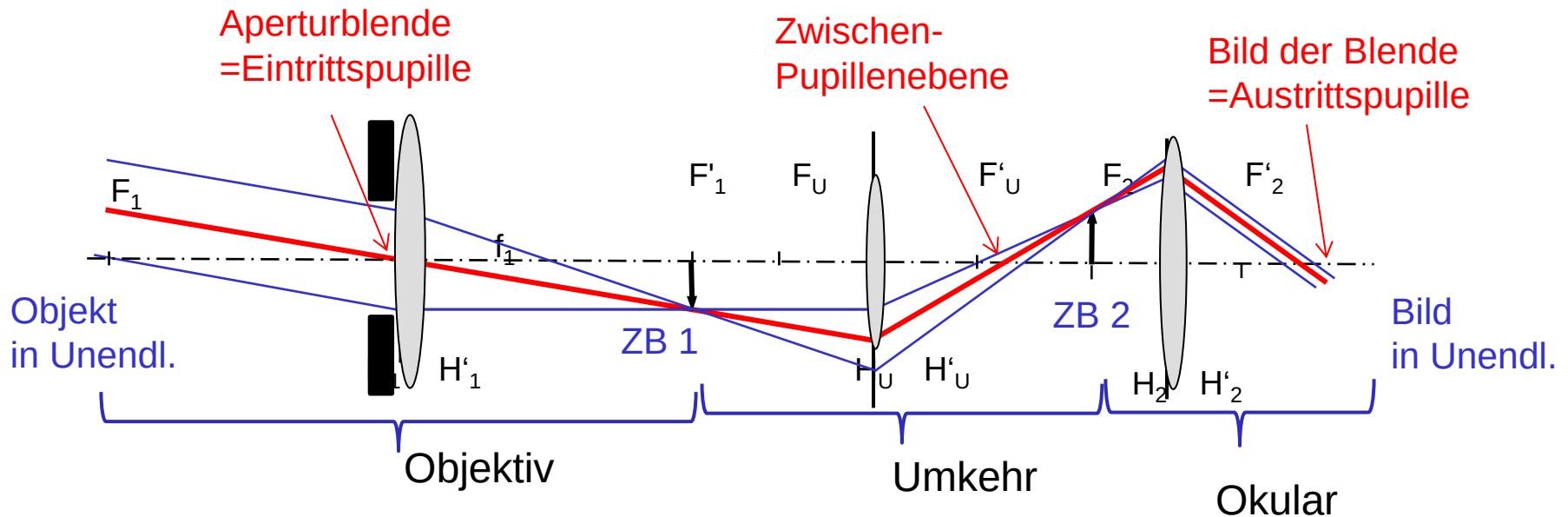
Aber: Blenden/Aperturen definieren reale Strahlen → Begrenzungen sind wichtig



Pupillenlage in zusammengesetzten Systemen



Die **Pupillen** (z.B. Eintritts- und Austrittspupille) sind **Bilder der Aperturblende**.
Der **Hauptstrahl** schneidet hier die optische Achse



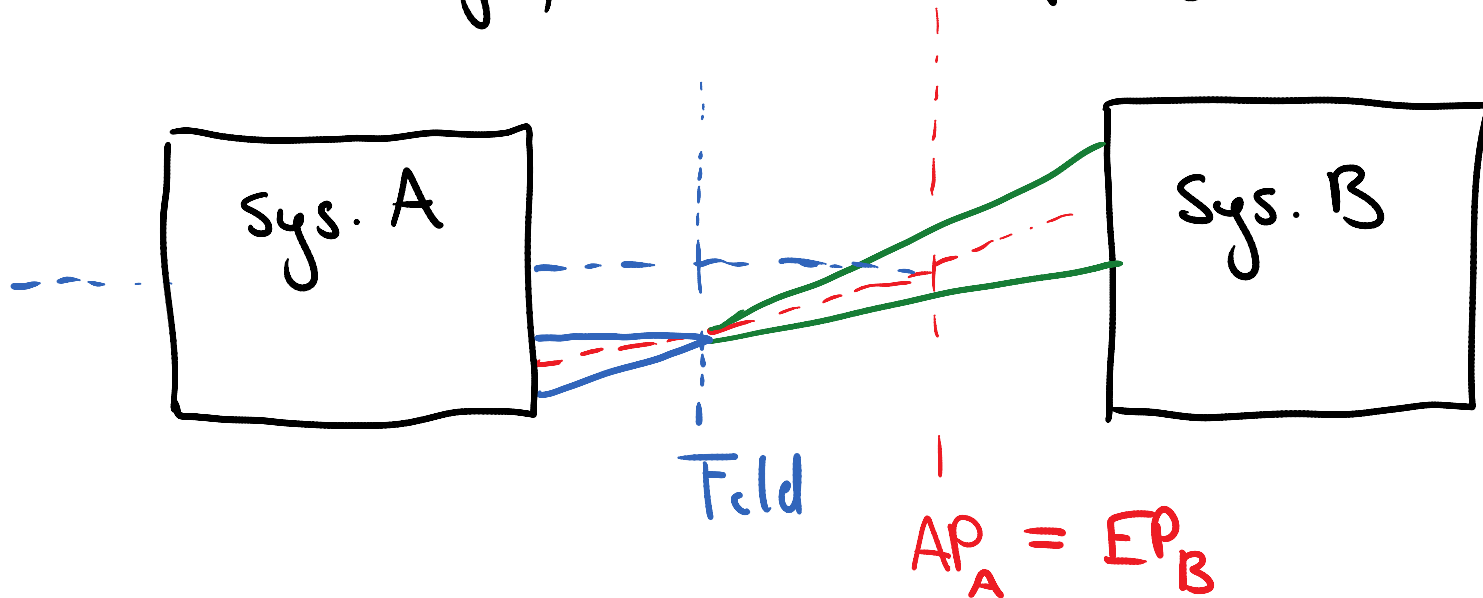
Feld-Ebenen sind Bilder des Objektes

Pupillen-Ebenen sind Bilder der Aperturblende

- Lage der Pupillen definiert die Licht Richtung im Feld (Telezentrie)
- Größe der Pupillen definiert NA

Bei Systemen aus mehreren Teilkomponenten
muss die Feldlage und Pupillenlage (Richtung)

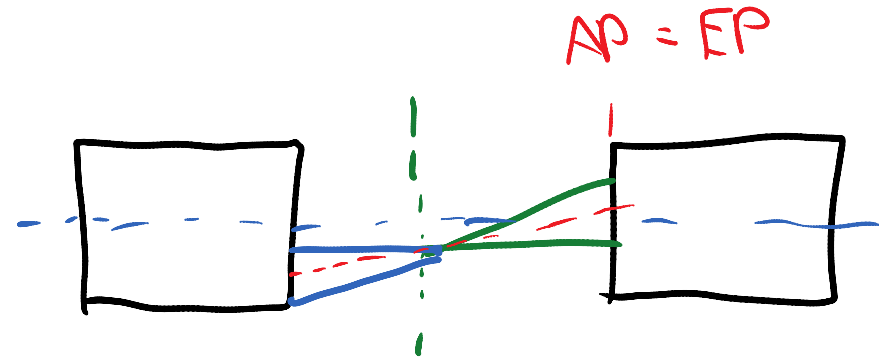
Zusammenpassen:
(Auch Feldgröße FOV und Pupillengröße NA)



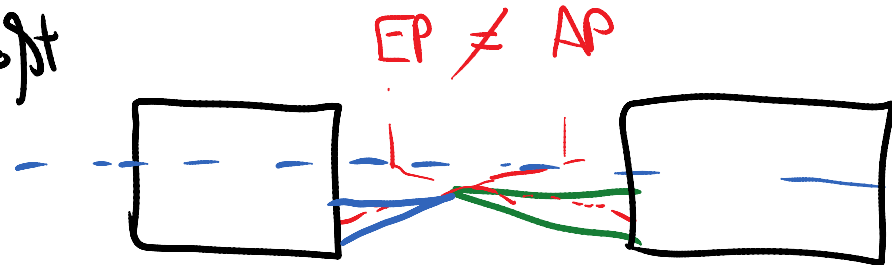
Pupillenlage in zusammengesetzten Systemen



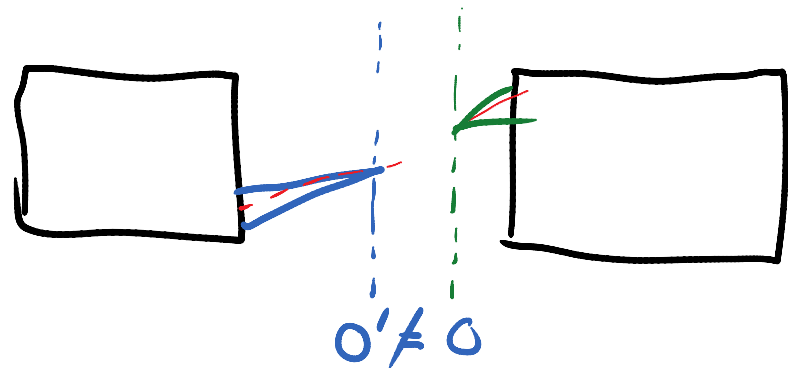
Angepaßte Systeme



Pupillen nicht angepaßt



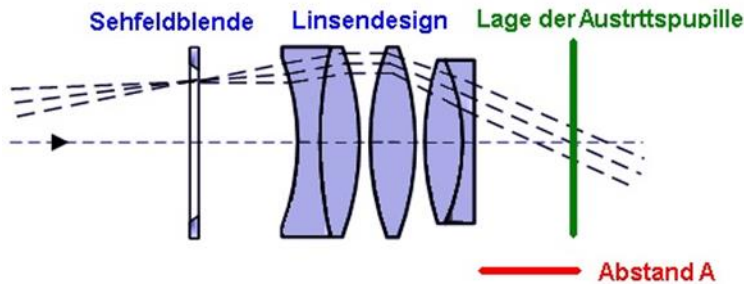
Feld nicht angepaßt



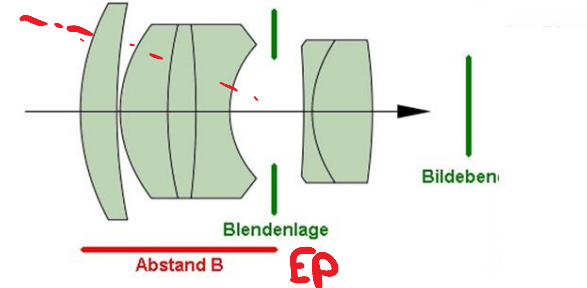
Beispiel: Fotoaufnahme durch ein Okular



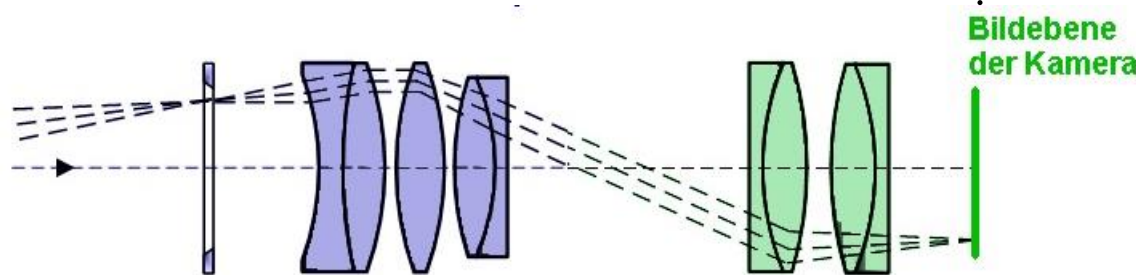
Prinzipieller Okularaufbau



Prinzipieller Aufbau eines Fotoobjektivs



⇒ Anpassung schwierig da $A < B$
Lösungsmöglichkeit z.B. 2 Okulare

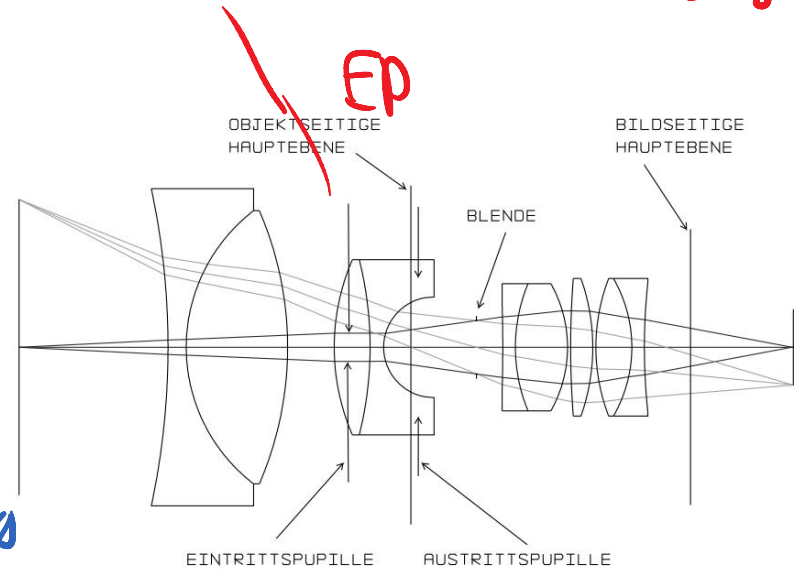
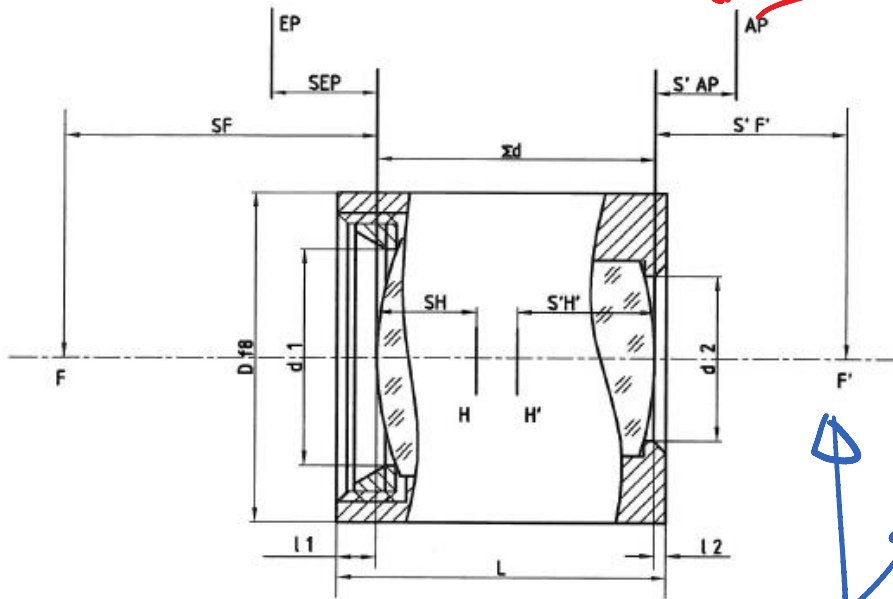


Konflikte bei der Pupillenanpassung



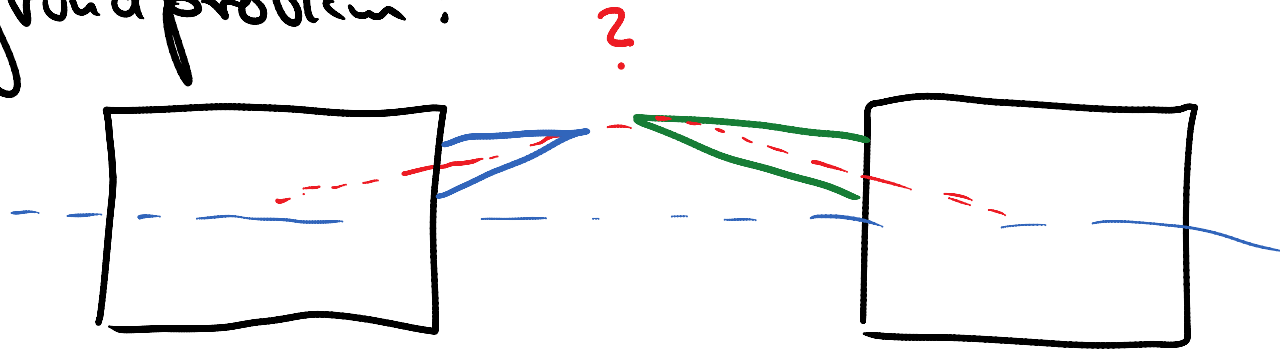
Im Allgemeinen passen Systeme nicht zusammen!

