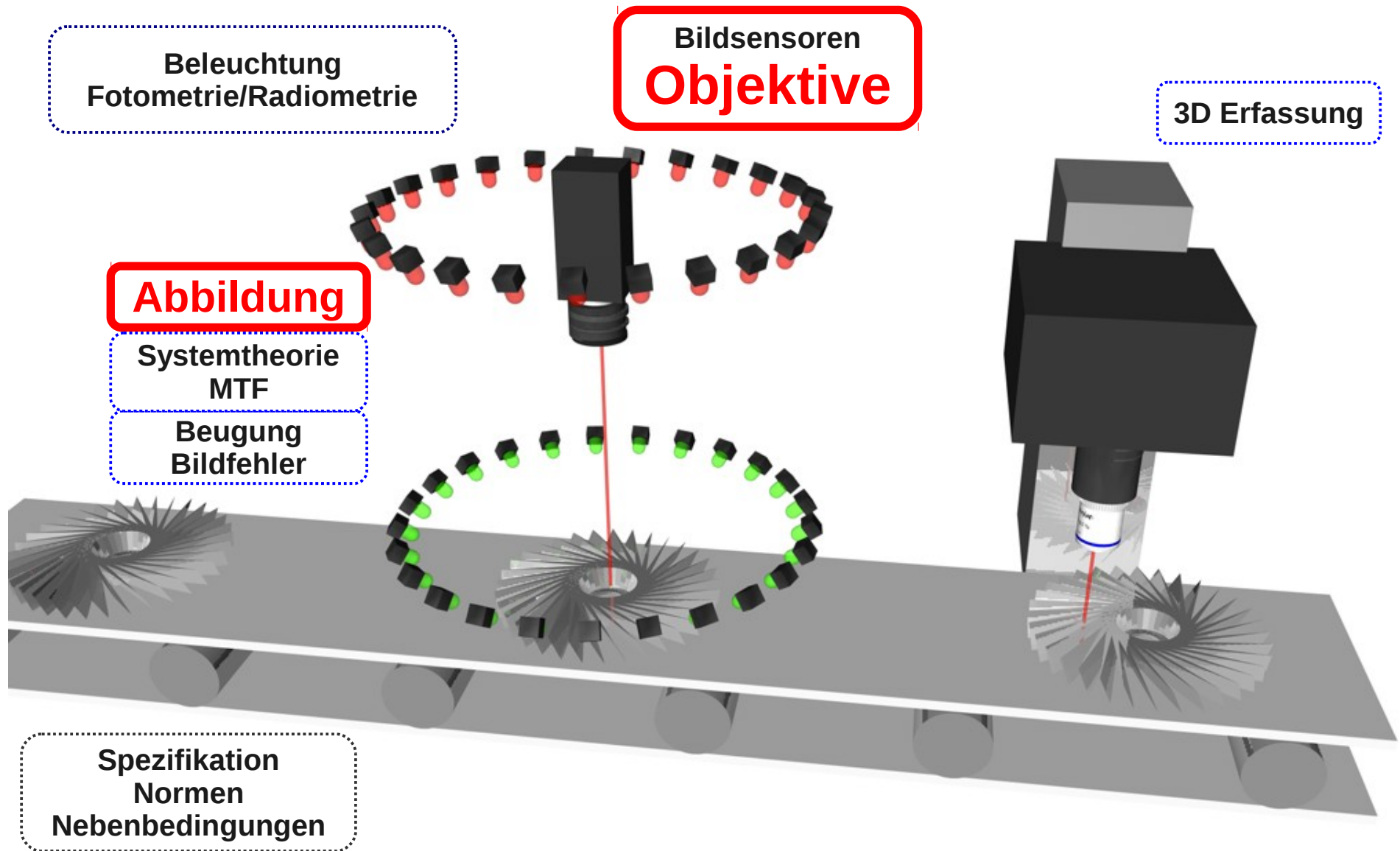


Auslegung der Abbildung



Letztes Mal



Abbildung mit einer Linse/Objektiv

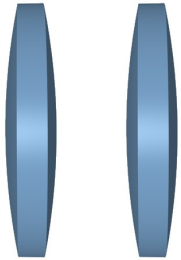


Abbildung mit 2 Linsengruppen

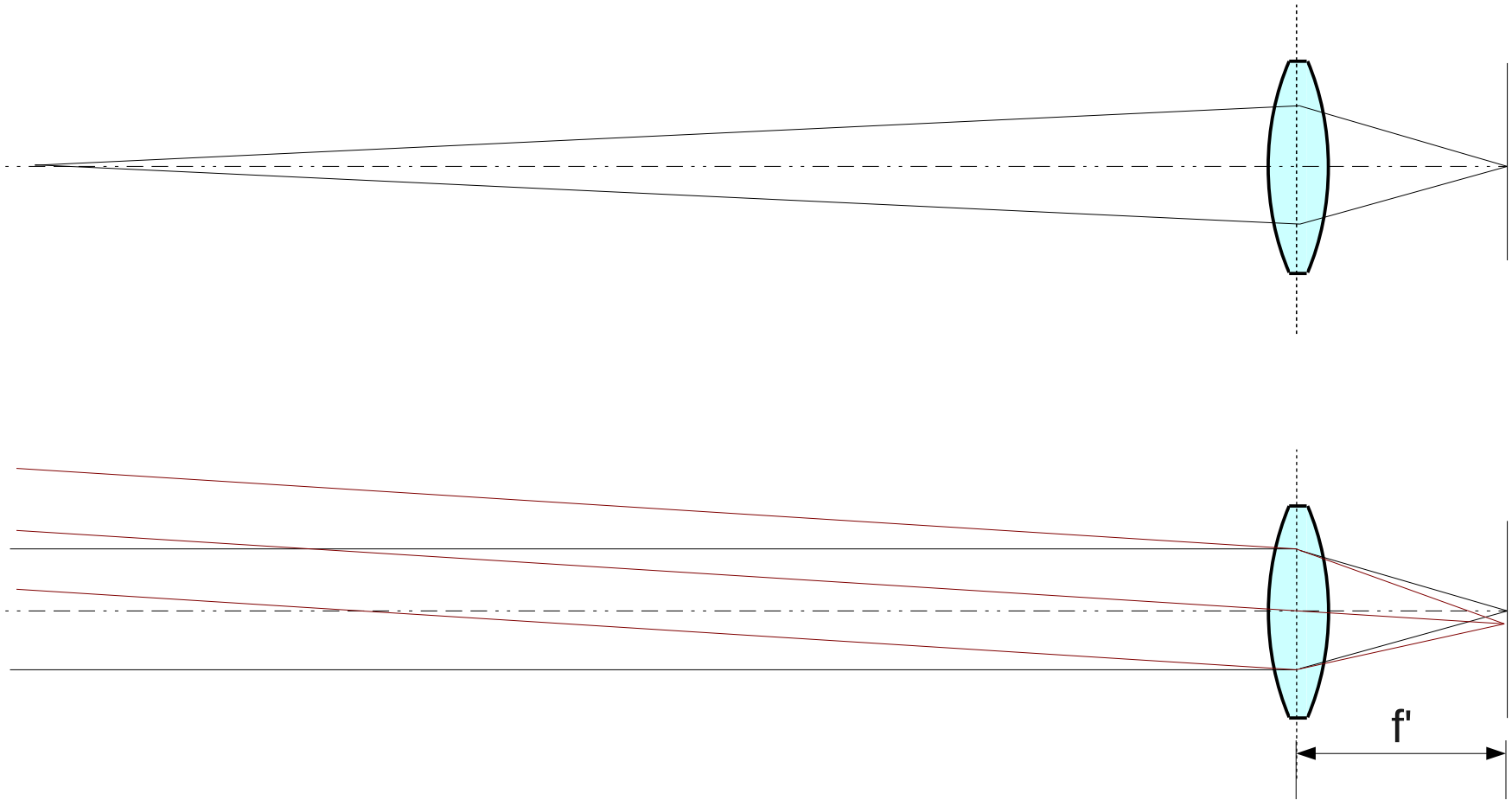


Blende, Pupille, Numerische Apertur

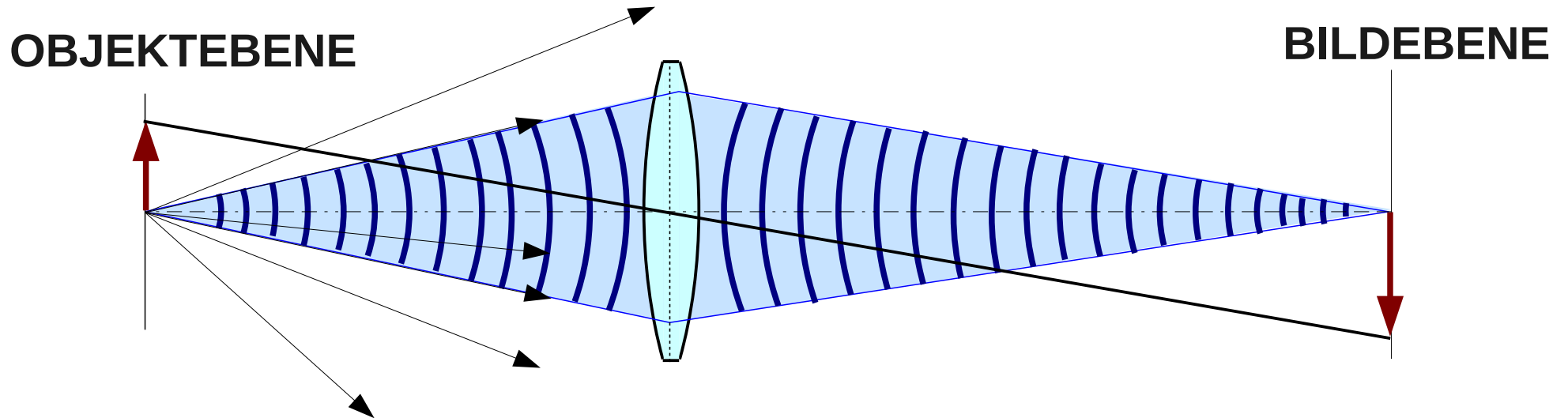
Letztes Mal und Heute: Was sollten Sie lernen ?

- 1 Auslegung von Abbildungssystemen (paraxial)**
- 2 Wahl der Blende**
- 3 Für Abbildungen relevanten Begriffe in eigenen Worten erklären und mit Beispielen verdeutlichen**
(Brennweite, Hauptebene, Objektstand, Bildabstand, Blende, Pupille, NA, Blendenzahl, Schärfentiefe).
- 4 Perspektive / Telezentrie**
- 5 Auflösung**

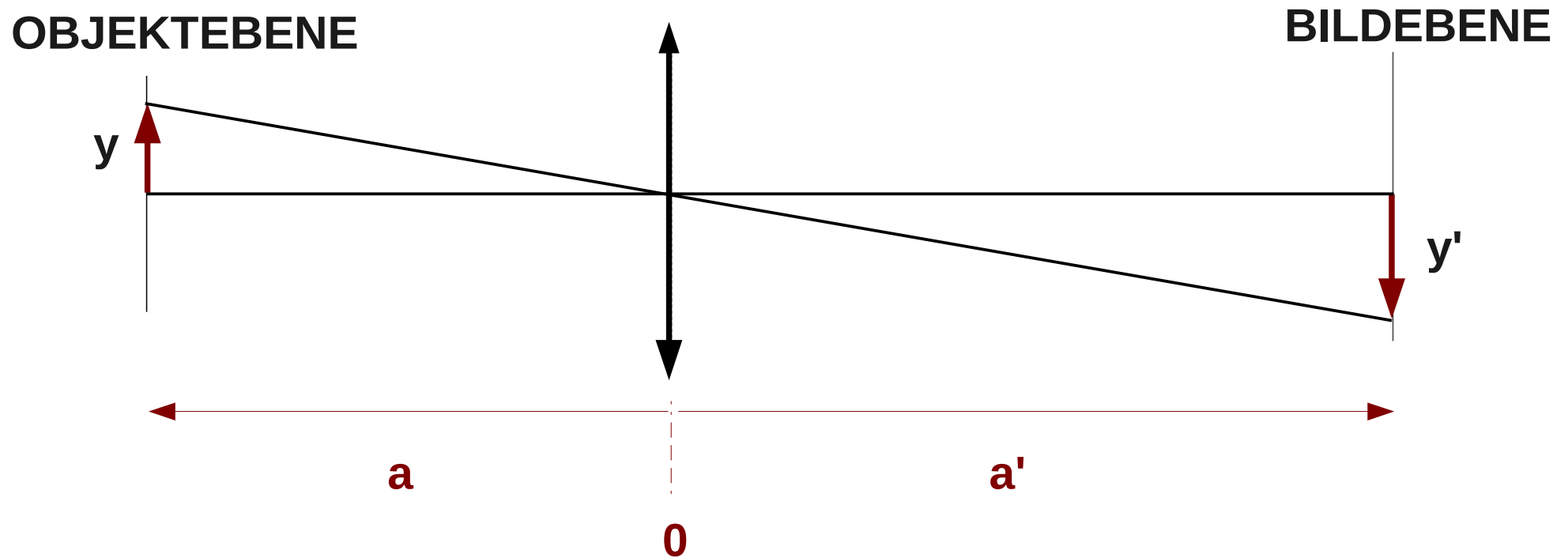
Brennweite / Brennebene



Abbildung



Abbildung

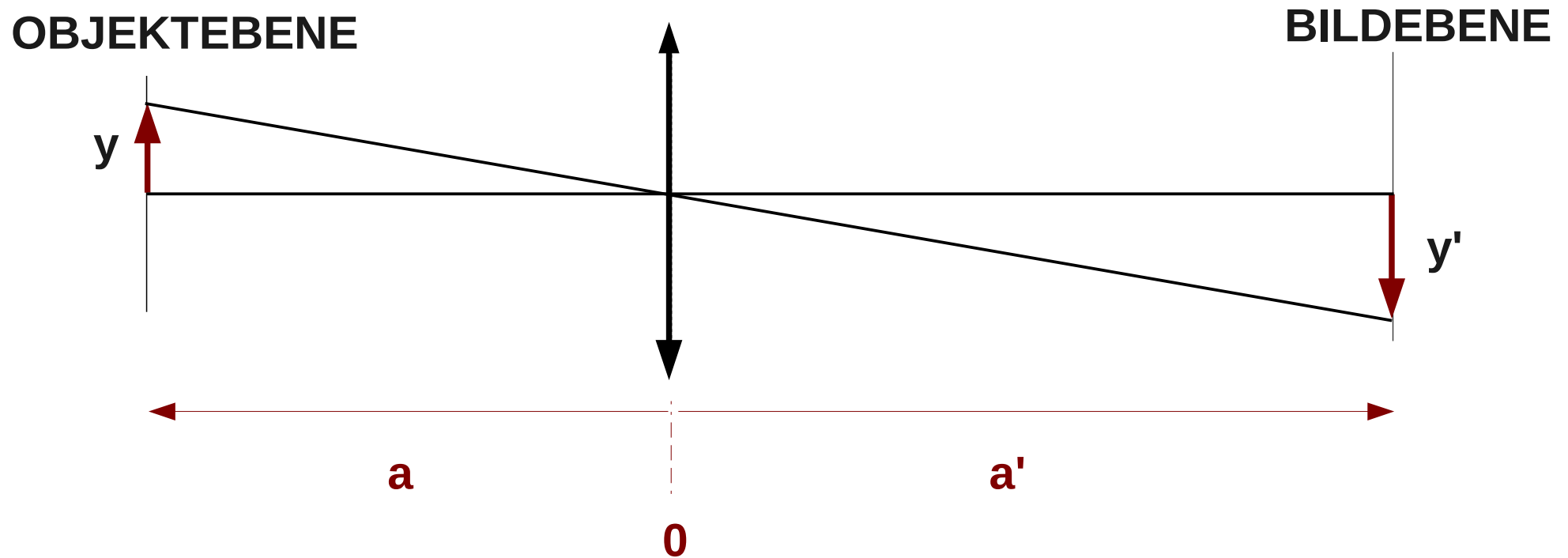


a ist im meistens negativ !

$$\frac{1}{a'} = \frac{1}{f'} + \frac{1}{a}$$

$$\beta' := \frac{y'}{y} = \frac{a'}{a}$$

Abbildung

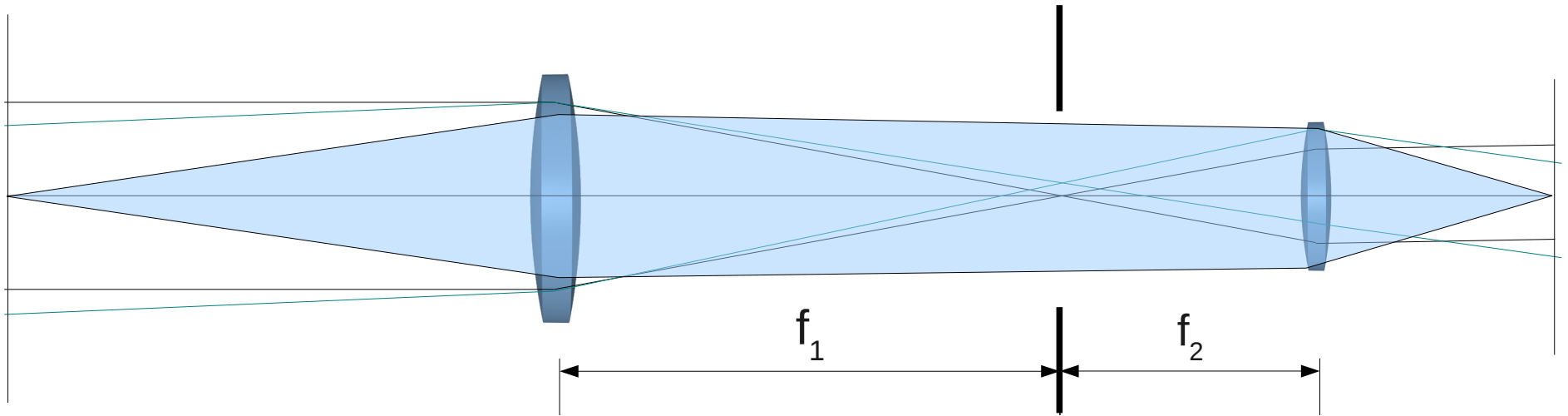


a ist im meistens negativ !

$$\frac{1}{a'} = \frac{1}{f'} + \frac{1}{a}$$

$$\beta' := \frac{y'}{y} = \frac{a'}{a}$$

Teleskop



$$V := \frac{-f_1'}{f_2'}$$

$$\beta' := \frac{-f_2'}{f_1'}$$

Beispiel

Letztes Mal



Abbildung mit einer Linse/Objektiv

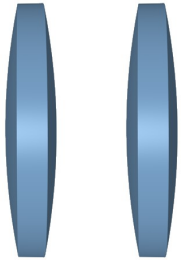
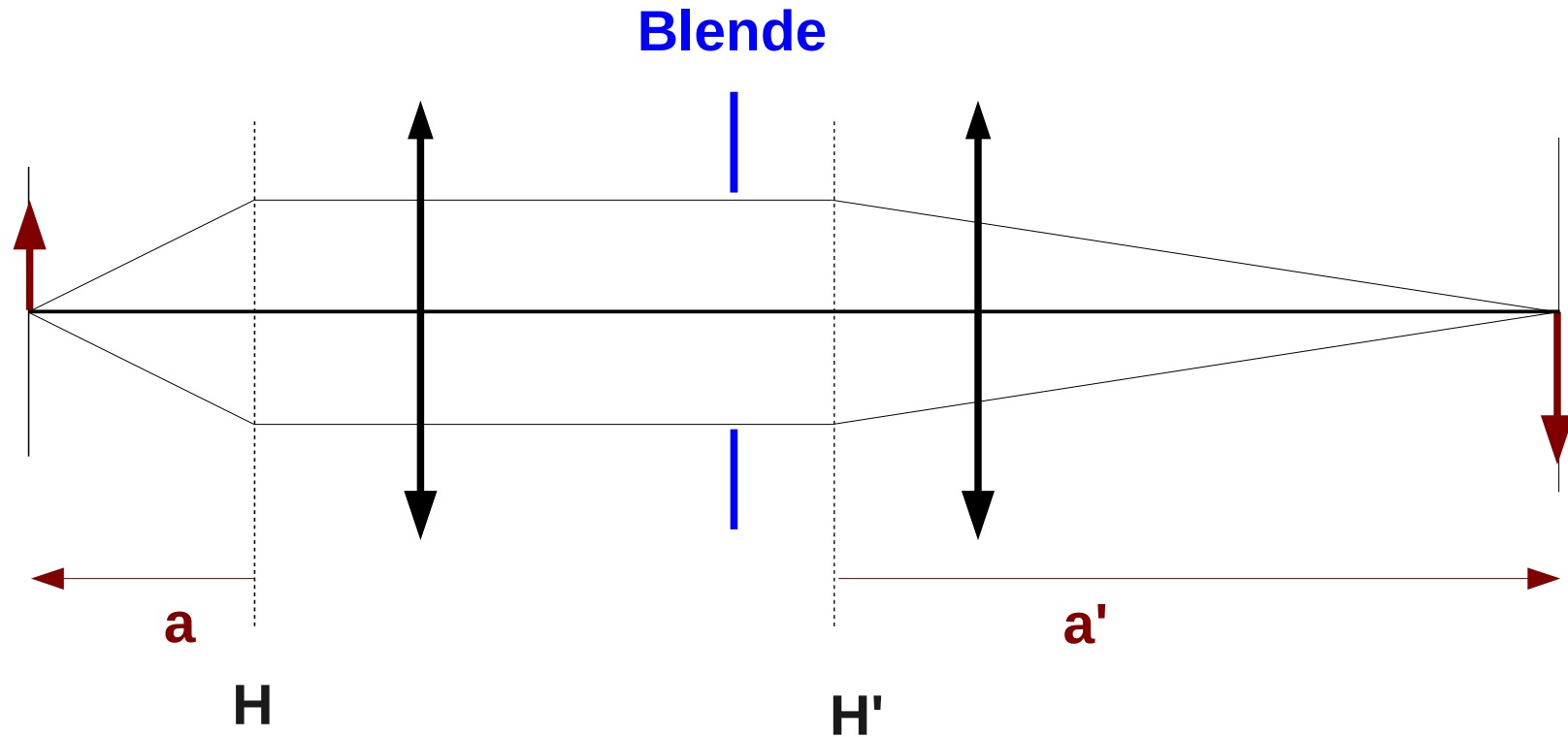