Pupillenebenen passen nicht!

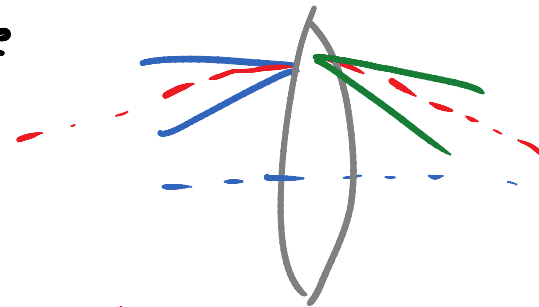


Feldebenen lassen sich zur Deckung bringen

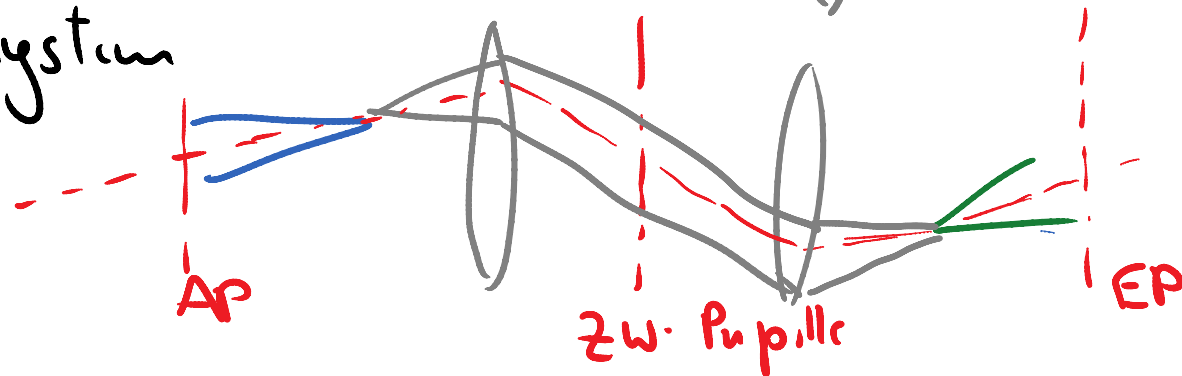
Grundproblem:



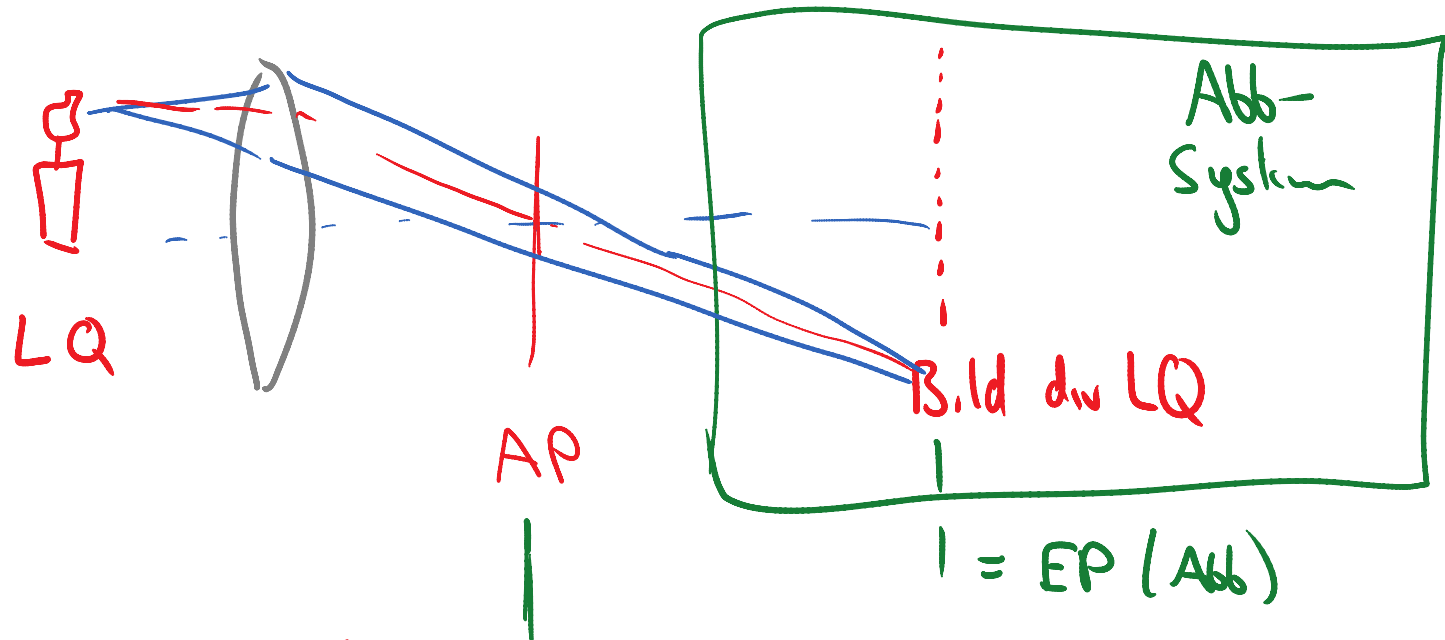
Lösungen: Feldlinse



Relay-System



Zusammenfassung mit "Köhler-Beleuchtung":



Köhler $\Rightarrow$ **AP** = Fokalebene

$\Rightarrow$ Bild des LQ in der EP

$\Rightarrow$ Feld und Pupille werden getauscht

Pupillenlage und Telezentrie



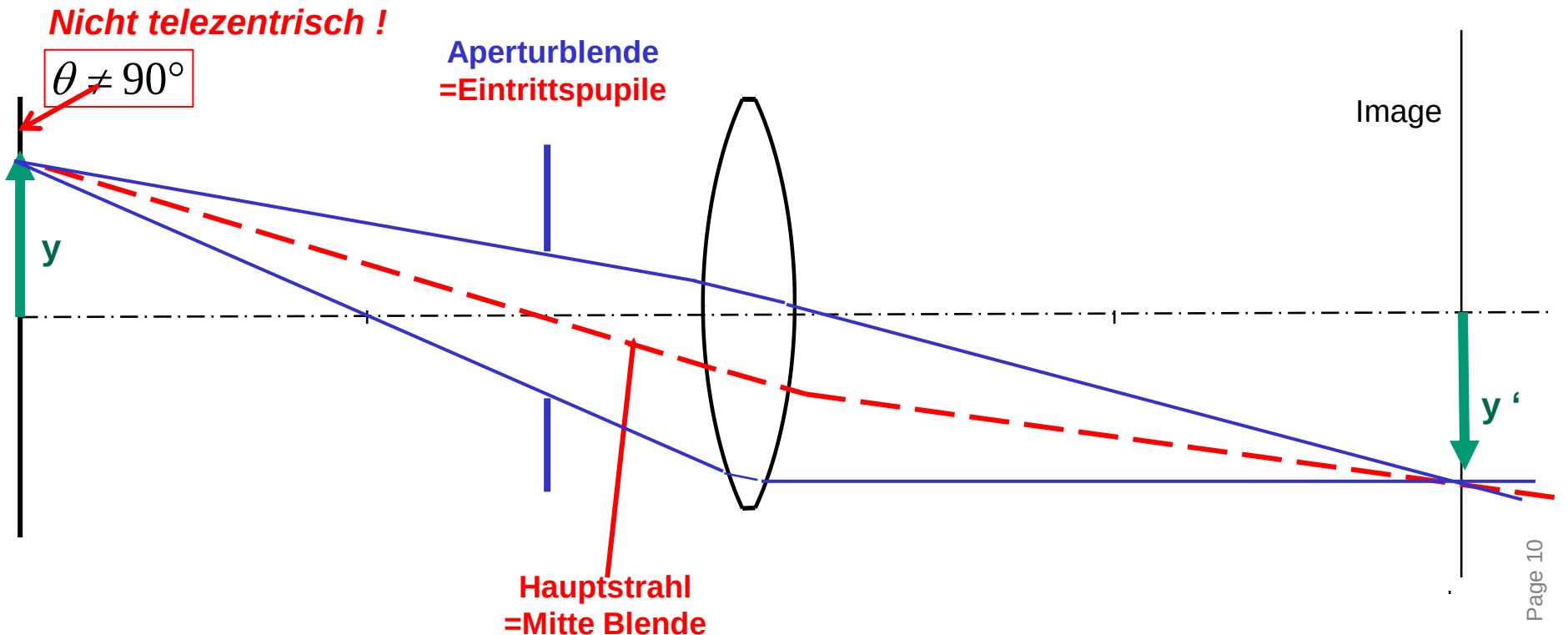
Telezentrie: Winkel zwischen Hauptstrahl und opt. Achse

Telezentrisch

→ Hauptstrahl ist parallel zur opt. Achse (senkr. zur Bildebene)

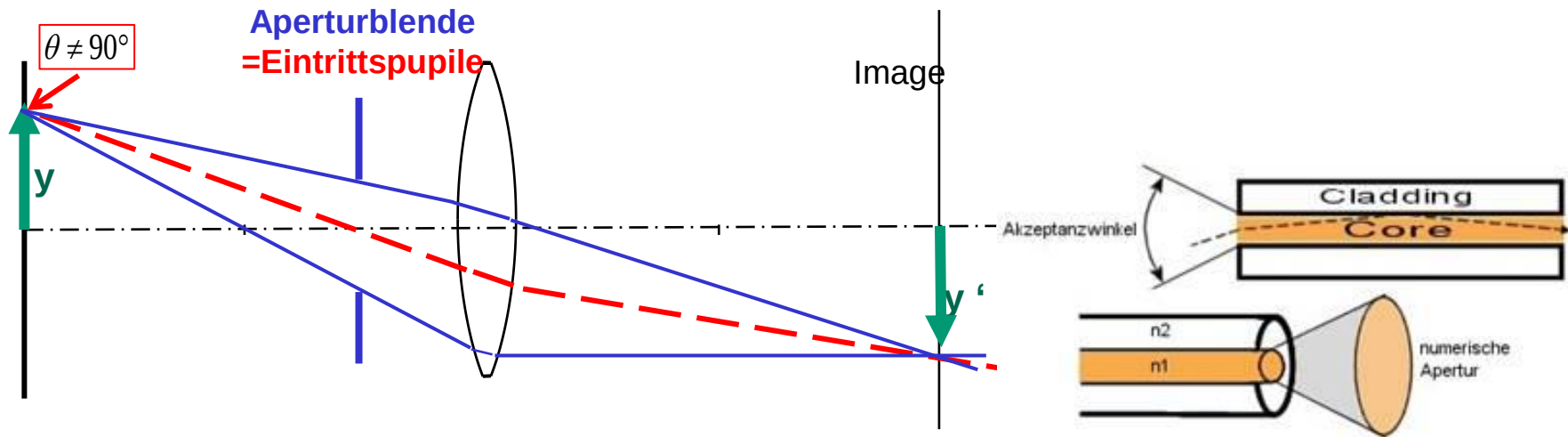
Nicht telezentrisch

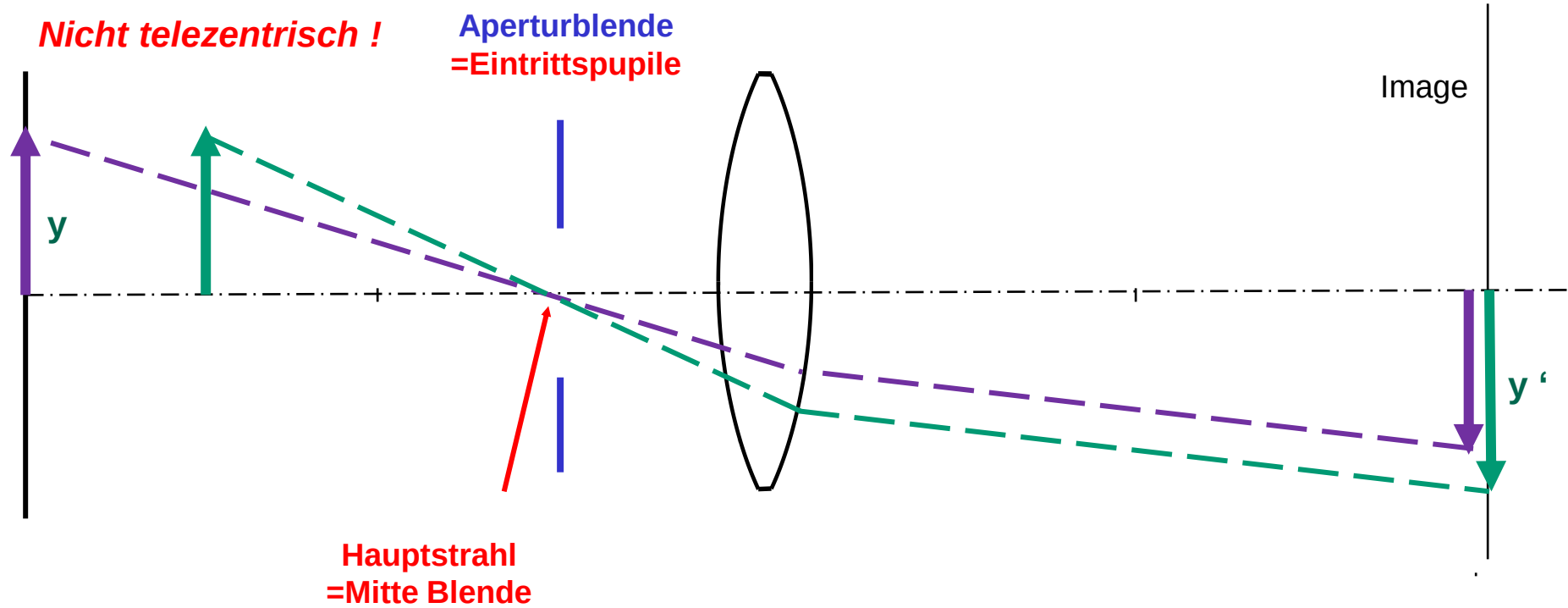
→ Hauptstrahl nicht parallel zur opt. Achse