Abbildung mit 2 Linsengruppen



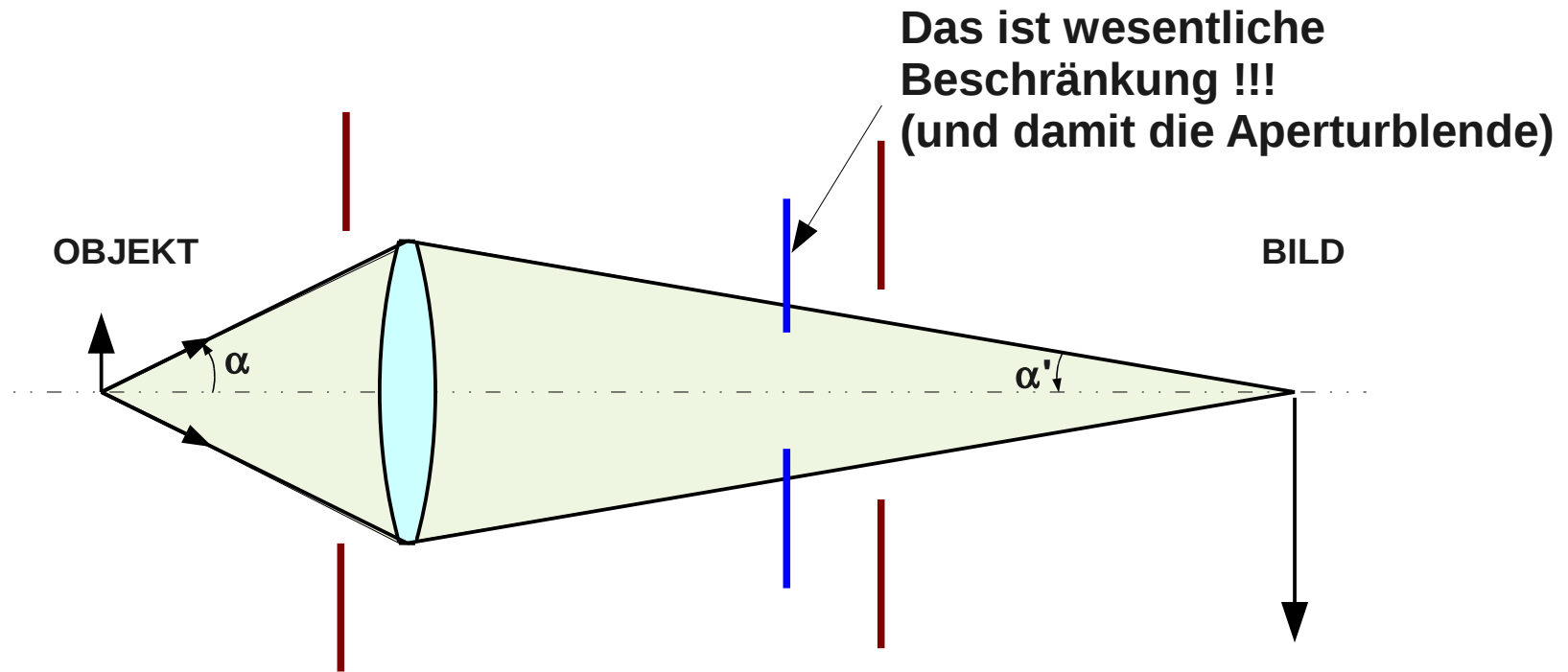
Blende, Pupille, Numerische Apertur



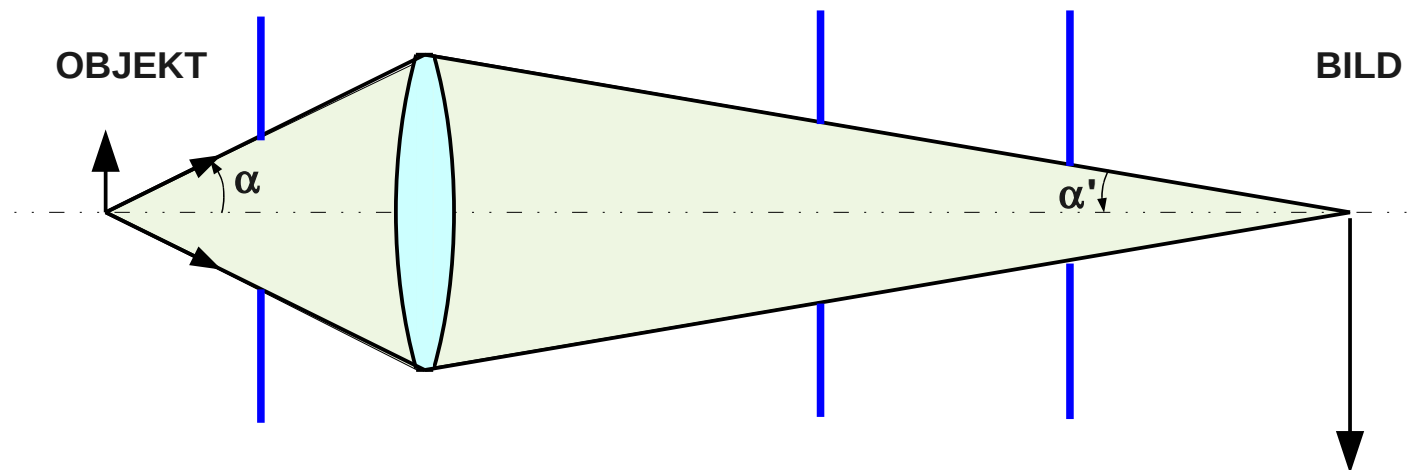
= Element, dass für on-axis Objektpunkt das eintretende „Lichtbündel“ begrenzt.

Groß → hohe Lichtstärke

Aperturblende und Pupillen



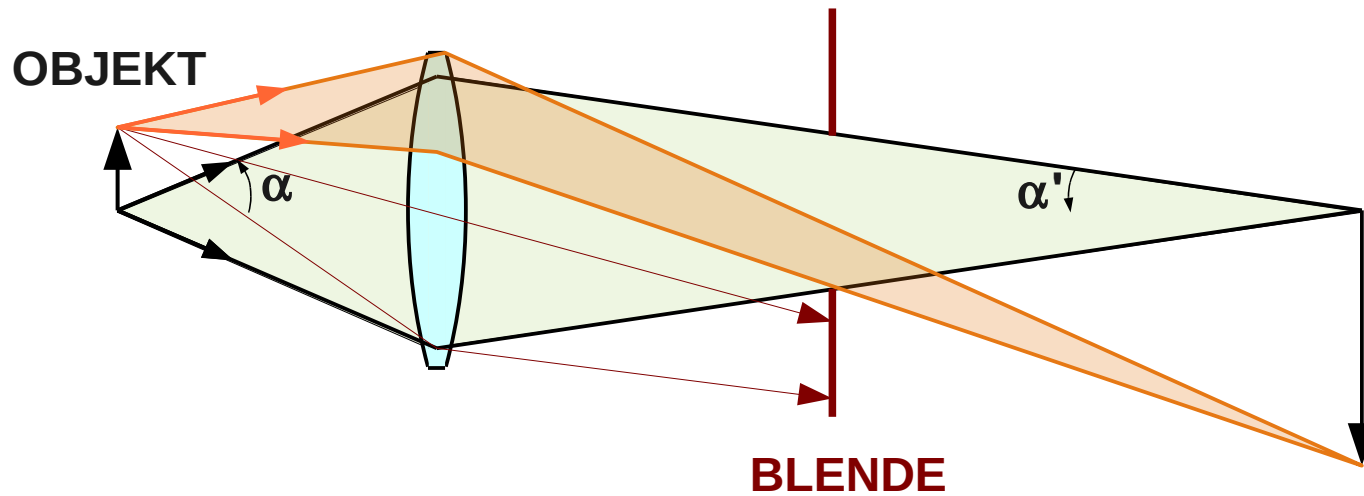
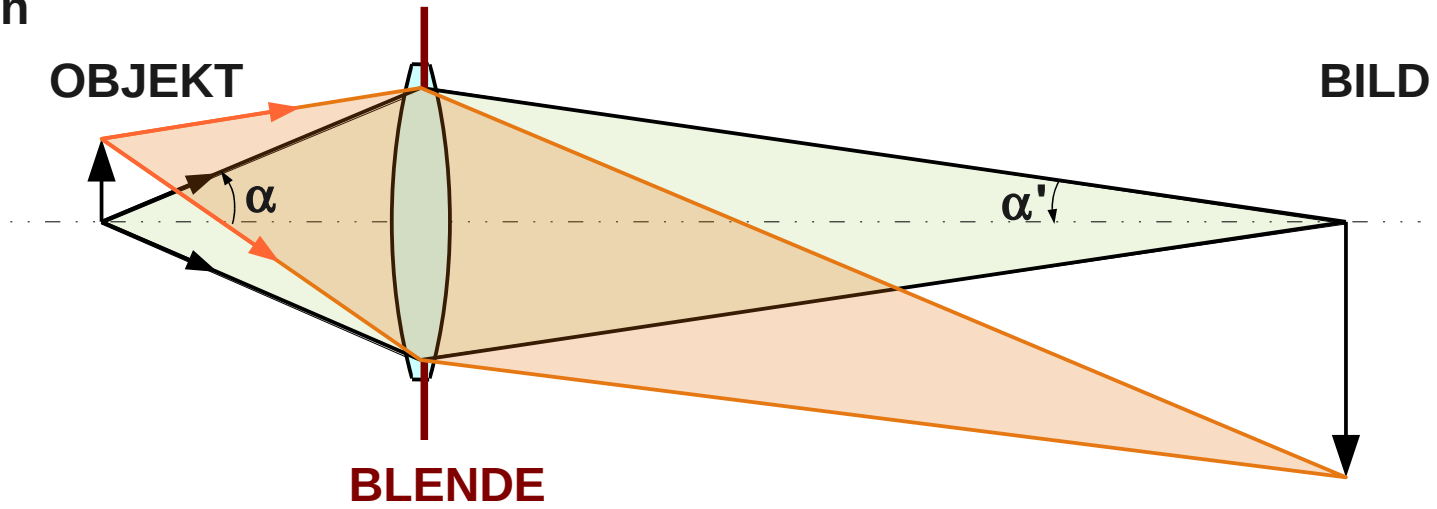
Ist doch egal, wo die Begrenzung ist ! oder ?



Nein.

1. Vignettierung

2. Aberrationen



Blendenzahl



Objekt weit weg (unendlich) →

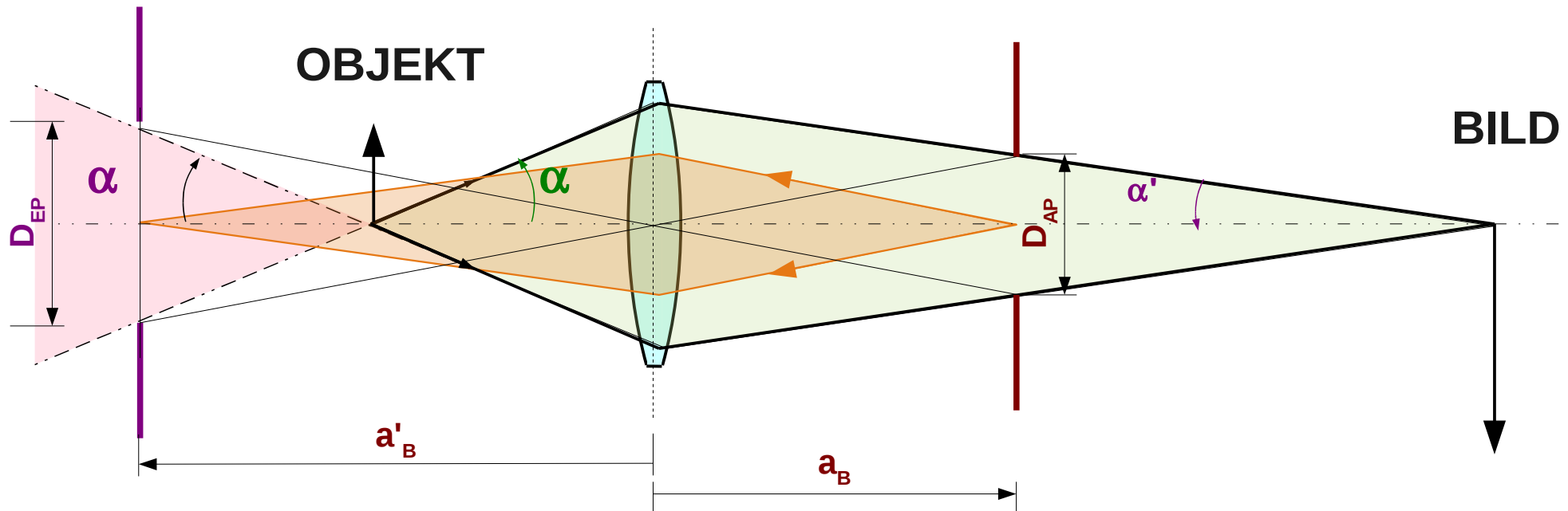
$$\text{Blendenzahl } K = \frac{f'}{D}$$

D ist der Durchmesser der „Eintrittspupille“

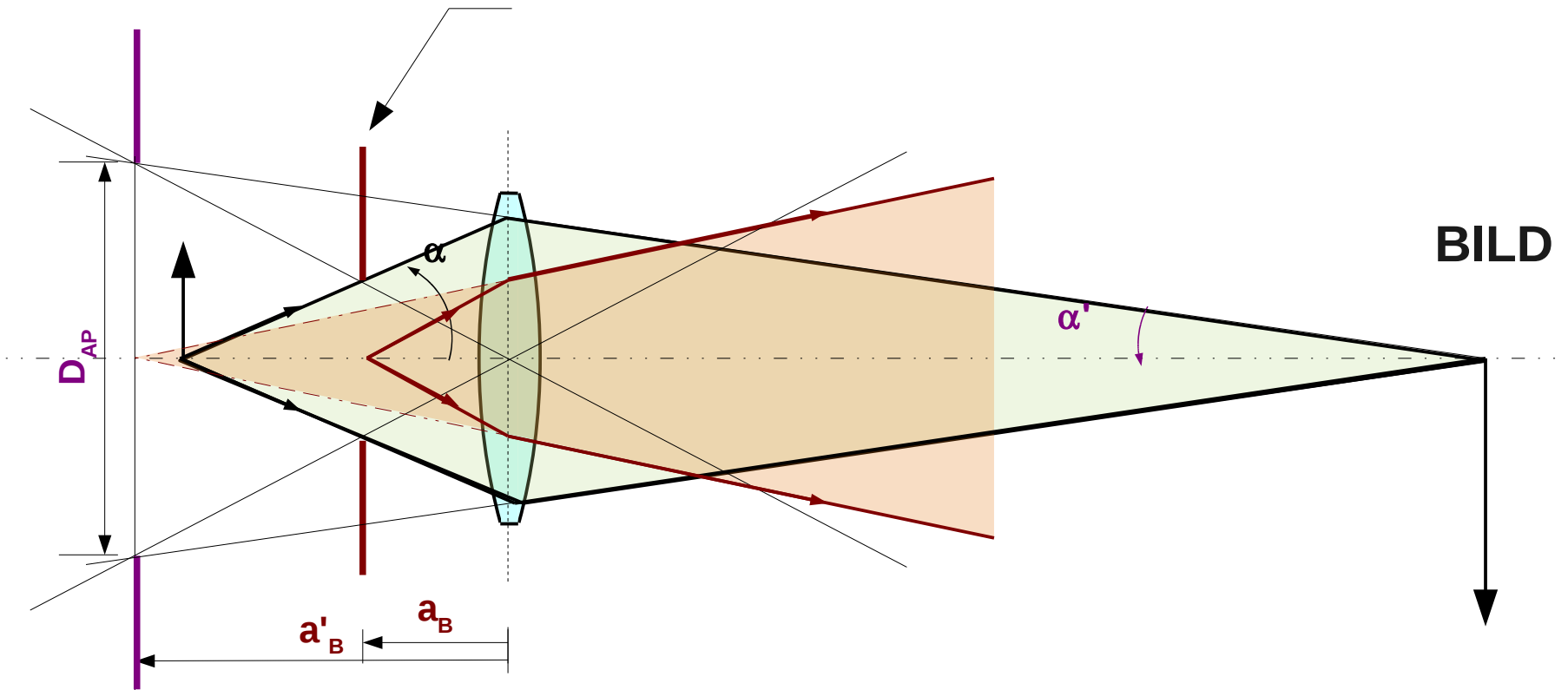
Pupillen

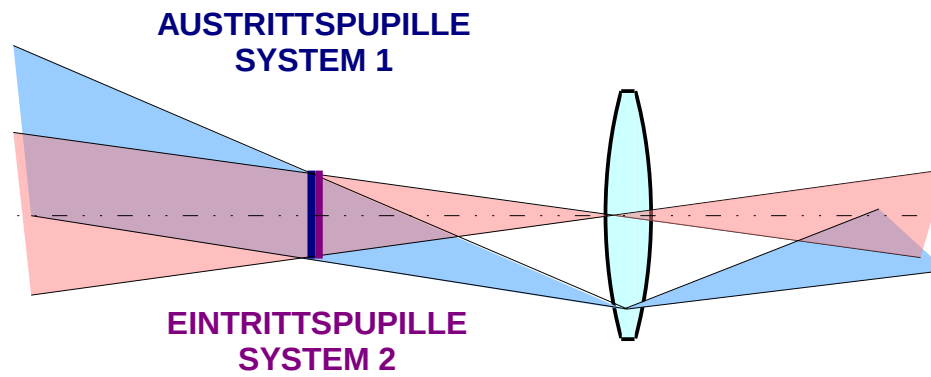
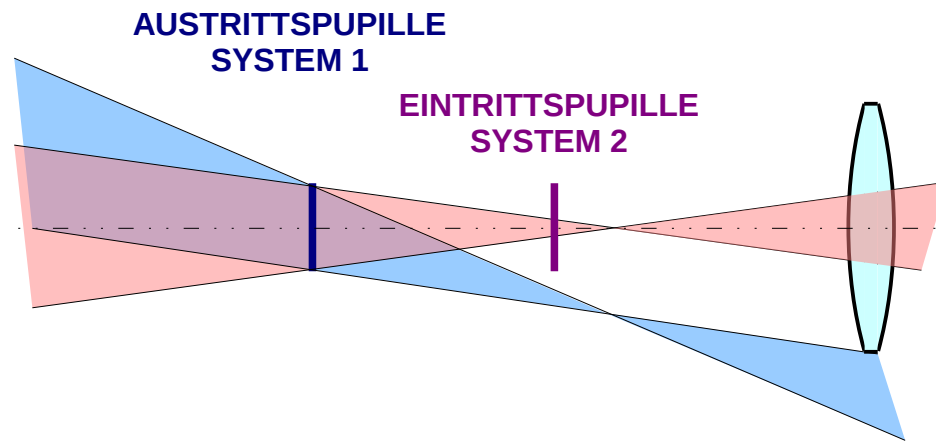
EINTRITTSPUPILLE

LENZE =
AUSTRITTSPUPILLE



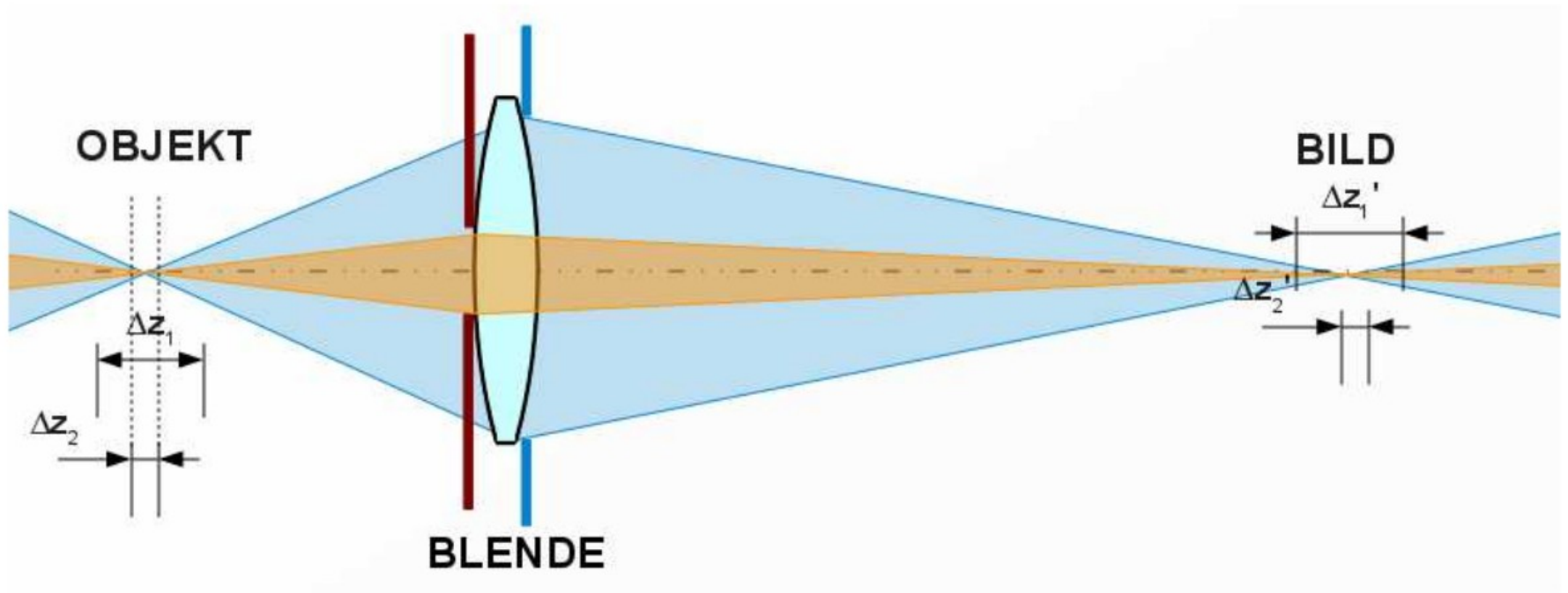
AUSTRITTSPUPILLE **BLENDE =**
EINTRITTSPUPILLE





Was ändere ich, wenn ich die Blende verändere ?

Schärfentiefe



Große Blendenzahl → kleiner Durchmesser → hohe Schärfentiefe

Schärfentiefe

Im Objektraum

$$\text{DoF} = \frac{2 B' K}{\beta'^2}$$



B' = akzeptierter Durchmesser der
Punktbildfunktion

Hyperfokale Entfernung (Fixfokus):

Fokussieren auf $a_h \rightarrow$

Alles von unendlich bis $a_h/2$ ist scharf

$$a_h = -f' \left(\frac{f'}{B' K} + 1 \right)$$

Beachte: Ohne Beugung !

Ausführlichere Formeln: siehe z.B. Schröder, Hornberg

Aufgabe Blendenzahl

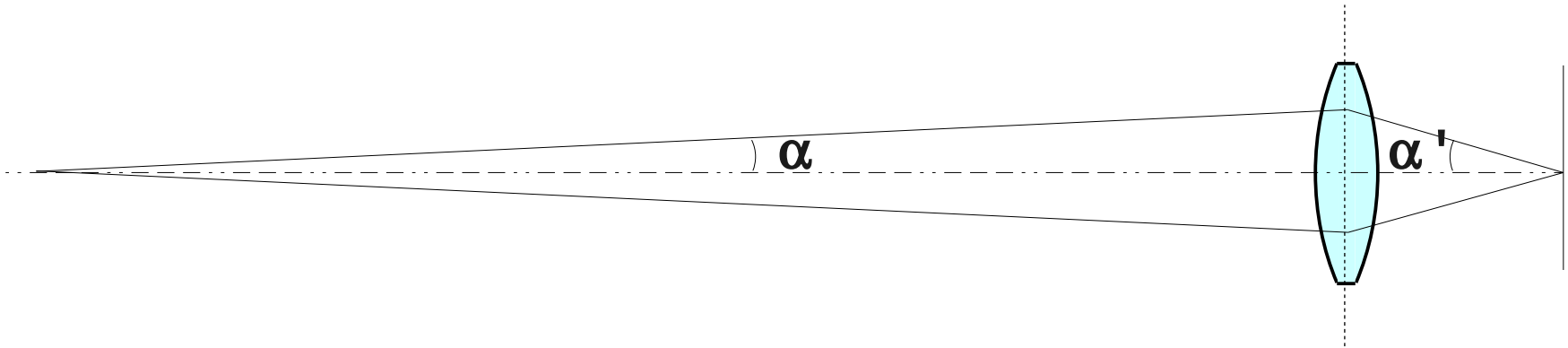
Sie sollen eine möglichst lichtstarke Abbildung eines flachen Objekts mit einem 50 mm Objektiv realisieren.