Oft gibt es explizite oder implizite Anforderungen an die Telezentrie:

- Winkel-Empfindlichkeit Detektor
- Akzeptanzwinkel Faser
- Abstrahlwinkel Quelle





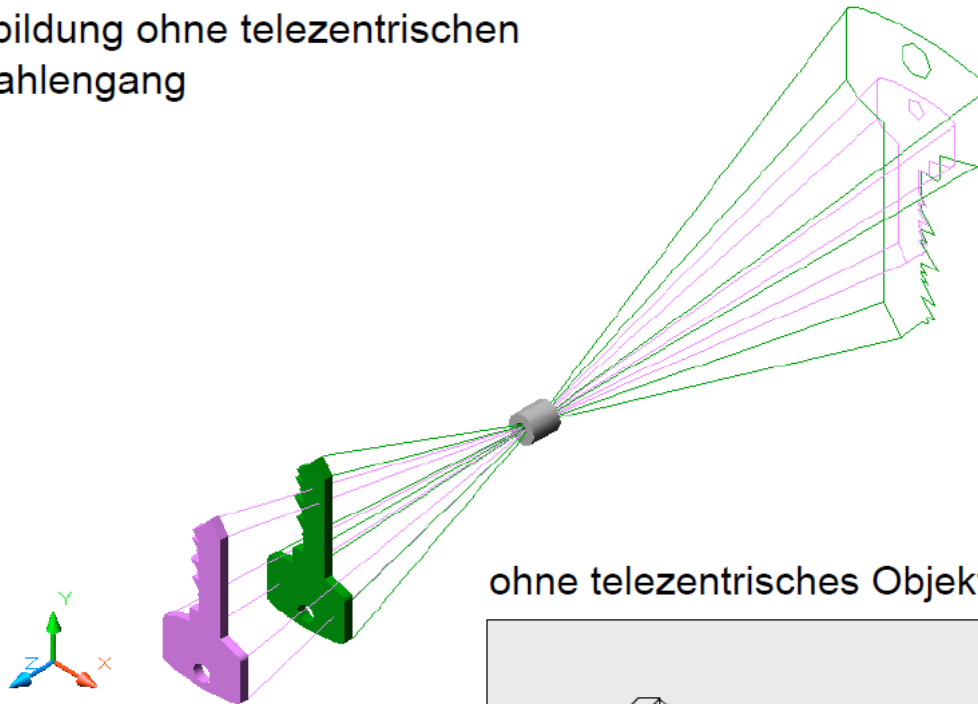
→ Vergrößerung hängt von Objekt-Abstand ab

$$\beta = \frac{y'}{y} = fct(s)$$

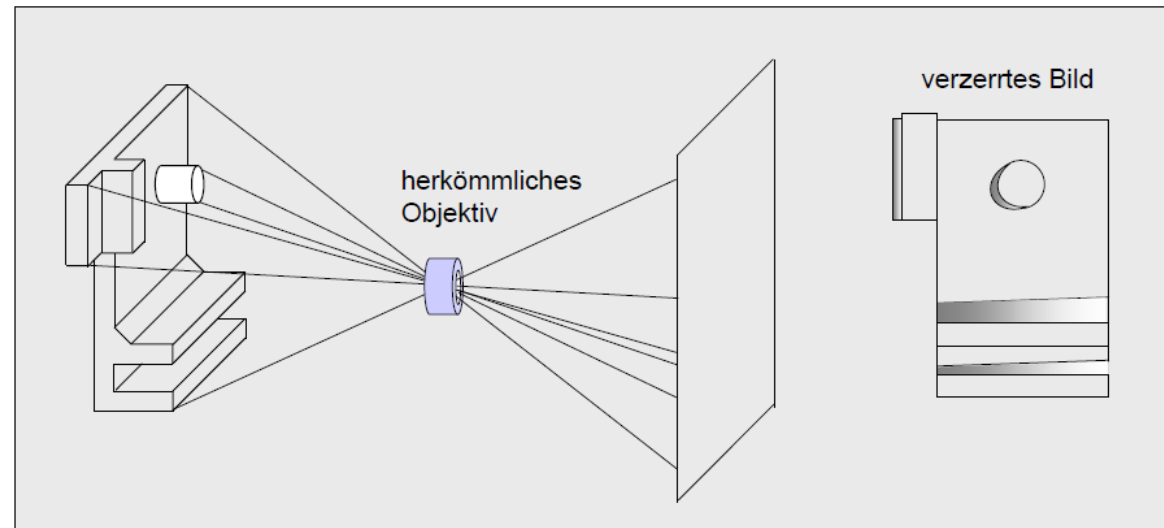
Telezentrie und Perspektive



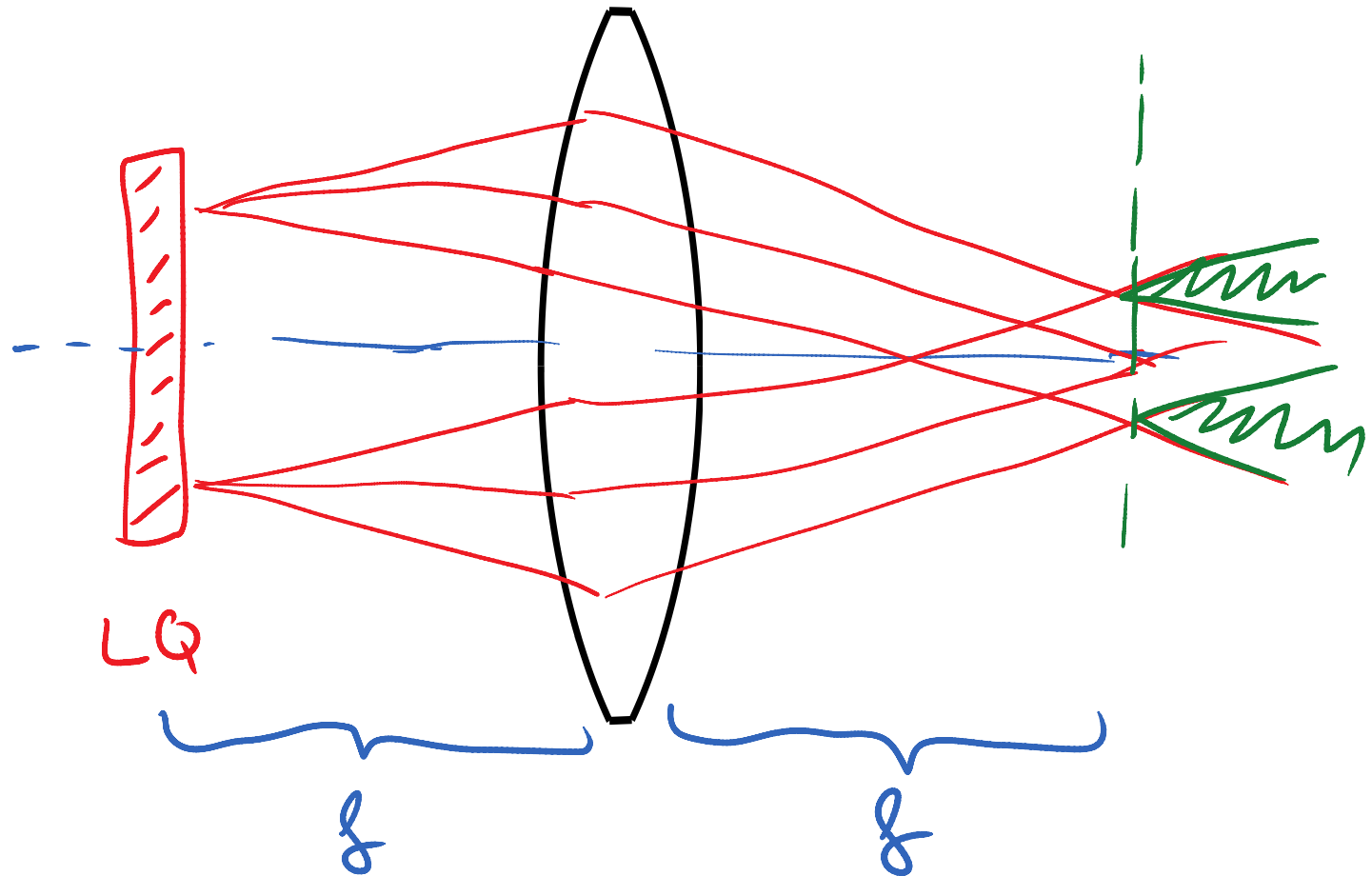
Abbildung ohne telezentrischen Strahlengang

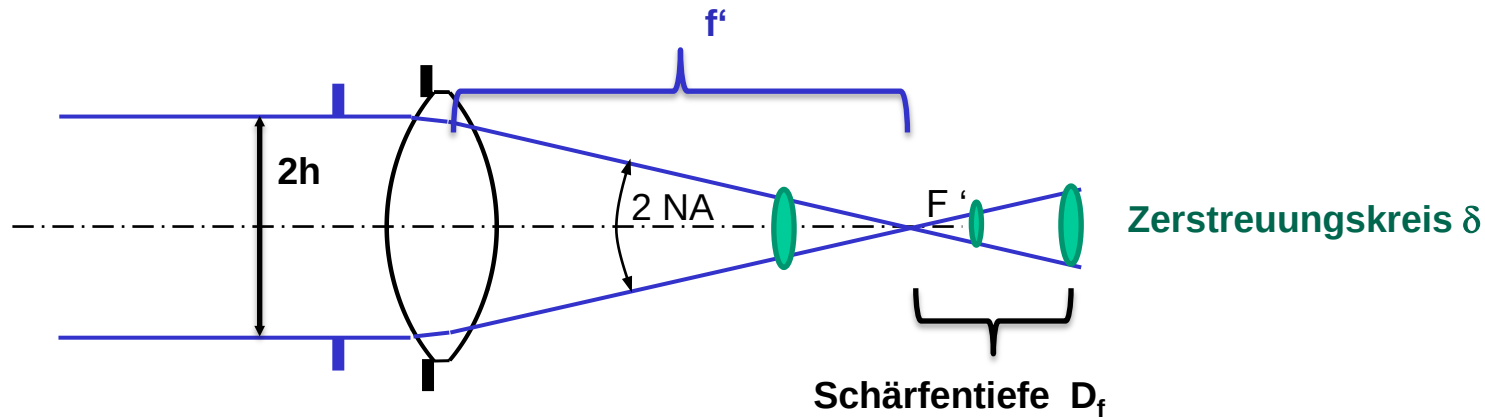


ohne telezentrisches Objektiv:



Telezentrische Köhler Beleuchtung





Geometrische Schärfentiefe

Bestimmt durch Auflösungsgrenze δ_g , z.B. Korngröße Film, Pixelgröße

Dreisatz:

$$\frac{2h}{f'} = \frac{\delta_g}{D_f}$$

$$D_f = k \cdot \delta_g = \frac{\delta_g}{2 \cdot NA}$$

Beugungsbegrenzte Schärfentiefe

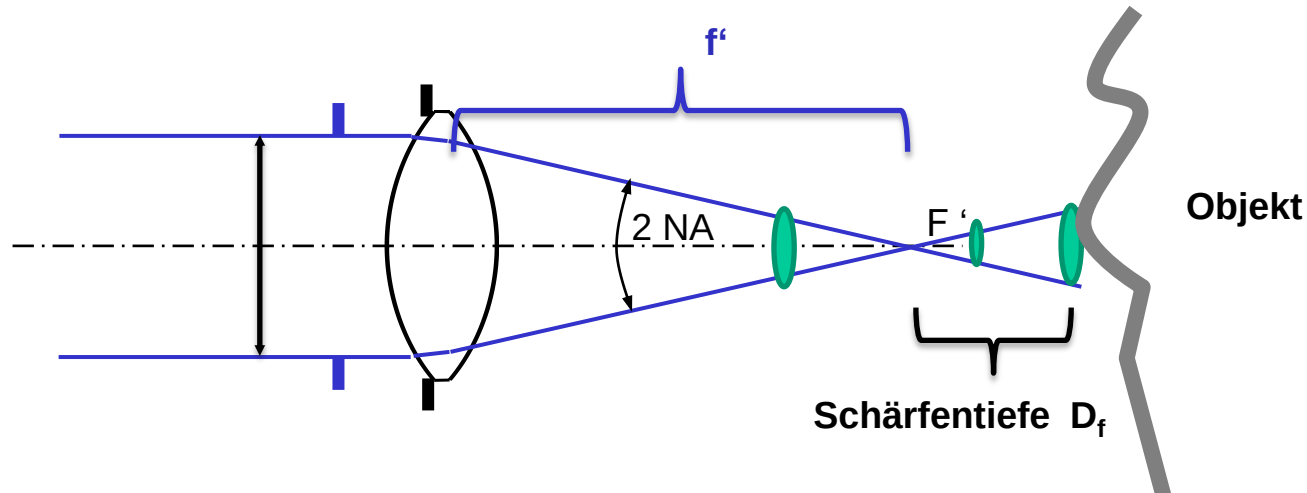
Größe des beugungsbegrenzten Airy-Scheibchens bei Defokussierung

$$D_f \propto \frac{1}{NA^2} \propto k^2$$

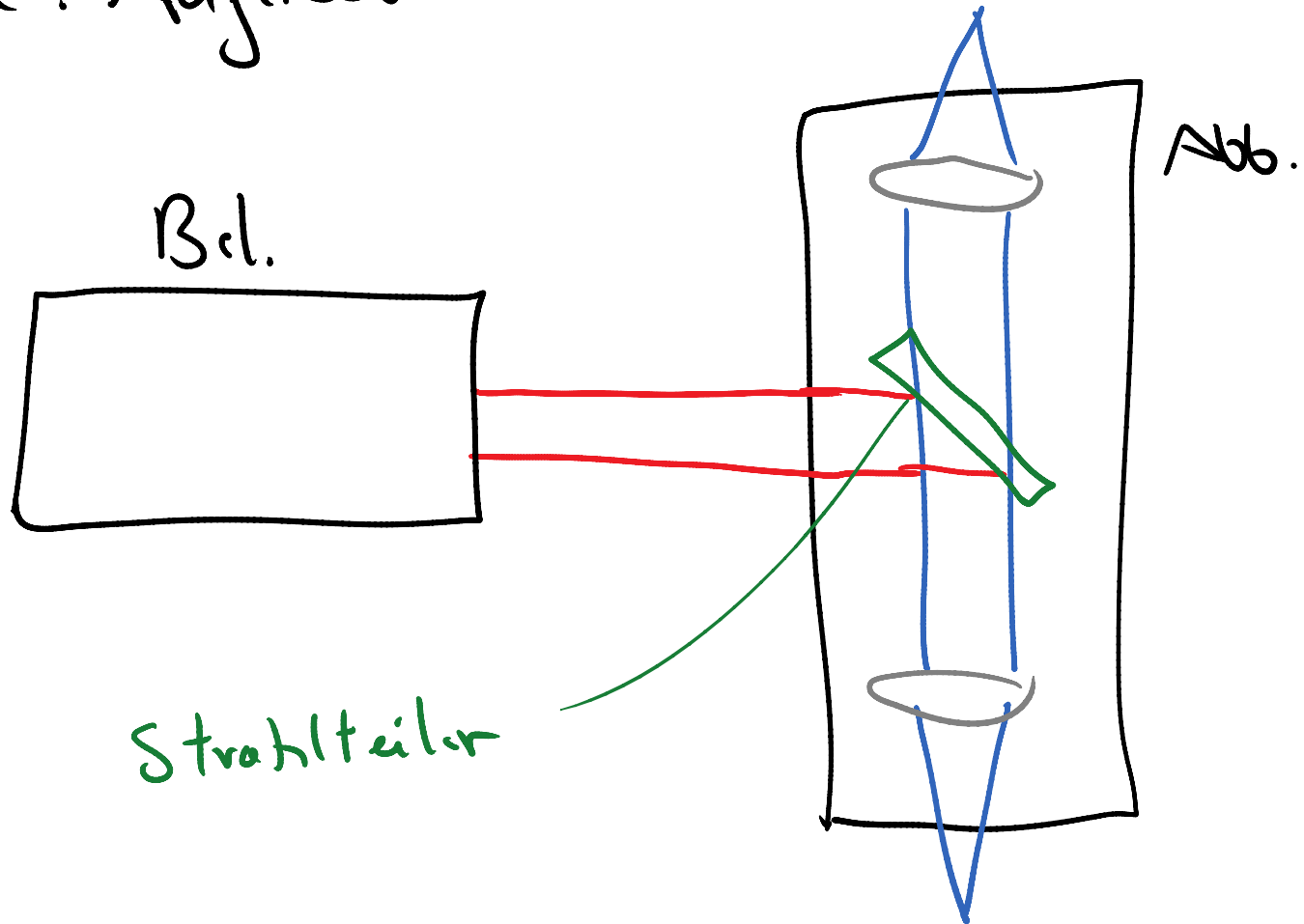
Oft gibt es Anforderungen an eine hohe Schärfentiefe:

- 3D-Objekt
- Unebenheiten Objekt
- Kipp des Detektors
- Genauigkeiten der z-Stage
- Prozessfenster (Toleranz gegenüber Fehlern)

→ **Hohe Schärfentiefe und hohe Auflösung sind nicht vereinbar**
(...es gibt Tricks: Bildverarbeitung, Multifokal-Systeme, etc)

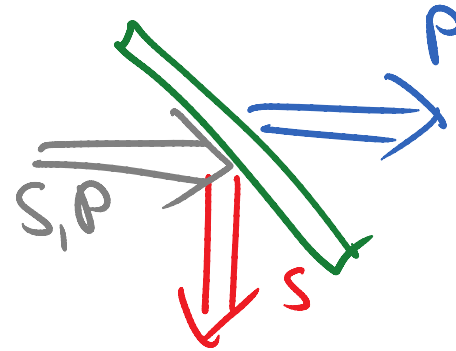


Beispiel: Auflist

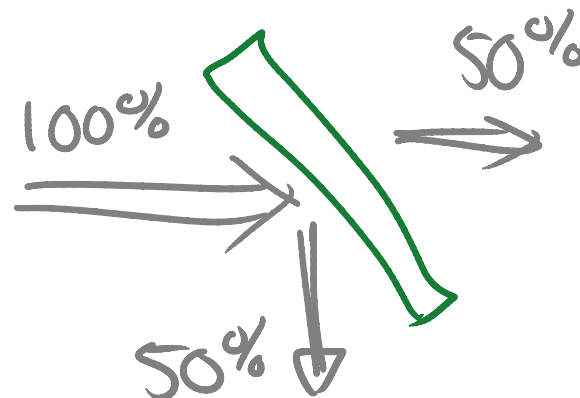


Arten von Strahlteilern

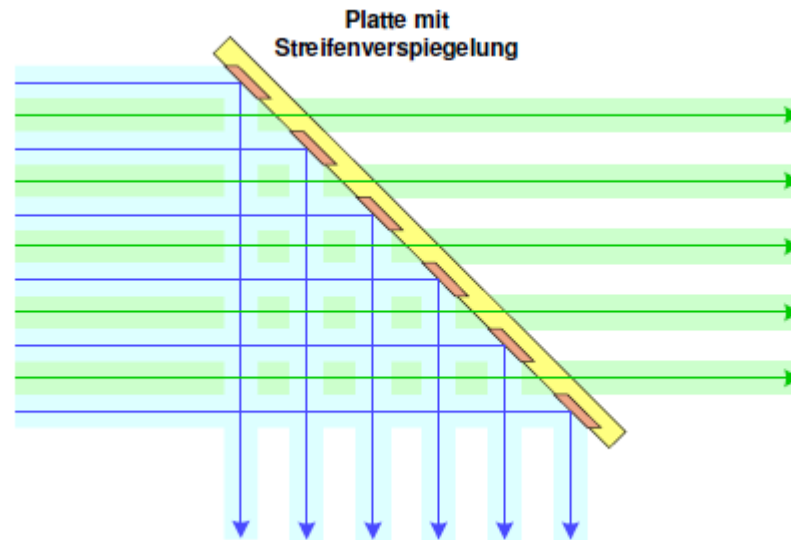
– Polarisierung



– Teiler -Schicht

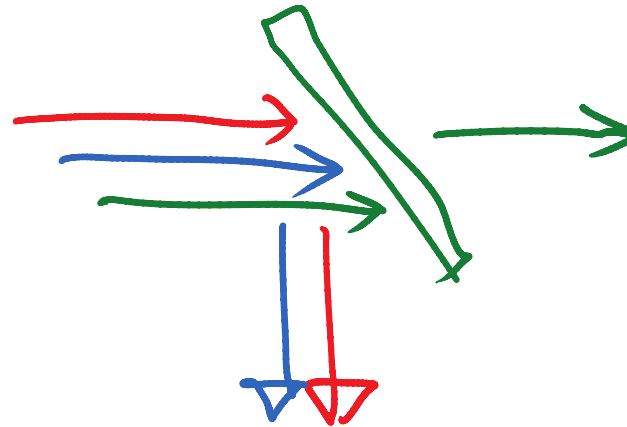
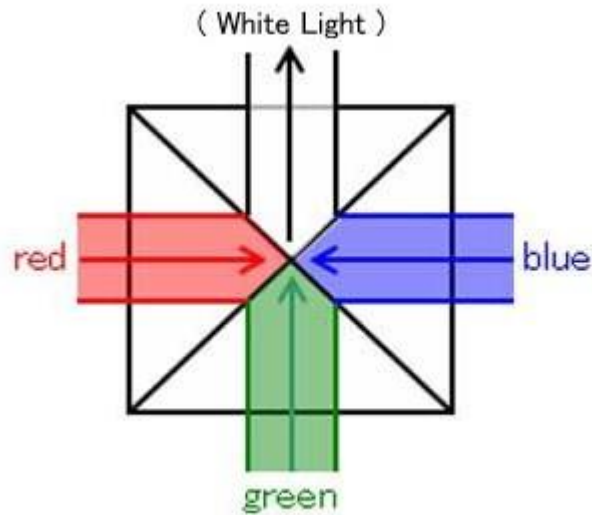


- geometrische
Teilung

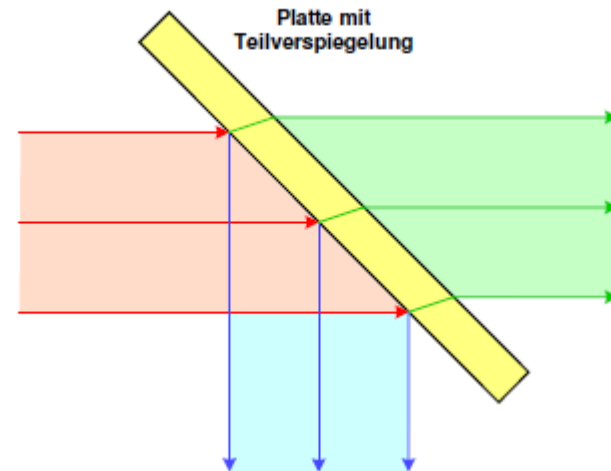
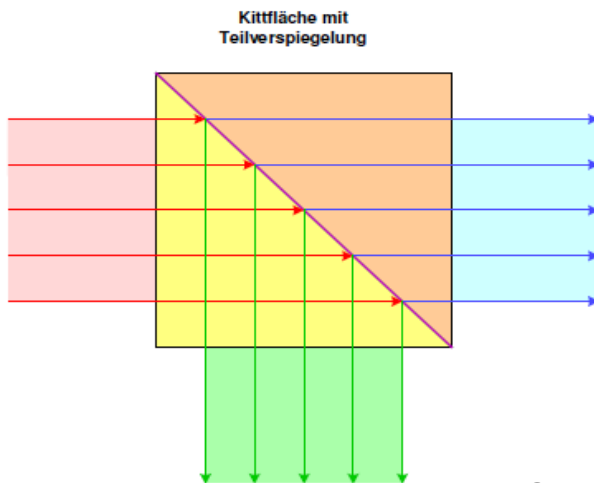
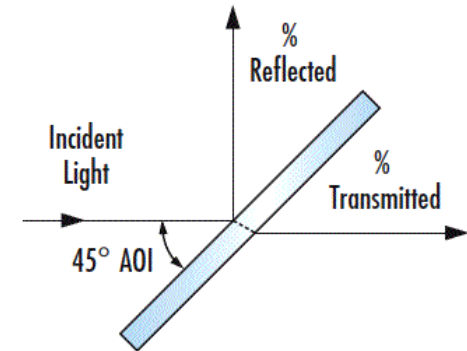
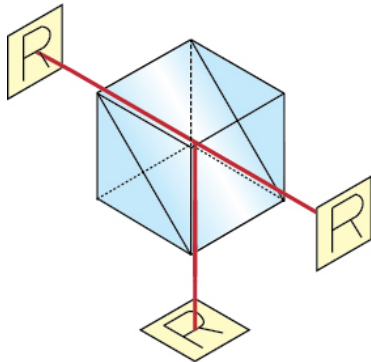


Quelle: H. Gross „Opt. Systems“

– Farbe (Dichroitisch)



<http://www.idearoptics.com/upimages/2011511194515510.jpg>

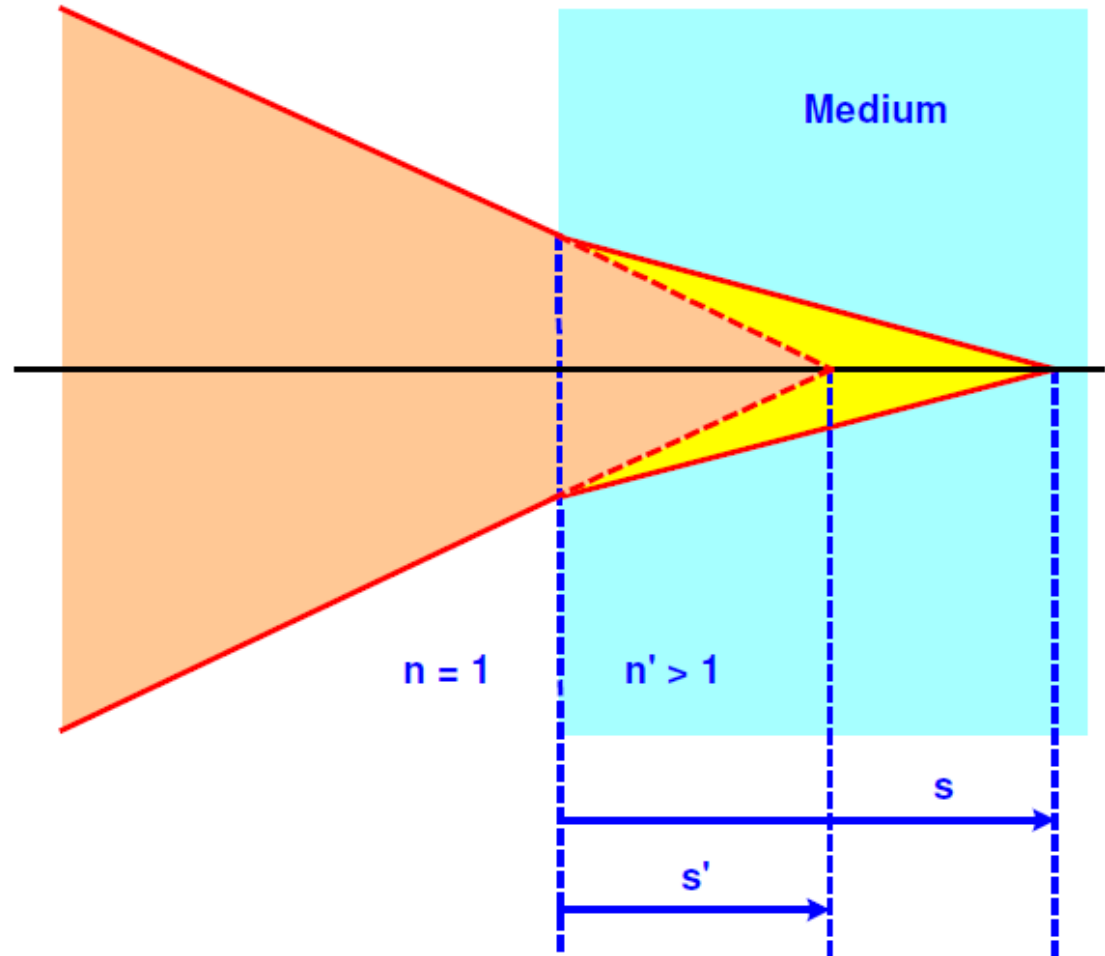


Quelle: H. Gross „Opt. Systems“

- Einzelne Grenzfläche :
Verschiebung der Bildlage

$$s' = s \cdot \frac{n'}{n}$$

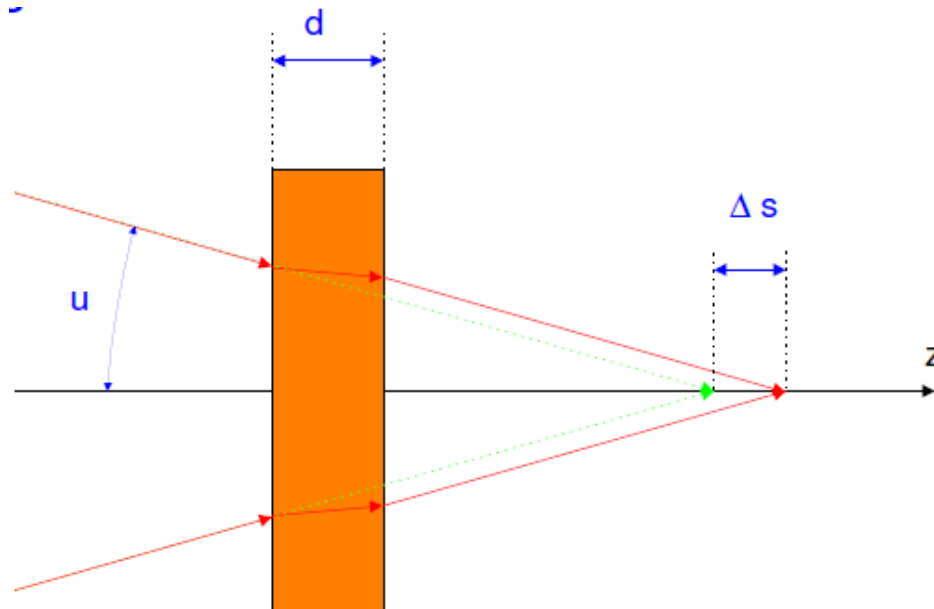
- Beispiel :
Blick in Wasser : Objekte
scheinen näher



Quelle: H. Gross „Opt. Systems“

- Glasplatte verschiebt die **Bildlage** nach vorn
Schnittweite wird verlängert

$$\Delta s' = \frac{n-1}{n} d \approx \frac{d}{3}$$

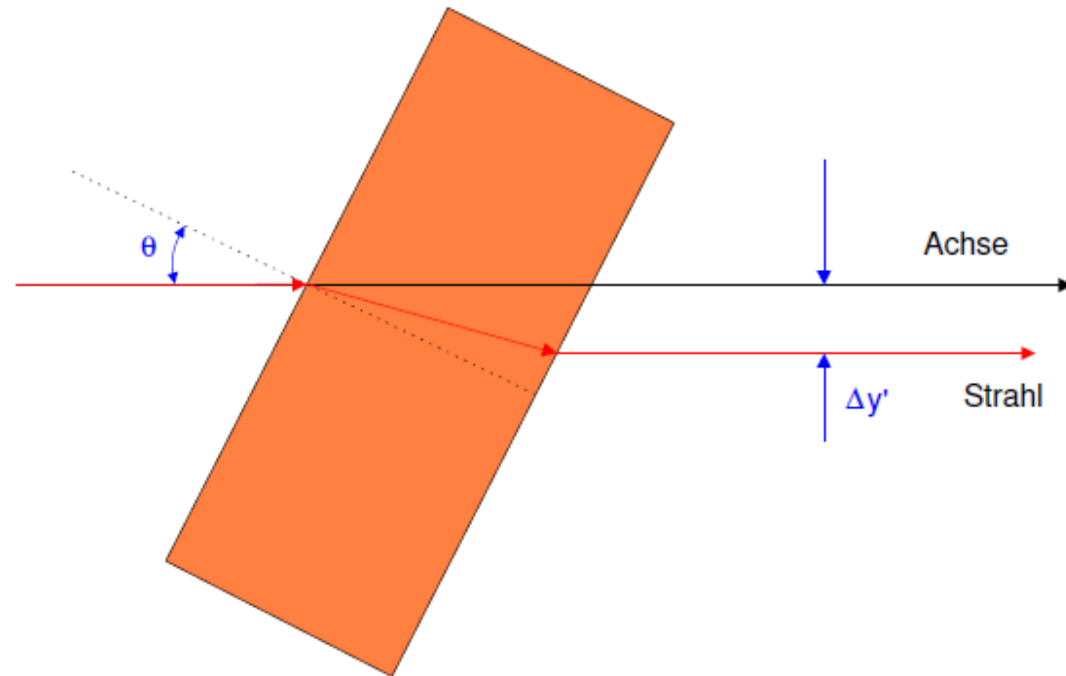


Quelle: H. Gross „Opt. Systems“

- Planplatte mit **Kippung** : Achsversatz
(hier Näherung kleine Drehwinkel)

$$\Delta y = \frac{n-1}{n} \cdot d \cdot \sin \theta = \Delta s' \cdot \sin \theta$$

- Anwendung : Gezielte Einstellung eines kleinen Offsets für Justagezwecke



Quelle: H. Gross „Opt. Systems“

Bildfehler für Planelemente im Strahlengang



- Für endliche Aperturen : **Öffnungsfehler** (3. Ordnung)

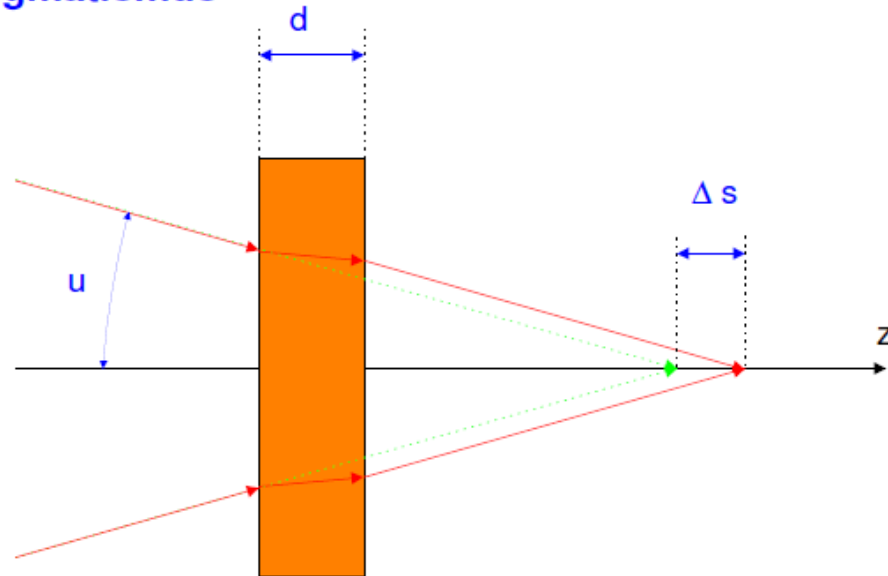
Anwendung : Deckglas im Mikroskop

$$\Delta s'_{sph} = \frac{d \cdot (n^2 - 1) \sin^2 u}{2n^3}$$

- Nicht-paralleler Strahlengang : **Astigmatismus**

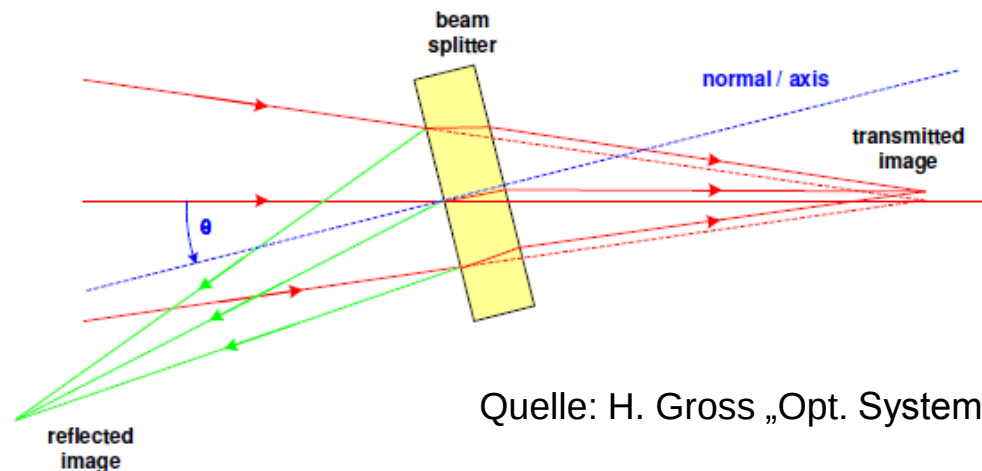
$$\Delta s'_{ast} = \frac{d \cdot (n^2 - 1) \cdot \sin^2 w}{n^3}$$

- Anwendung : Reflexionsprismen in Geräteoptik.
Möglichst im **parallelen Strahlengang**.



- Im konvergenten Strahl :

Planplatte verursacht auch Astigmatismus CHV und Koma

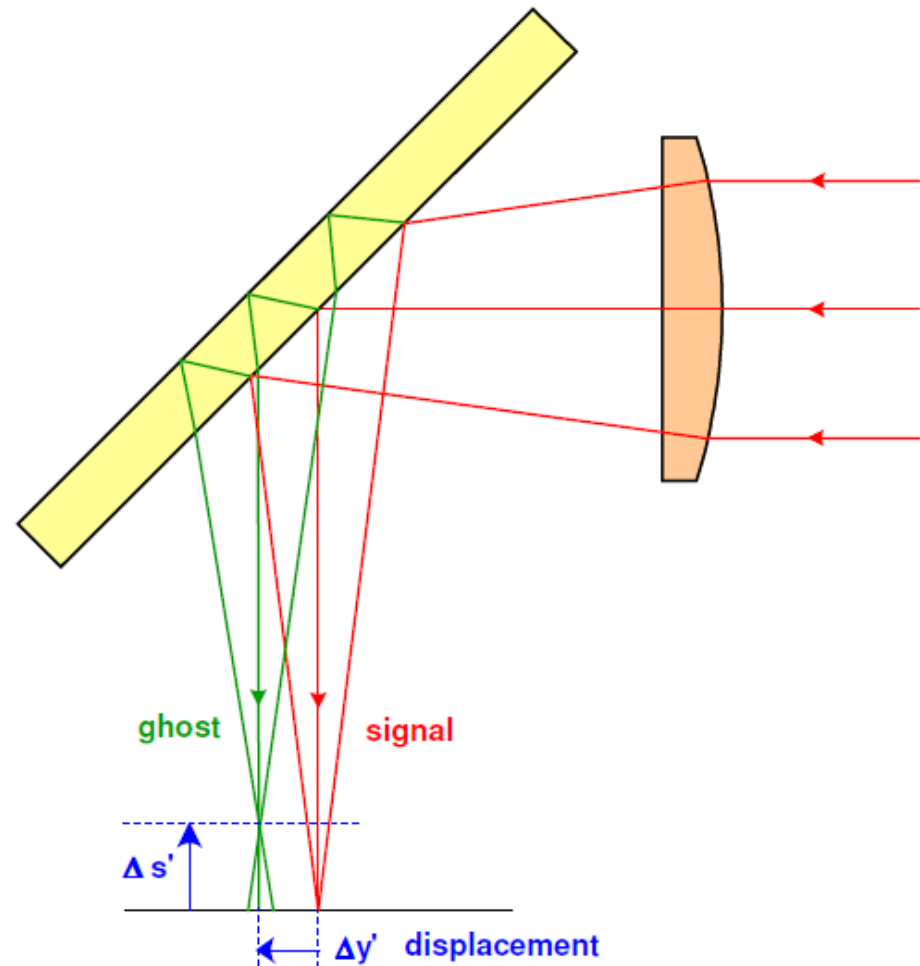


Quelle: H. Gross „Opt. Systems“

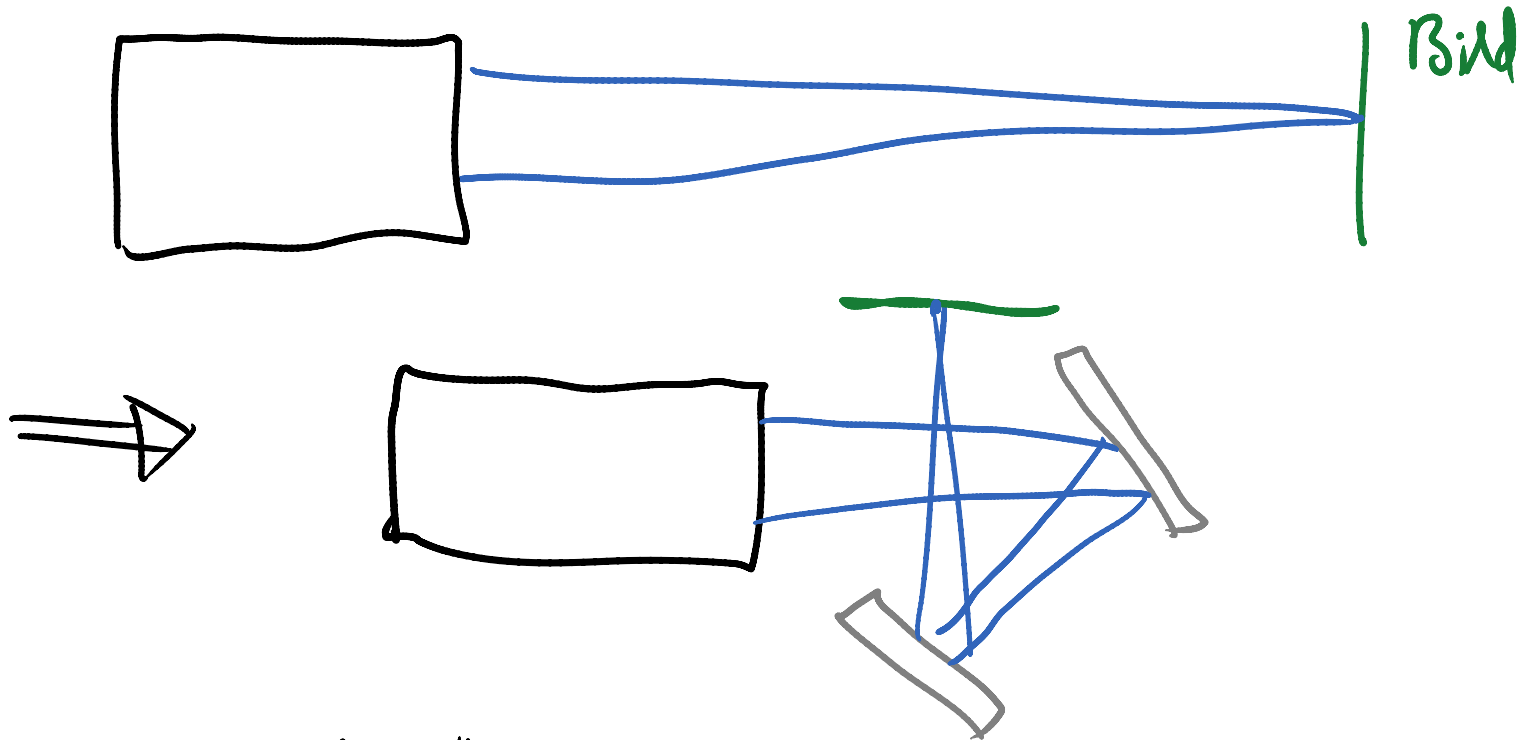
Probleme mit Strahlteiler-Platten



- Planplatte im nicht-parallelem Licht :
Doppelbilder bei Mängeln in der Beschichtung



Quelle: H. Gross „Opt. Systems“



Mögl.keiten:

- Spiegel
- Prismen

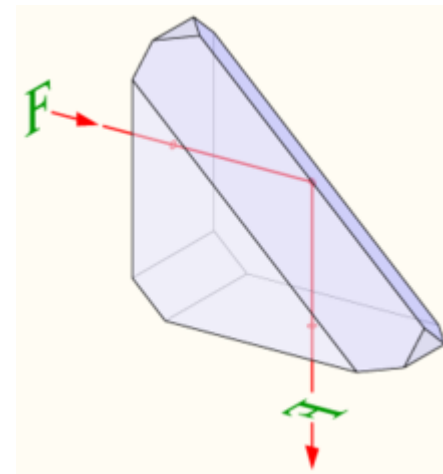
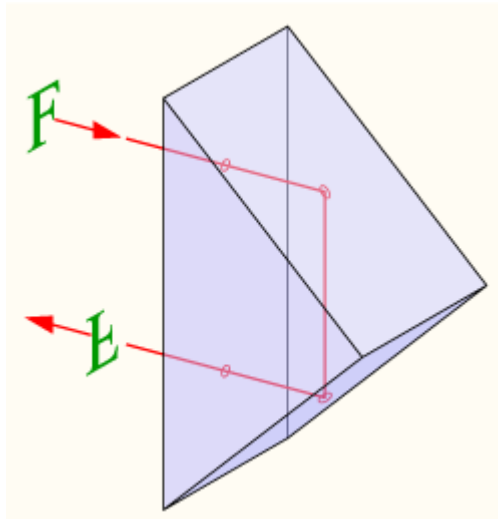
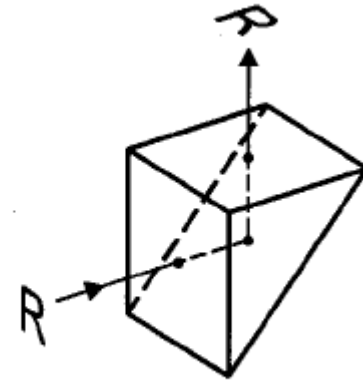
- **Eigenschaften** von Reflexionsprismen *und Spiegeln*:
 - Richtungsänderung, Achsstrahl abgelenkt
 - Parallelversatz, Achsstrahl verschoben
 - Bildlageänderung :
invariant / Seitenvertauschung / Höhenvertauschung / Inversion
- **Bildlageänderung** :
 - Transformation eines Koordinatendreiecks
 - Berechnung durch vektorielles Reflexionsgesetz
 - Ungerade Anzahl Reflexionen : Umklappen, einseitige **Bildumkehr**, Wechsel von Rechts- / Linkshändigem System
 - Gerade Anzahl Reflexionen : vollständige oder keine Bildumkehr
- **Anwendungen** :
 - Bildlagetransformationen
 - Achstrahltransformationen in der Geräteoptik
 - Schnittweitenanpassungen

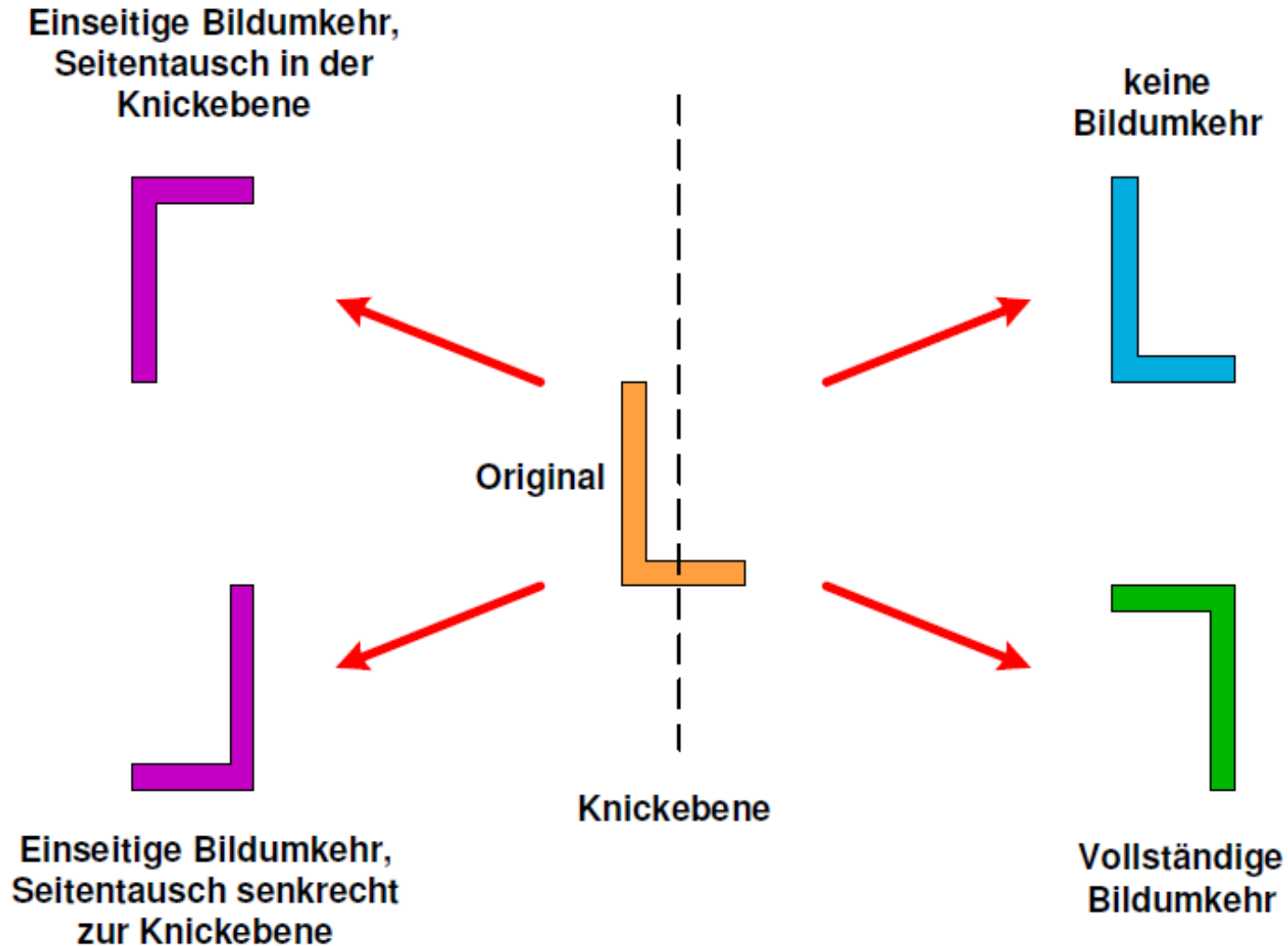
Räumliche Faltung von Systemen



	Prismen	Spiegelsysteme
Transmission bei Ausnutzung der Totalreflexion	+	
Chromatische Eigenschaften, Dispersion		+
Gewicht		+
Zentrierempfindlichkeit , monolithische Komponente	+	
Aufwand Anzahl mechanischer Fassungen	+	
Entspiegelungsschichten	+	
Materialabsorption und Inhomogenitäten		+
Bildfehler im nichtparallelen Strahlengang		+
Reflexe		+
Justageaufwand	+	
Reflexflächen einzeln justierbar		+

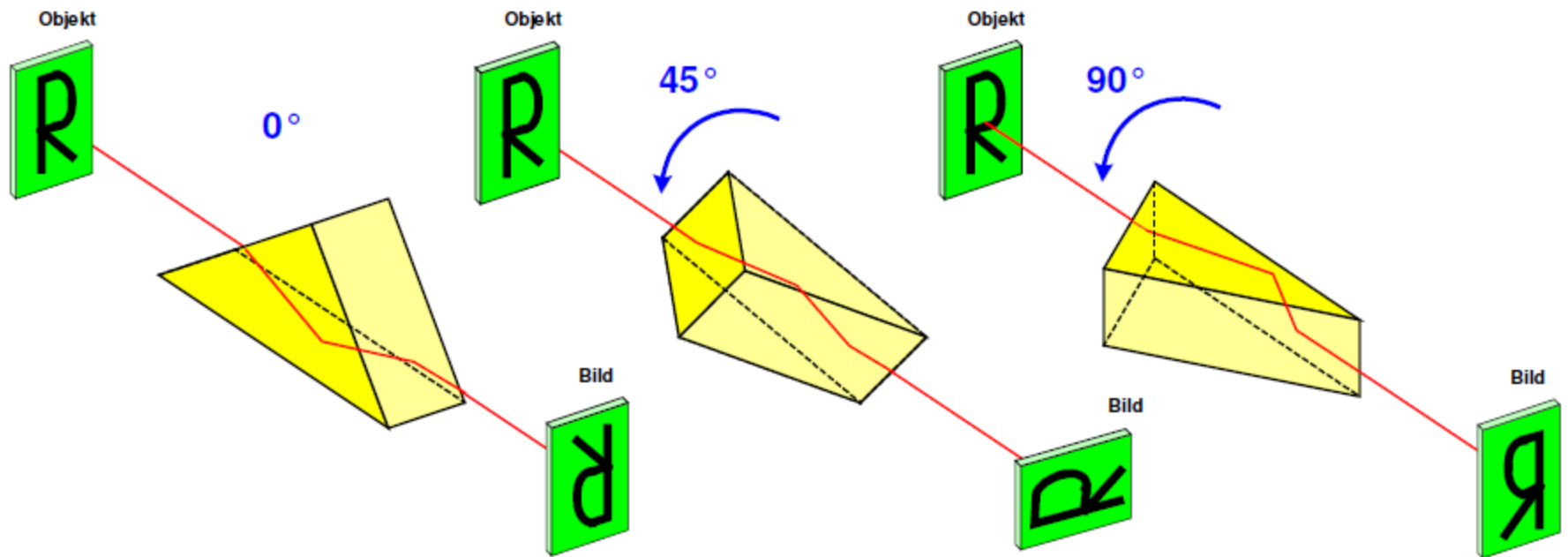
Bildumkehr Spiegel/ Prismen





Quelle: H. Gross „Opt. Systems“

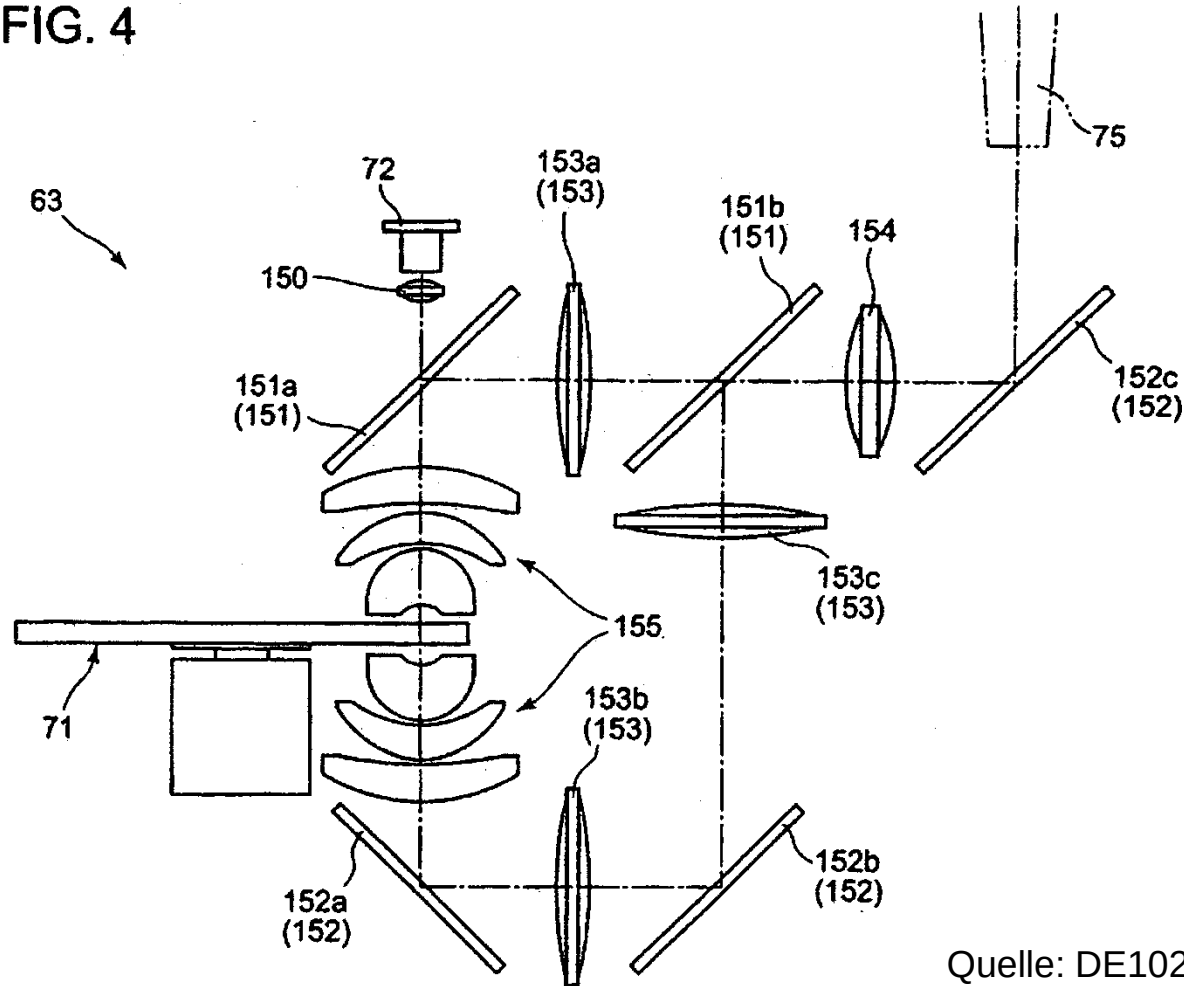
- Geradsichtprismen :
Drehung im Azimut dreht das Bild um den doppelten Winkel



Bei komplexeren Optiksyste men sind viele Grenzflächen beteiligt

→ Betrachtung der Gesamt-Transmission wichtig!!