Die Entfernung des Objekts liegt im Bereich 490 bis 510 mm.

a) Welchen Durchmesser der Blende (Eintrittspupille) können Sie wählen, wenn wir als Unschärfedurchmesser 100 μm in der Objektebene zulassen ?

b) Das aufwändige Objektiv arbeitet beugungsbegrenzt in dem Für Sie relevanten Feldbereich. Welche Auflösung erwarten Sie?

Numerische Apertur



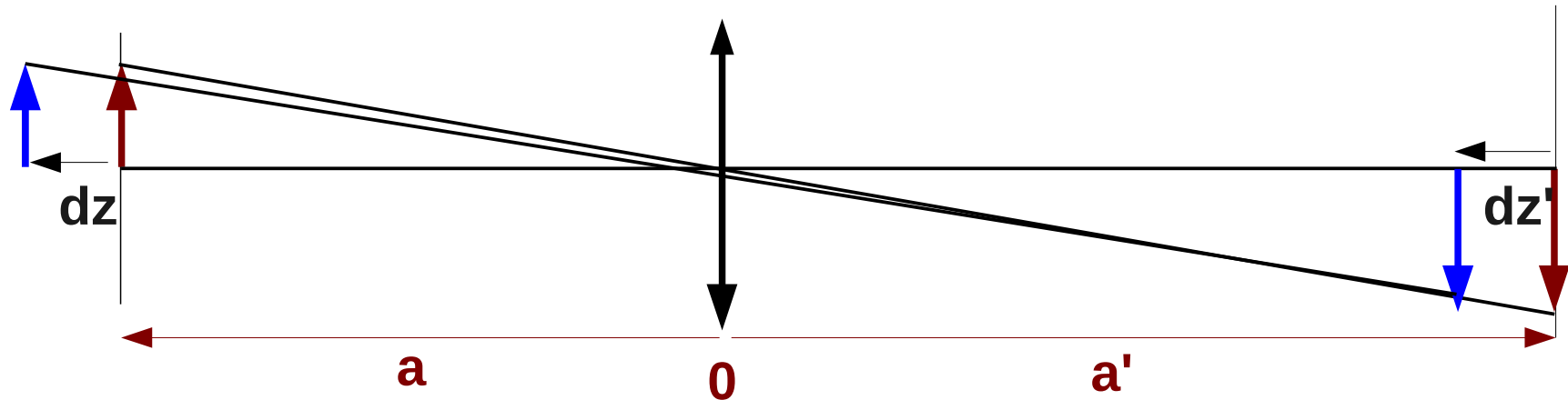
$$NA = n \sin(\alpha)$$

$$NA' = \frac{1}{2K}$$

$$NA' = n' \sin(\alpha')$$

$$\frac{NA'}{NA} = \beta$$

Zusammenfassung



$$\frac{1}{a'} = \frac{1}{f'} + \frac{1}{a}$$