FIG. 4

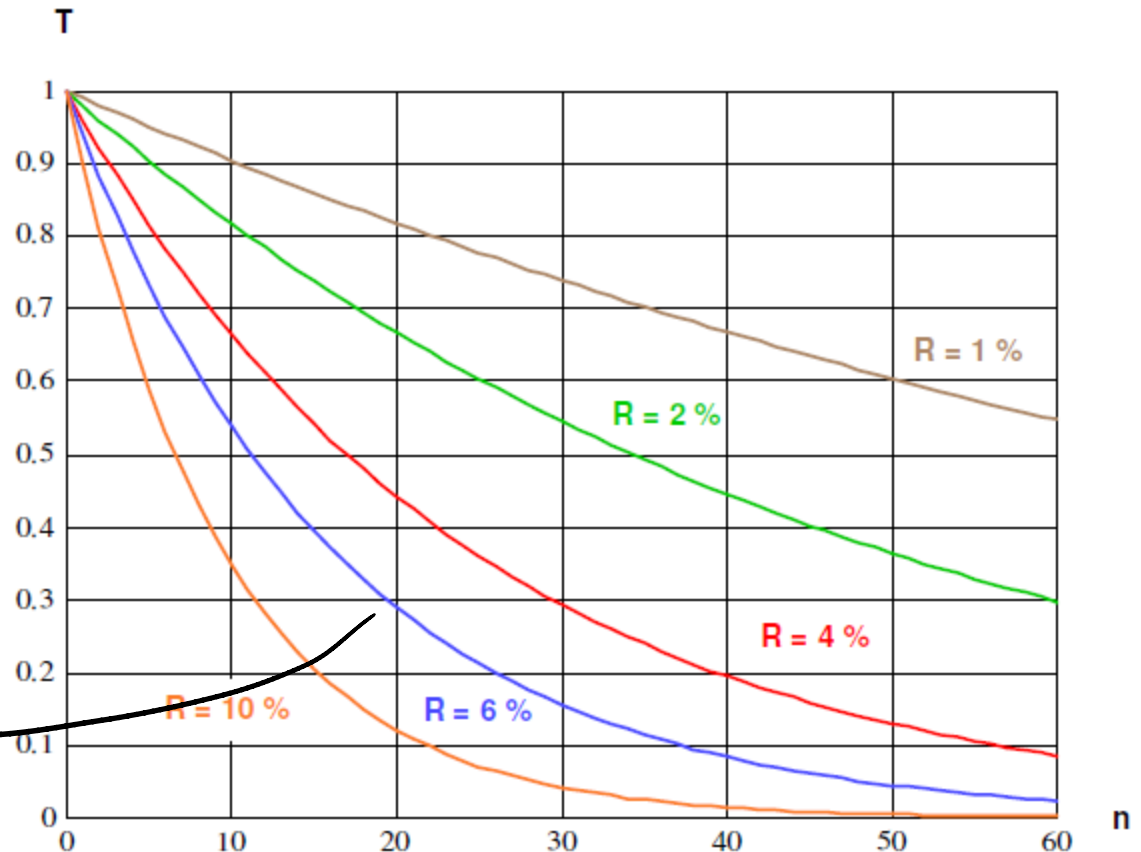


Quelle: DE102010003234A1

- Wirkung der Beschichtungen in einem **optischen System** aus n Flächen : Transmission

$$T_{ges} = (1 - R)^n$$

- Extrem nichtlineare Wirkung
- Bei Restreflexionen : Kontrastminderung durch **Streulicht**



z.B.
System mit
5 Linsen (10 Fl.)

hat bei 6% R nur noch 30% Transmission

Besondere Teiler-Elemente haben großen
Einfluß: z.B. 50/50 Teiler

Bildung

$$T = 0.5$$

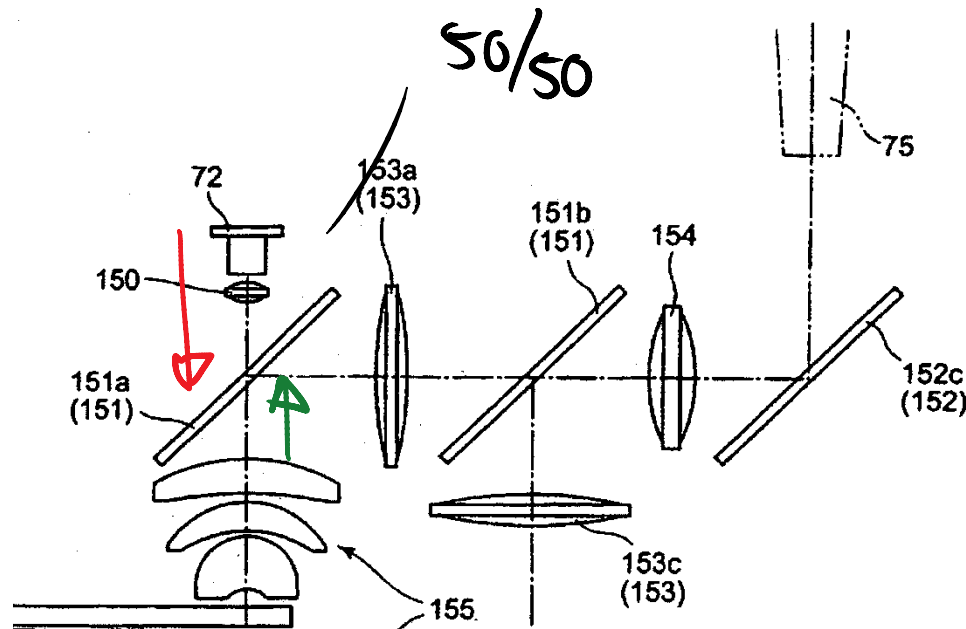
Abbildung

$$T = 0.5$$

$$\Rightarrow T_g = 0.25$$

2. Teiler

$$T_{g,s} = 0.125 \Rightarrow 12.5\% \text{ (ohne Linsen-Reflex)}$$

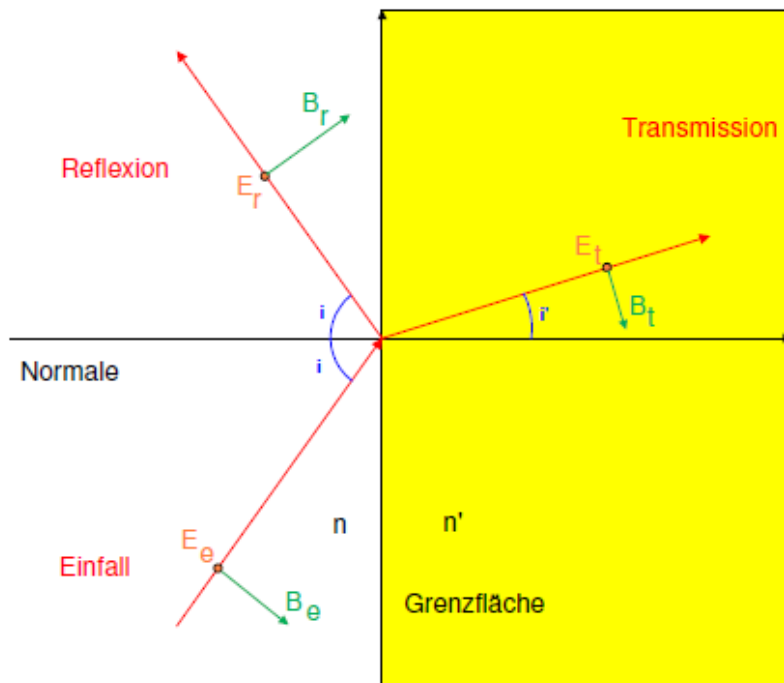


Unbeschichtete Flächen: Fresnel-Gleichungen

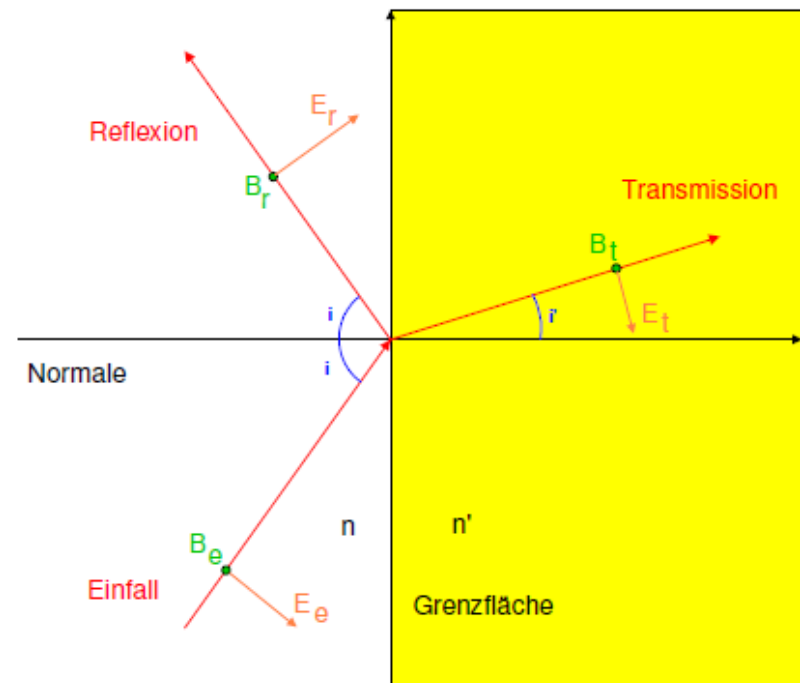


- Brechung : Schematische Darstellung der Feldkomponenten je nach Polarisation

s - Fall

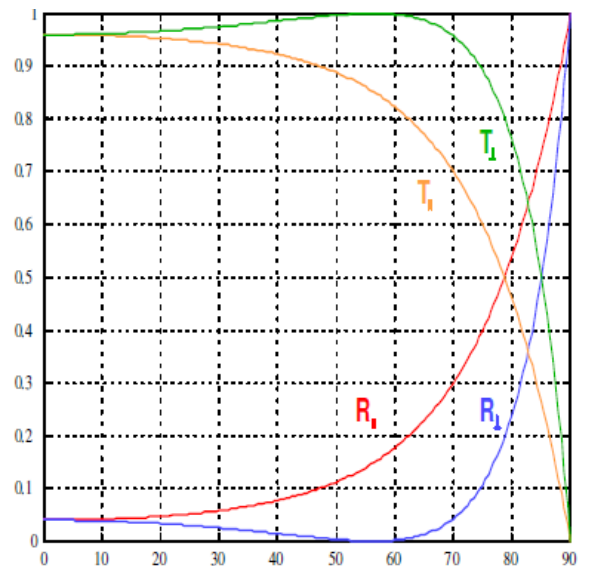


p - Fall



- Reflektivität und Transmission : Strahlleistung

$$R_{\perp} = \frac{\sin^2(i - i')}{\sin^2(i + i')} \quad R_{\parallel} = \frac{\tan^2(i - i')}{\tan^2(i + i')} \quad T_{\perp} = \frac{\sin 2i' \cdot \cos 2i}{\sin^2(i + i')} \quad T_{\parallel} = \frac{\cos 2i \cdot \sin 2i'}{\sin^2(i + i') \cdot \cos^2(i - i')}$$



- Sonderfall senkrechte Inzidenz

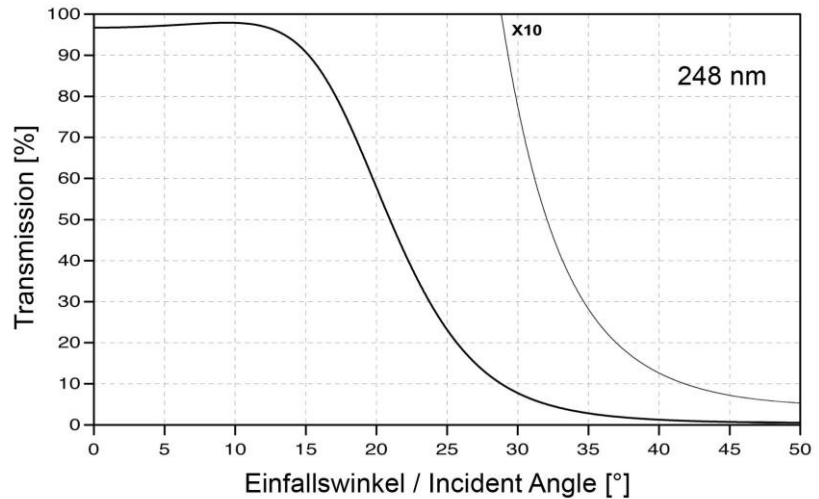
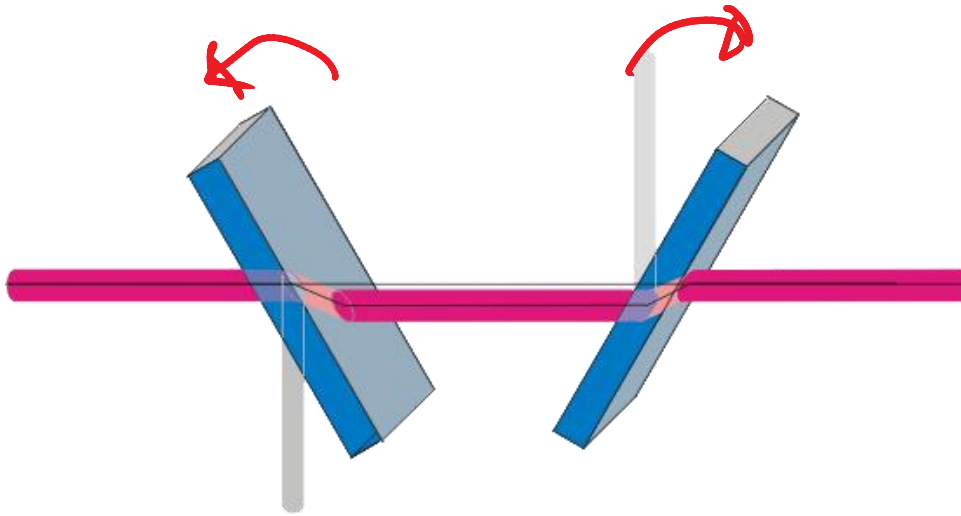
$$R_{\perp} = \left(\frac{n - n'}{n + n'} \right)^2$$

$$T_{\perp} = \frac{4n \cdot n'}{(n + n')^2}$$

Speziell Übergang
Glas - Luft

n	R
1.4	2.778 %
1.5	4.0 %
1.8	8.16 %
2.4	16.96 %

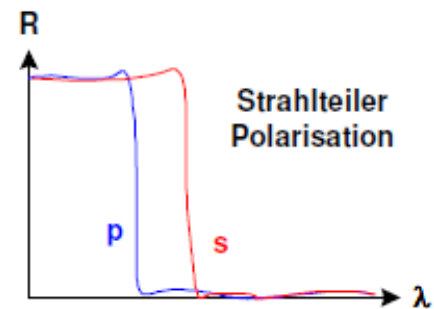
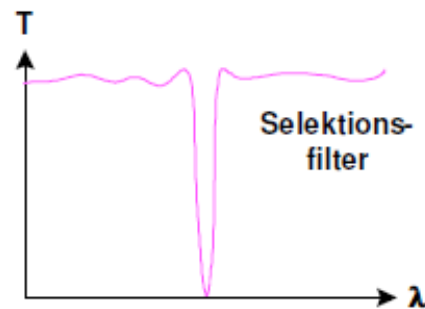
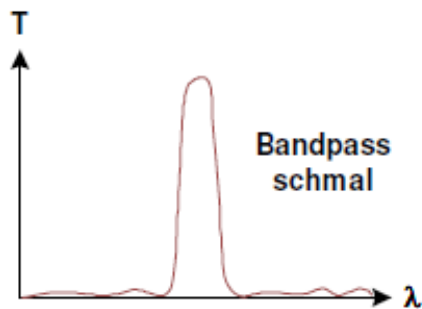
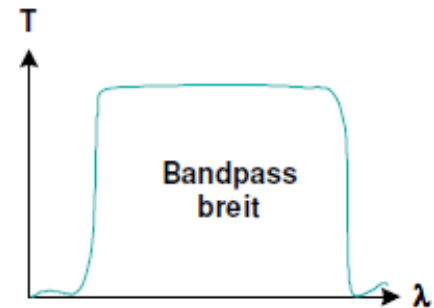
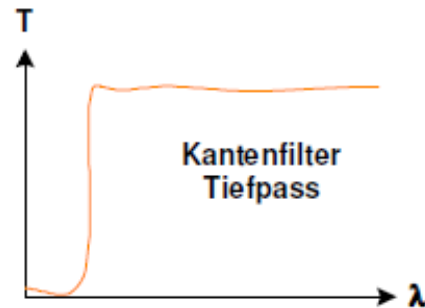
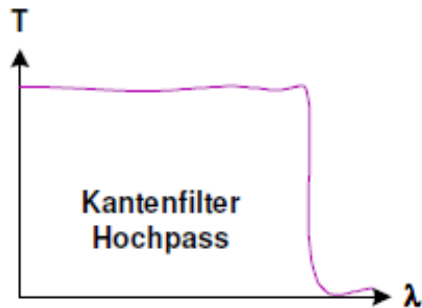
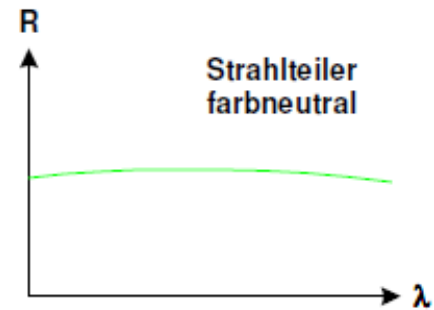
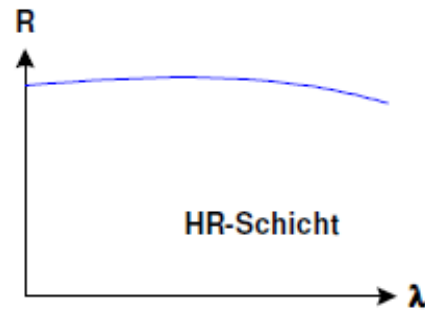
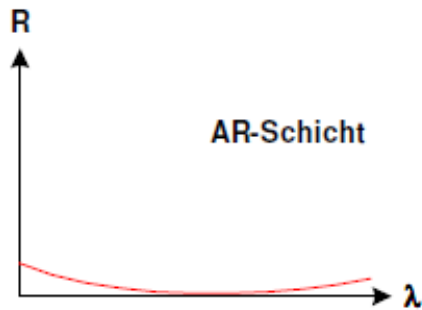
Anwendung variable Strahlabschwächung



Quelle: www.metrolux.de

- Optische **Multilayersysteme** :
Gezielte Beeinflussung von **Reflexion**, **Transmission**, Polarisation
- Einsatz in konventionellen optischen Systemen :
 - Verbesserung der Gesamttransmission
 - Vermeidung von **Reflexlicht**
- Schichtsysteme :
 - **Interferenzprinzip** an vielen Grenzflächen
 - Layerdicken in der Größenordnung der Wellenlänge
 - Komplexe Berechnung
- **Typen** von Schichtsystemen :
 - AR-Coatings ('**Vergütung**')
 - HR-Coatings (**Spiegelschichten**)
 - Kantenfilter
 - Bandpaßfilter
 - Teilerschichten
 - Polarisationschichten
 - Farbfilter

Schichten und Filter

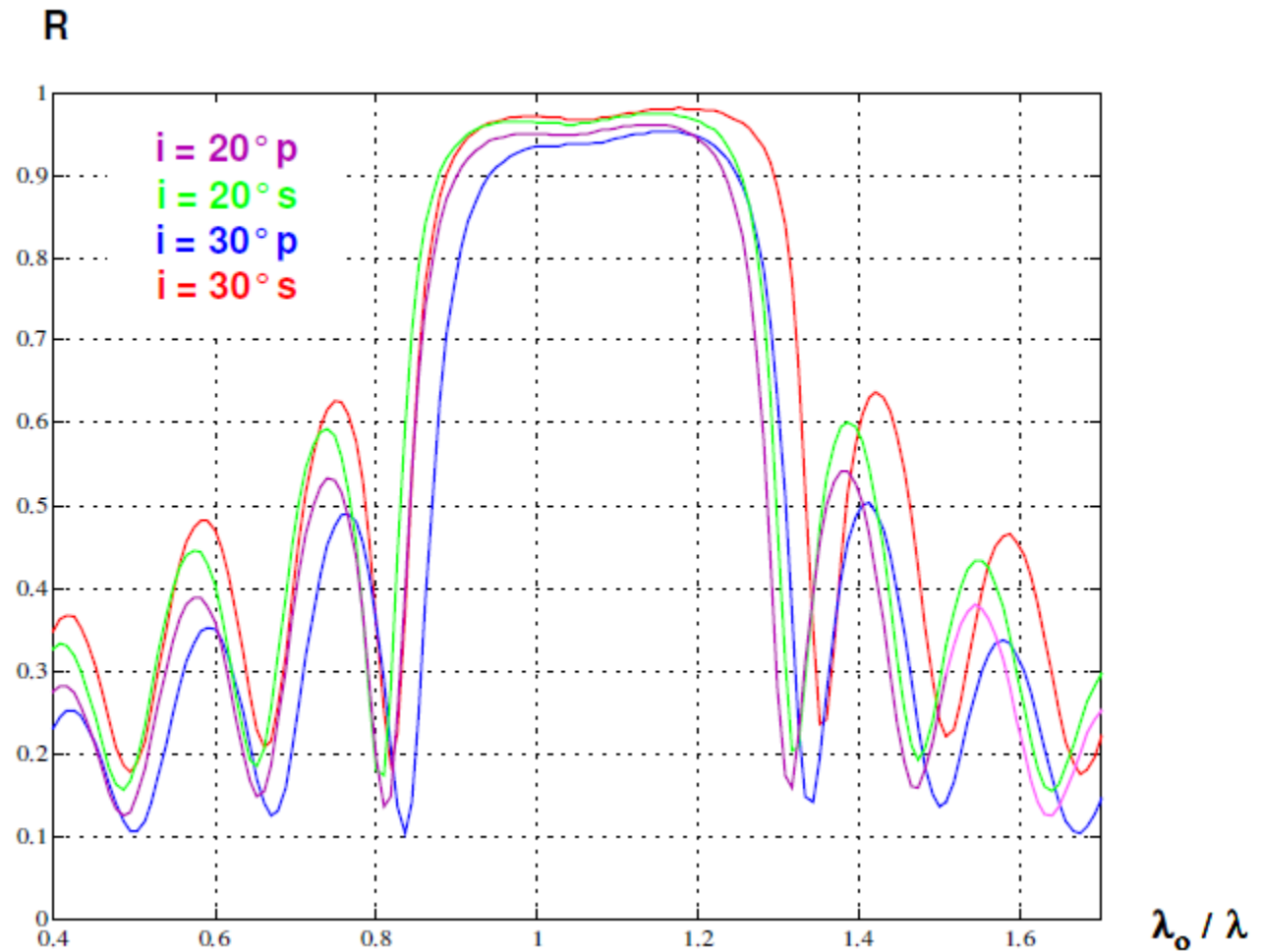


Quelle: H. Gross, 'Handbook of optical systems 1-4'

Abhängigkeit von Winkel und Polarisation



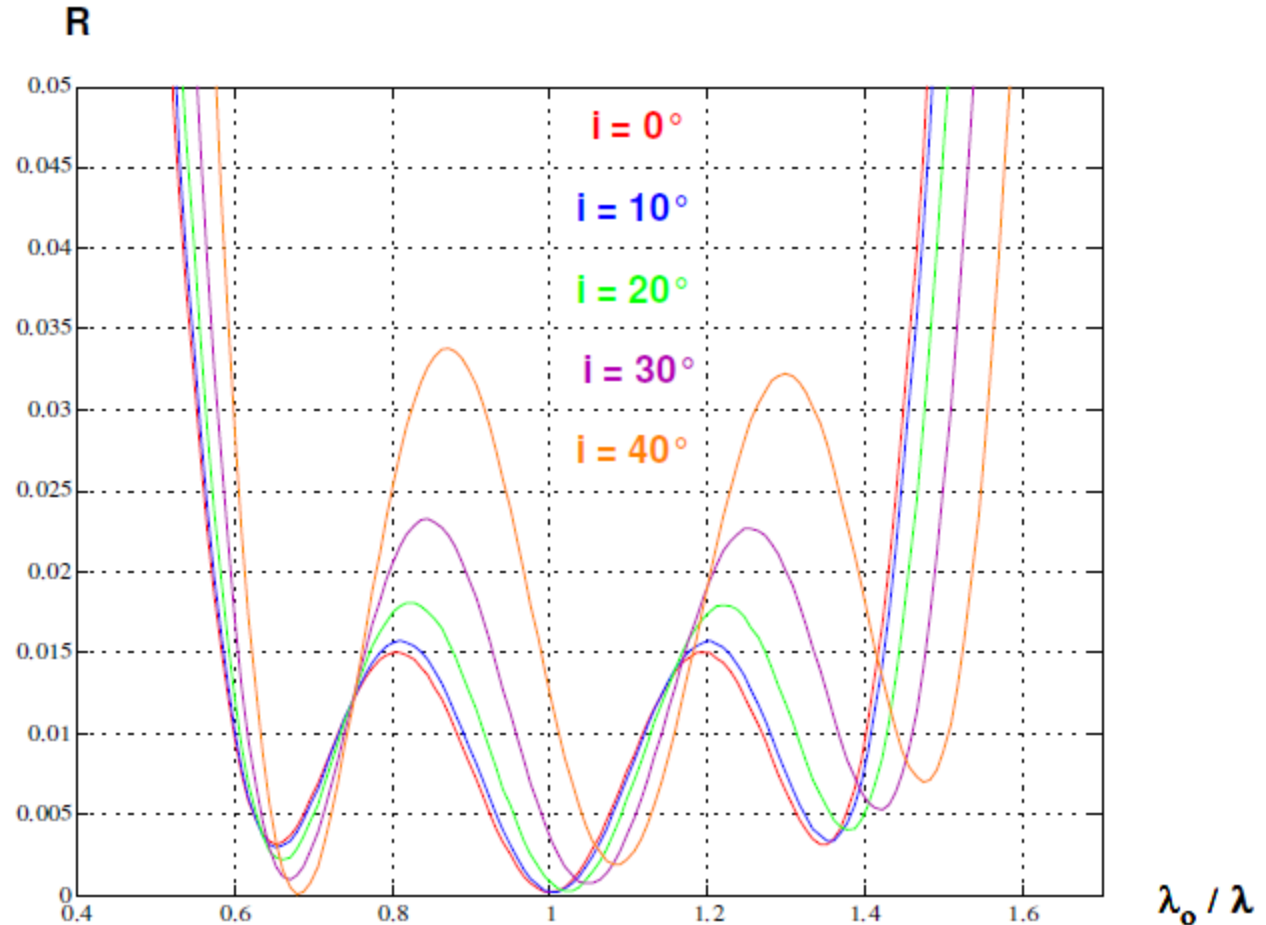
- **Beispiel 1 :**
13 Layer mit abwechselnd
L : $n = 1.45$
H : $n = 2.35$

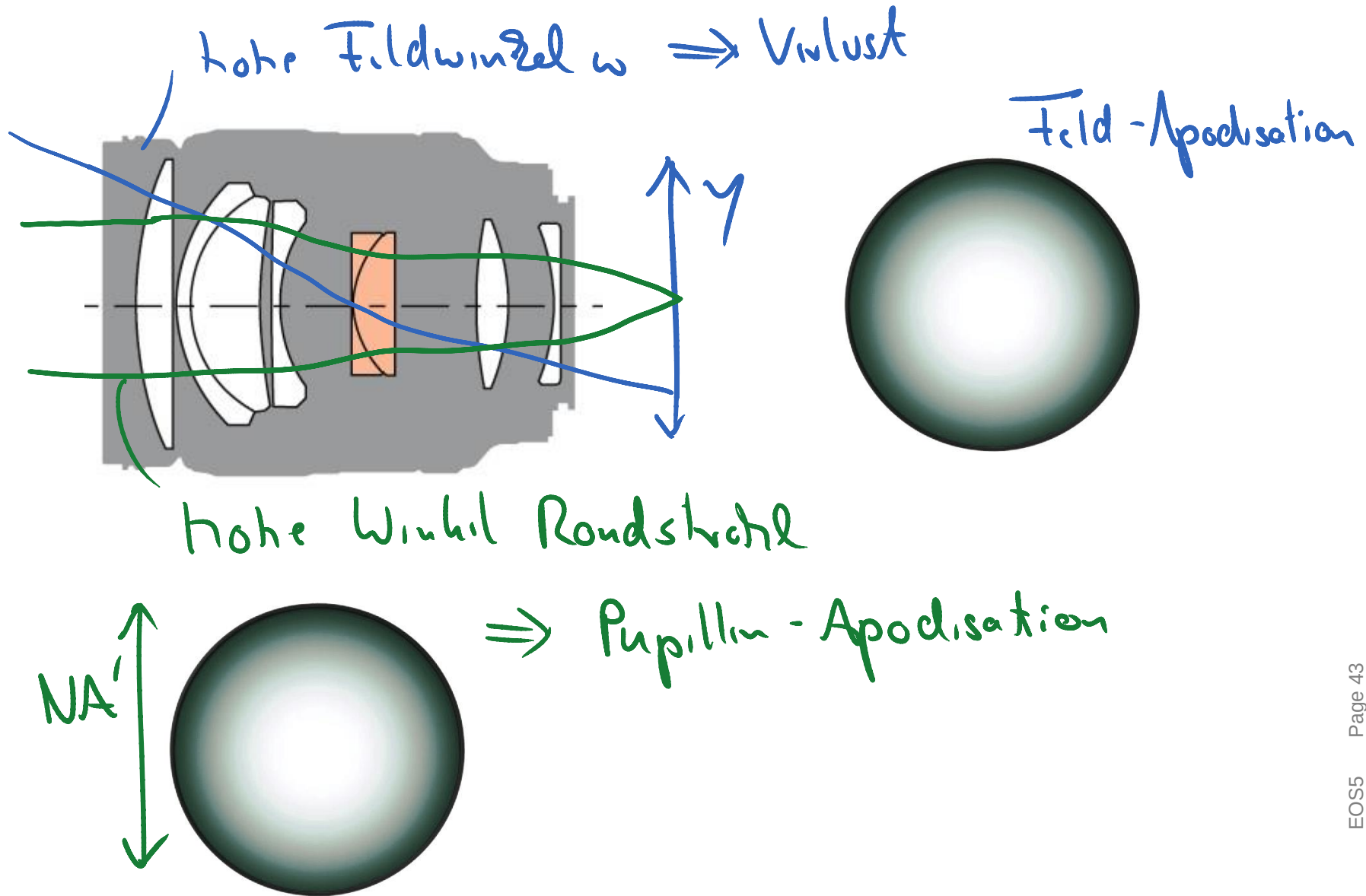


Abhängigkeit von Winkel und Polarisation



- **Beispiel 2 :**
4-fach-Schicht aus
jeweils $\lambda / 4$ dicken
Layern





Bei Kombination von optischen Systemen muss beachtet werden

- ➔ Anpassung Feld-Lage und – Größe
- ➔ Anpassung Pupillen-Lage (Richtung, Telezentrie) und Größe (NA)

Große Schärfentiefe und gute Auflösung sind unvereinbar

Zur räumlichen Faltung von Systemen

- ➔ eignen sich Prismen & Spiegel
- ➔ muss die Bildlage und Orientierung beachtet werden

Strahlteiler basieren auf:

- Polarisierung
- Schichten
- Farbe
- Geometrische Teilung

Gesamttransmission

- Durch Schichttransmission beeinflusst
- skaliert mit $(T_{\text{einzel}})^N$
- Teiler wirken sich stark aus
- ist Ursache von Apodisation