$$\beta' = \frac{a'}{a}$$

$$dz' = \beta'^2 dz$$

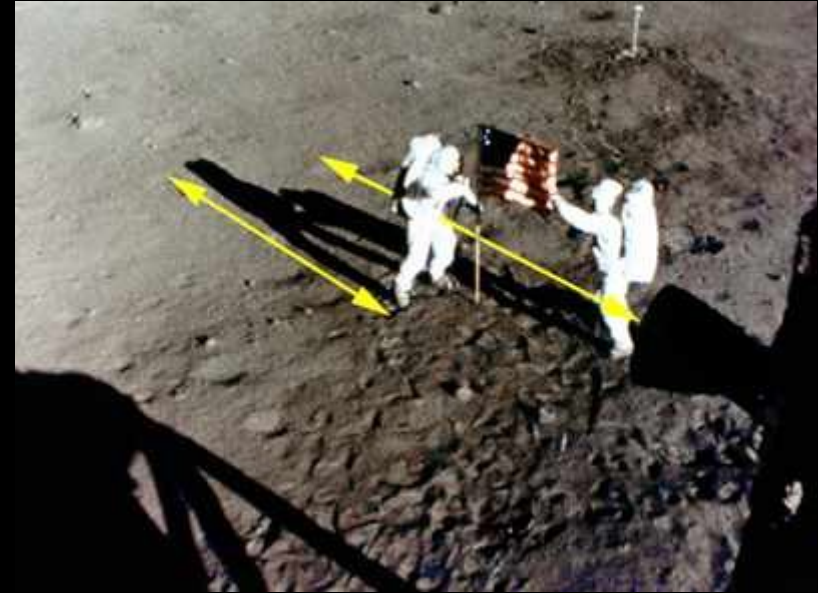
$$NA = n \sin(\alpha)$$

$$K = \frac{f'}{D}$$

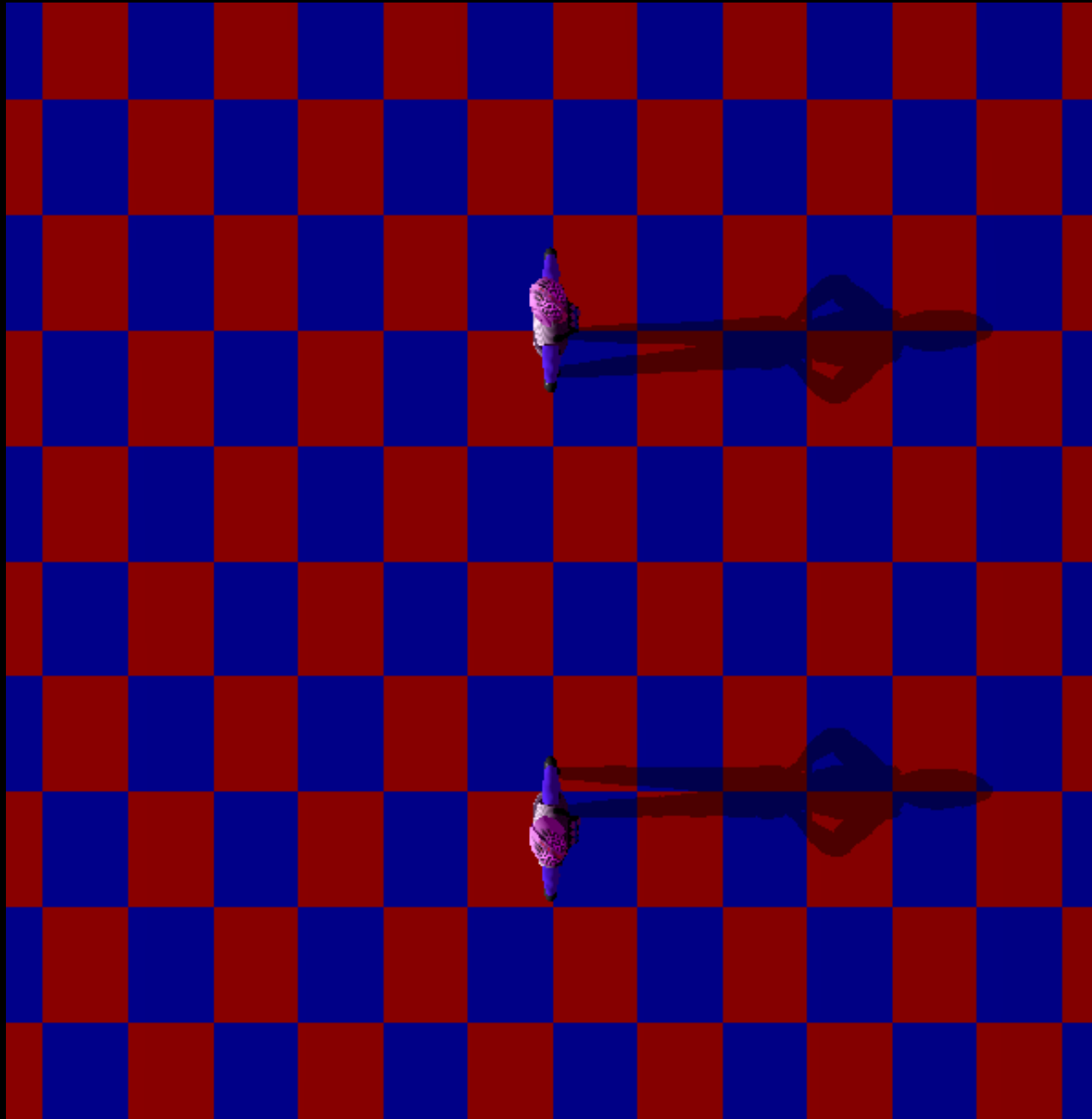
$$\text{DoF} = \frac{2B'K}{\beta'^2}$$

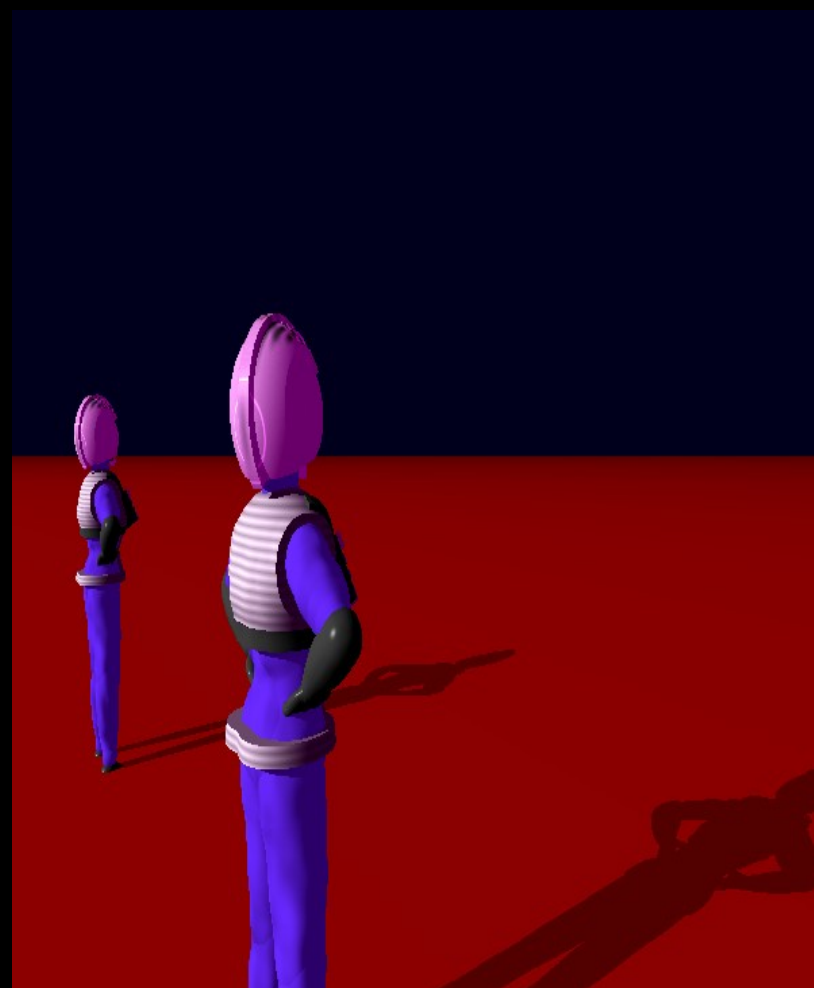
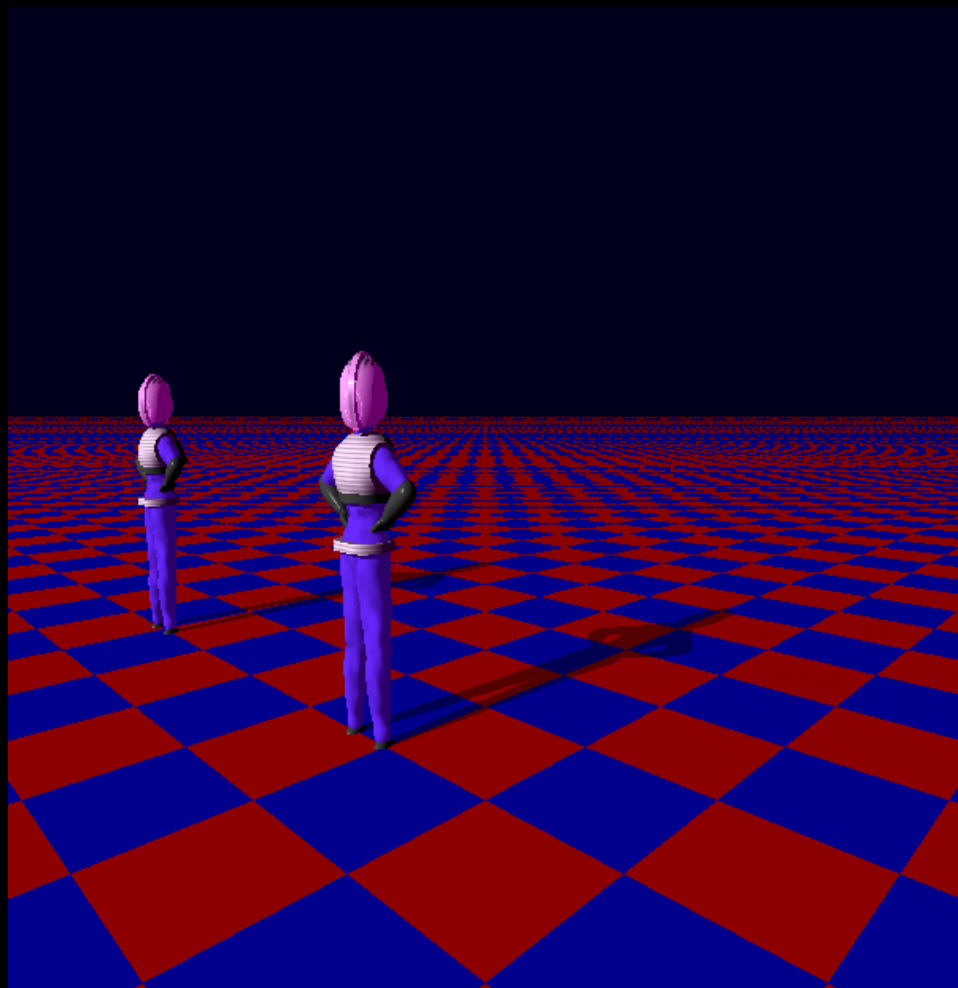
Moon Landing Conspiracy

(Apollo Fake)

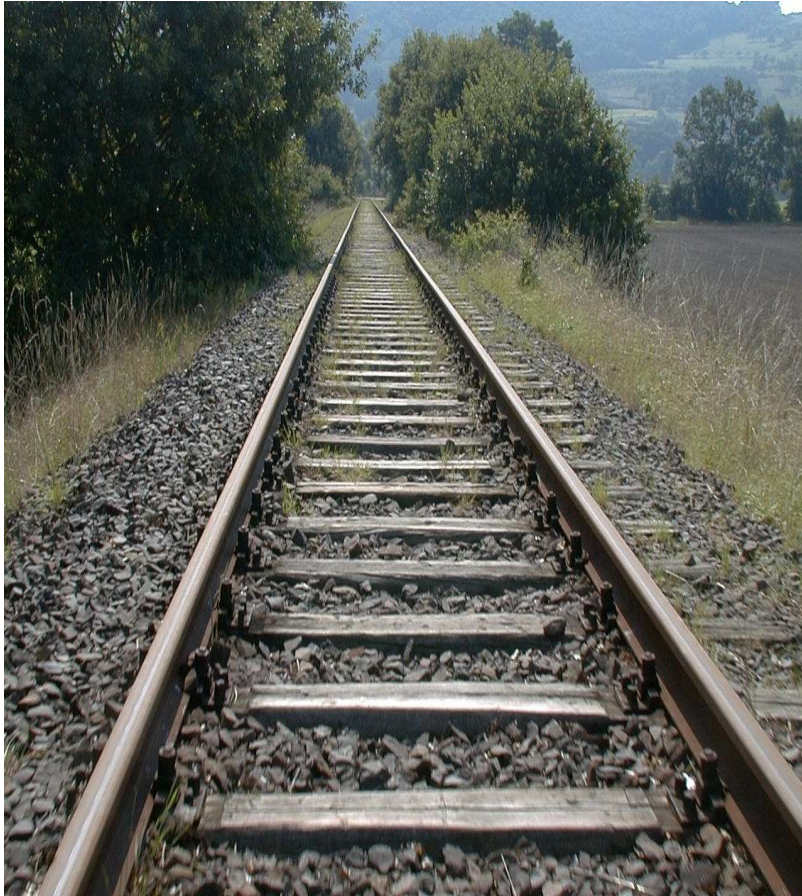


Perspektive

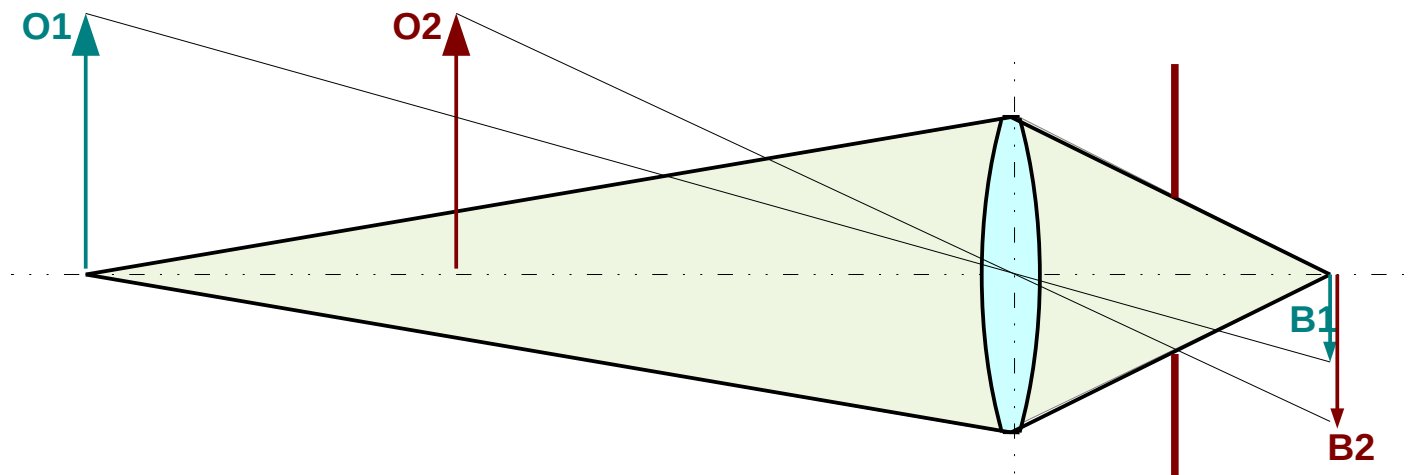




„Perspektive“ = Entozentrische Perspektive



Parallele Linien im Objektraum schneiden sich im Bildraum in einem Punkt (Fluchtpunkt)



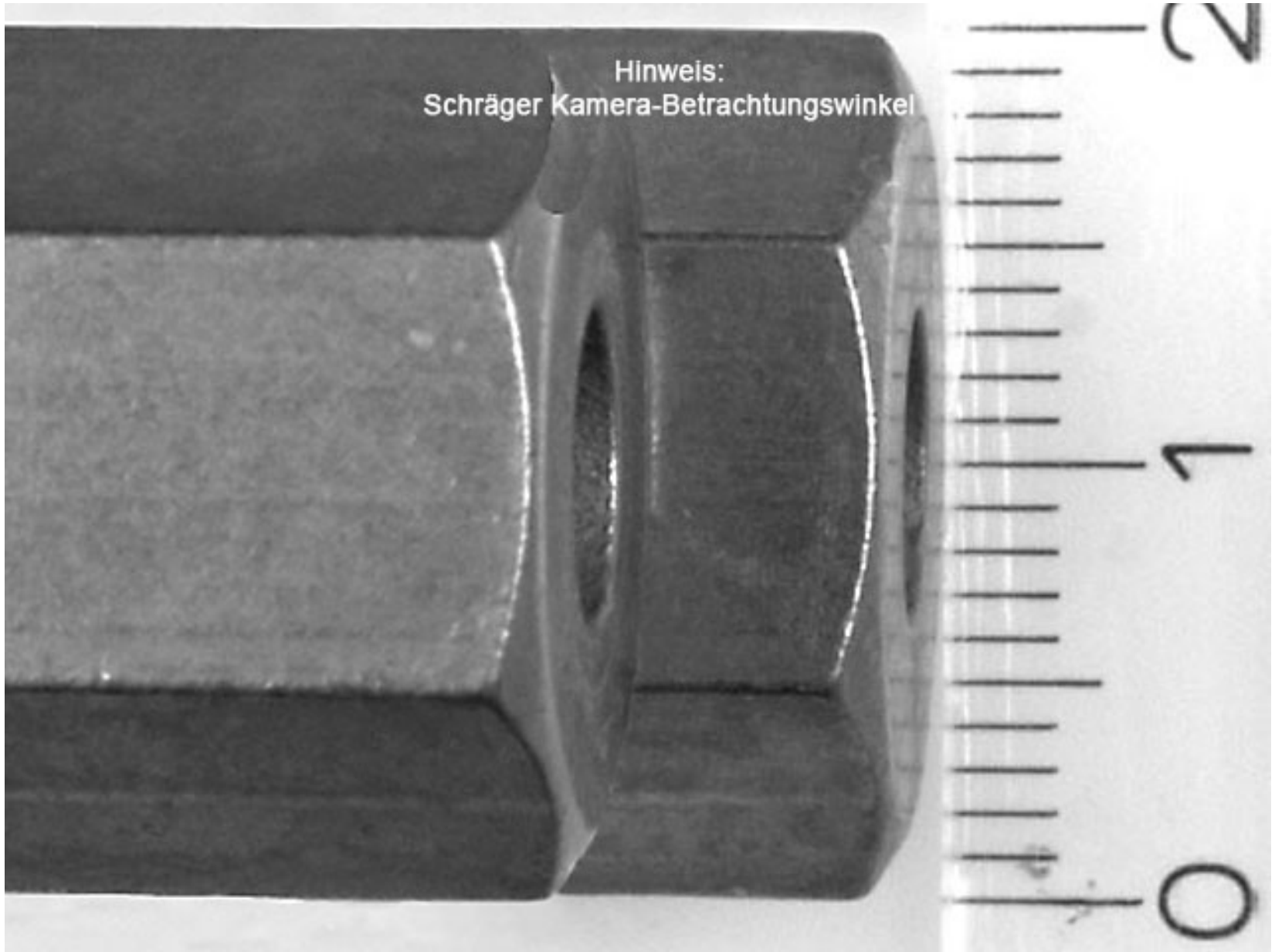
$$\beta' = \frac{a'}{a}$$



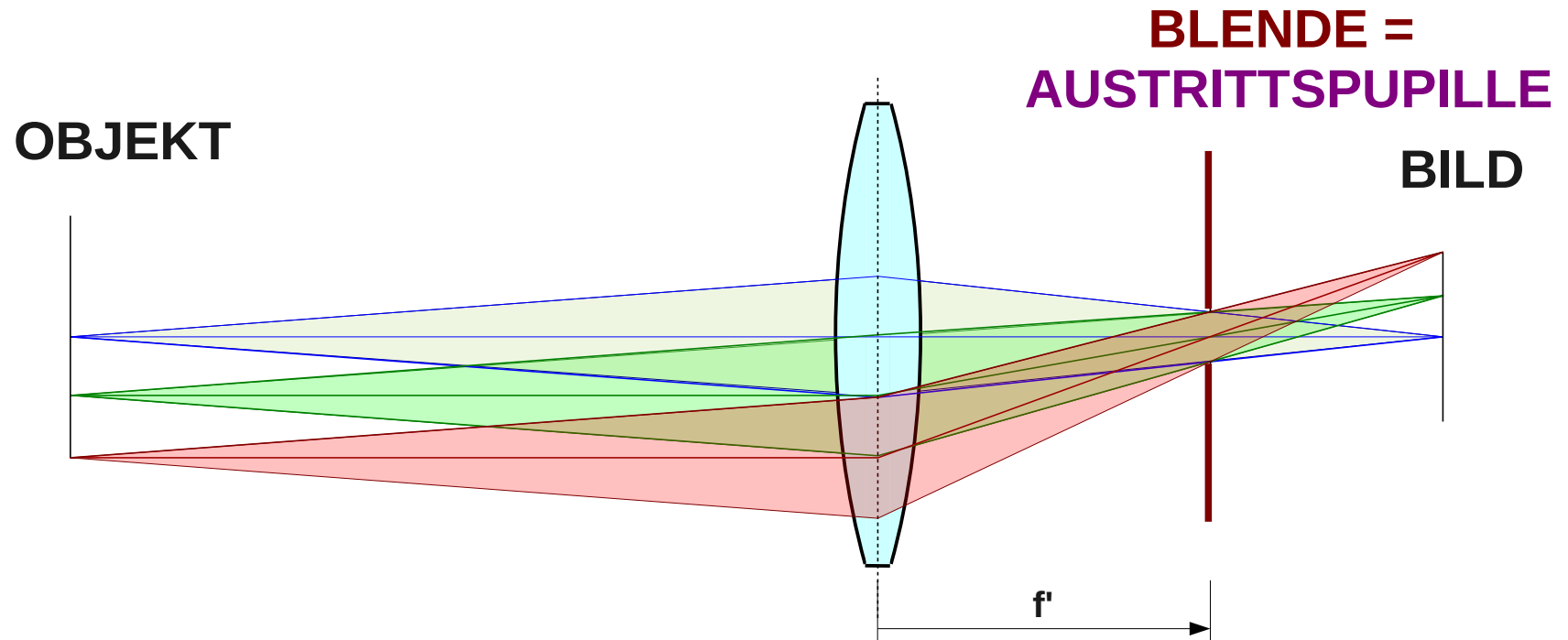
Telezentrisch



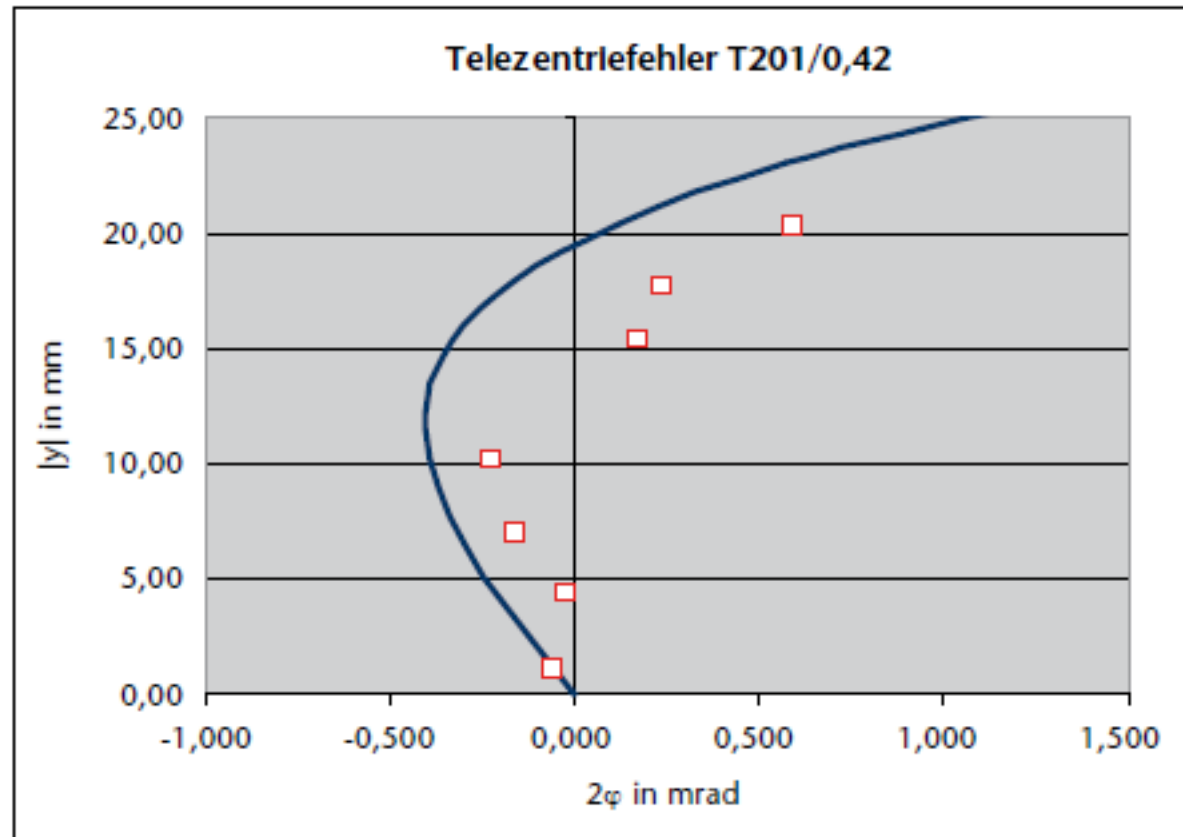
Hinweis:
Schräger Kamera-Betrachtungswinkel



Objektseitige Telezentrie



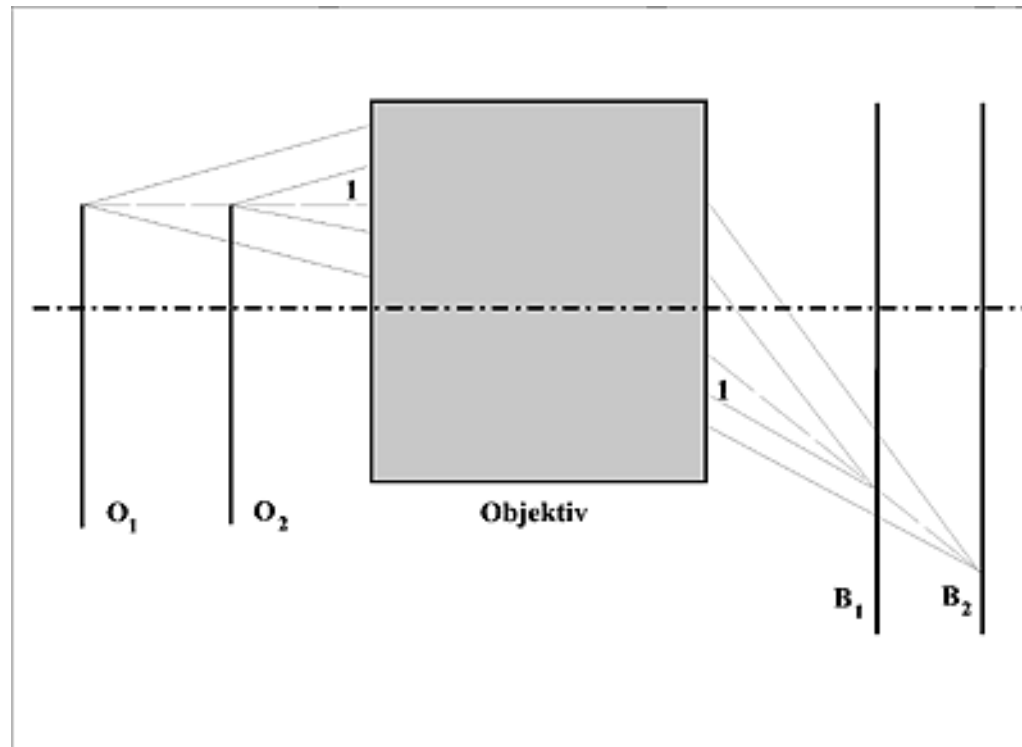
Telezentriefehler: angegeben in mrad (im Vgl. zur opt. Achse)
1 mrad $\rightarrow$ 1 mm Objektdistanz macht 1 μm Fehler



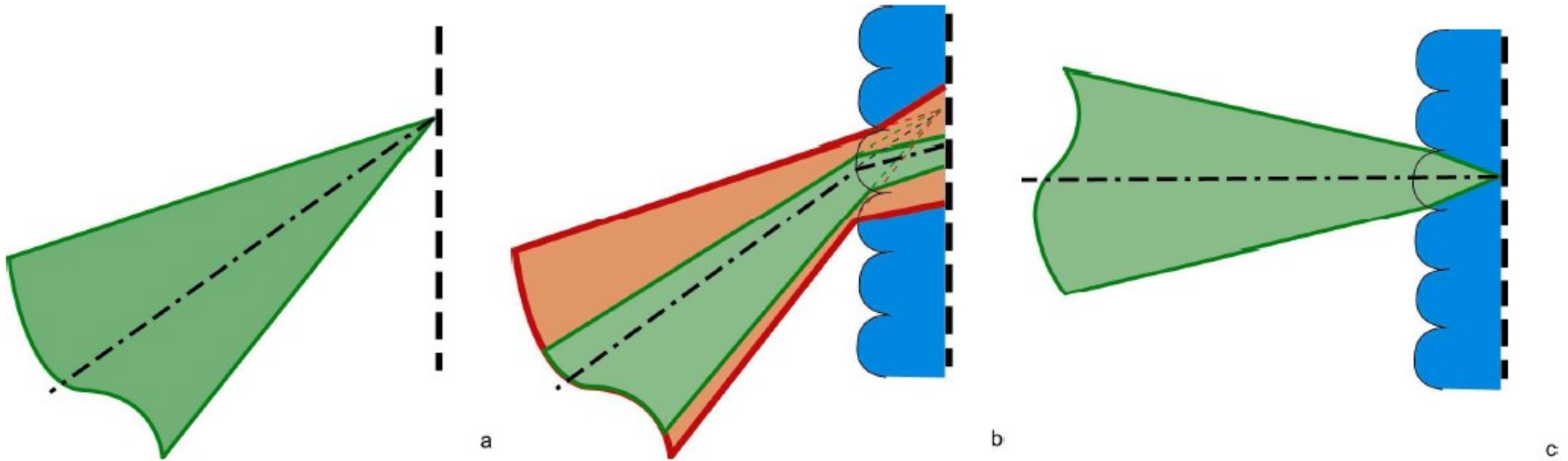
Telezentriebereich: ca. Schärfentiefe * 2

Probleme objektseitige Telezentrie ohne beidseitige Telezentrie

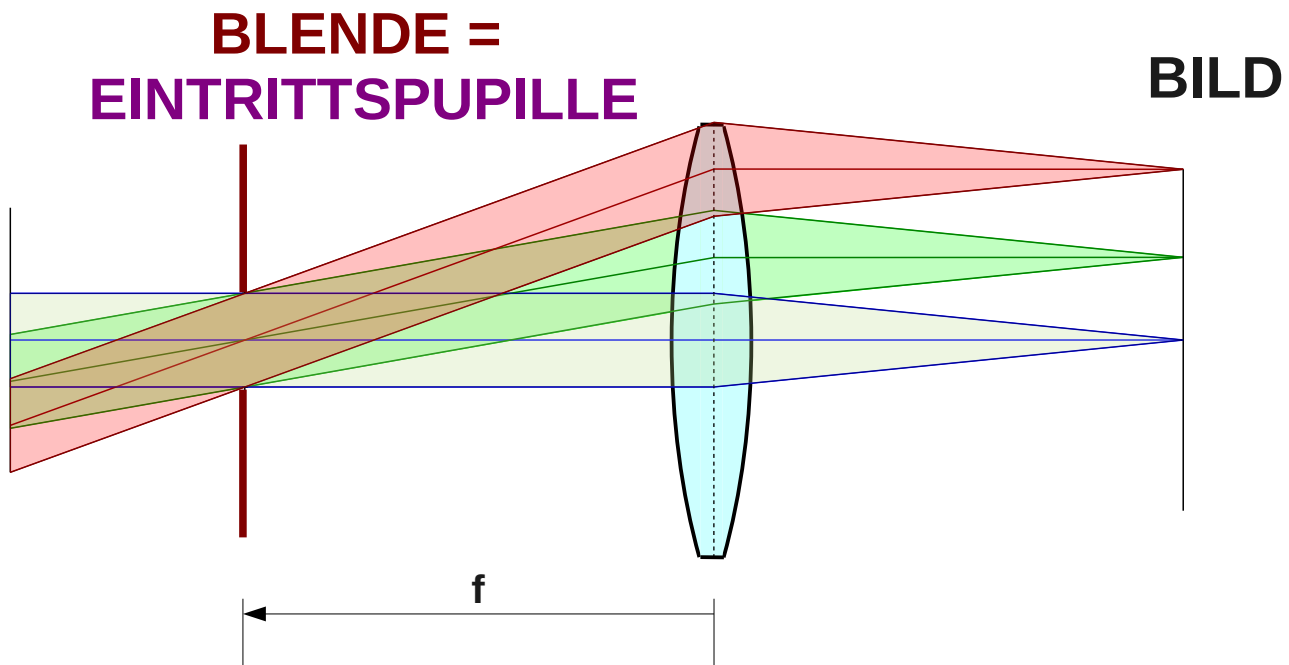
1. Subpixelverschiebung von Schwerpunkt



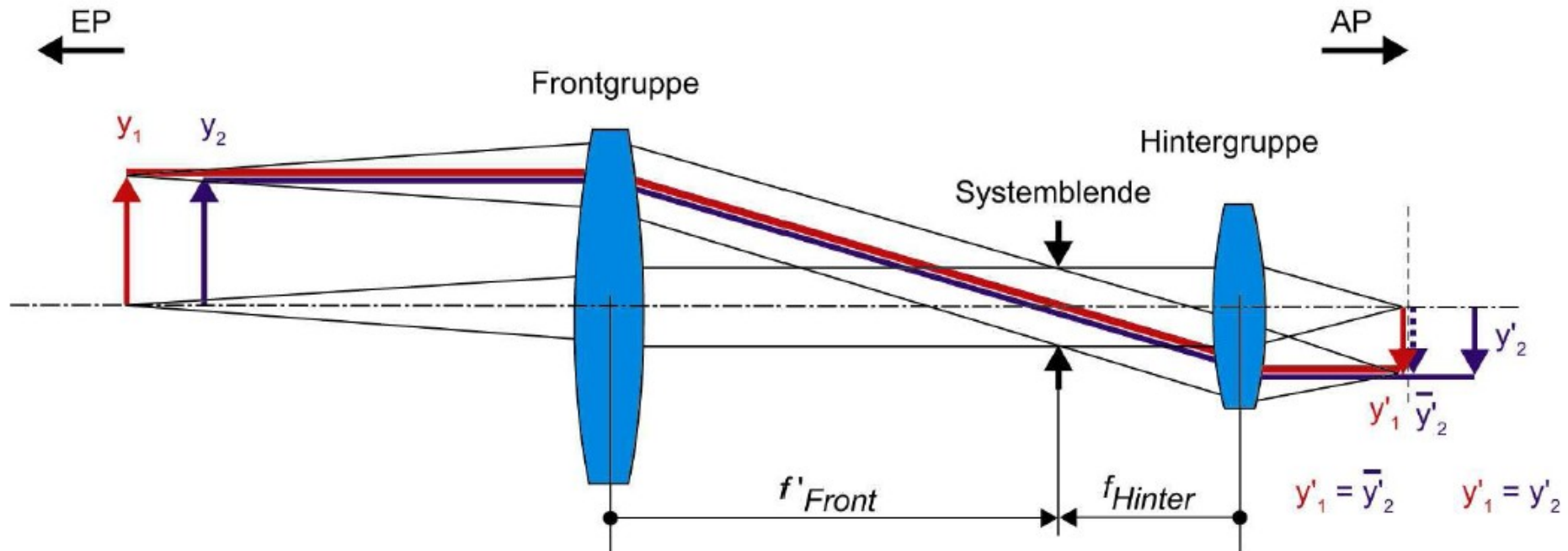
2. Beim Einsatz von Mikrolinsen: Dumme Effekte !



Bildseitige Telezentrie

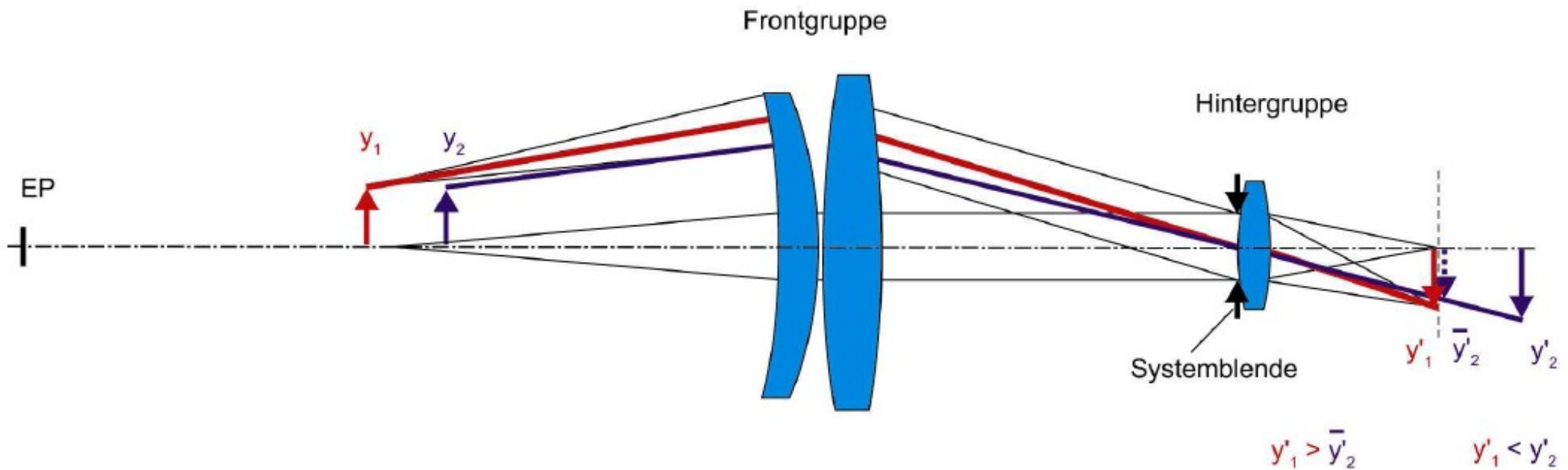
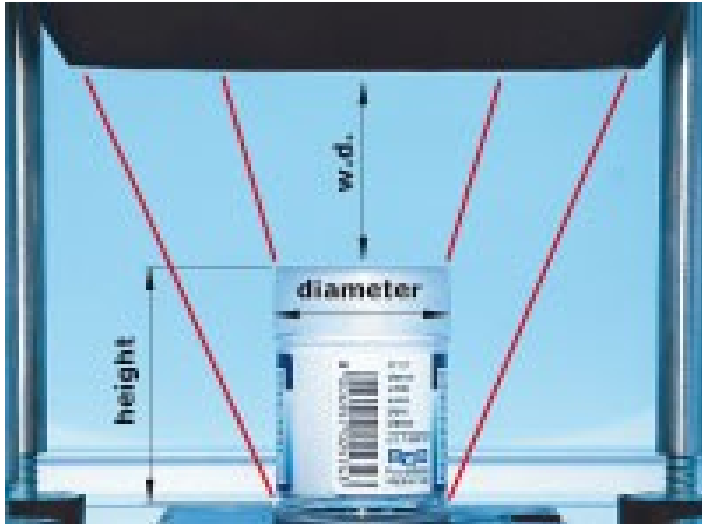


In Praxis daher oft für Messaufgaben: Beidseitige Telezentrie

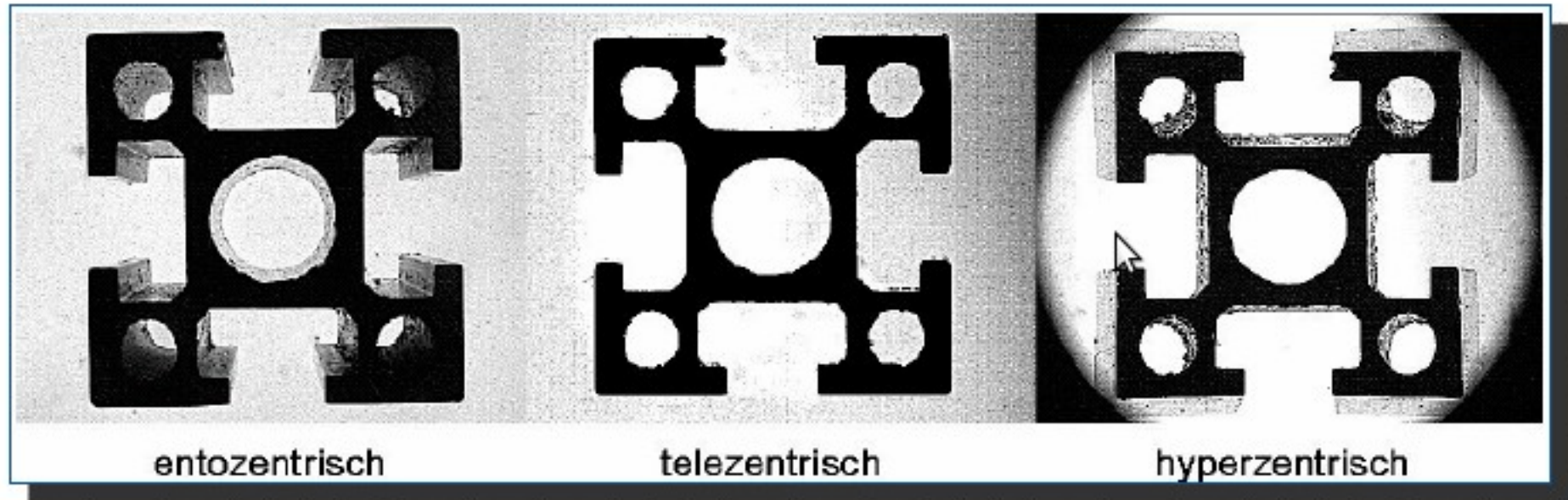


Vereinfachte Darstellung eines beidseitigen telezentrischen Objektivs (Abb. 26)

Hyperzentrische (=Perizentrische) Objektive



Zusammenfassung Perspektive



Aufnahme eines Profils 25x25x24 mm³ mit verschiedenen Perspektiven

Beleuchtung
Fotometrie/Radiometrie

Bildsensoren
Objektive

3D Erfassung

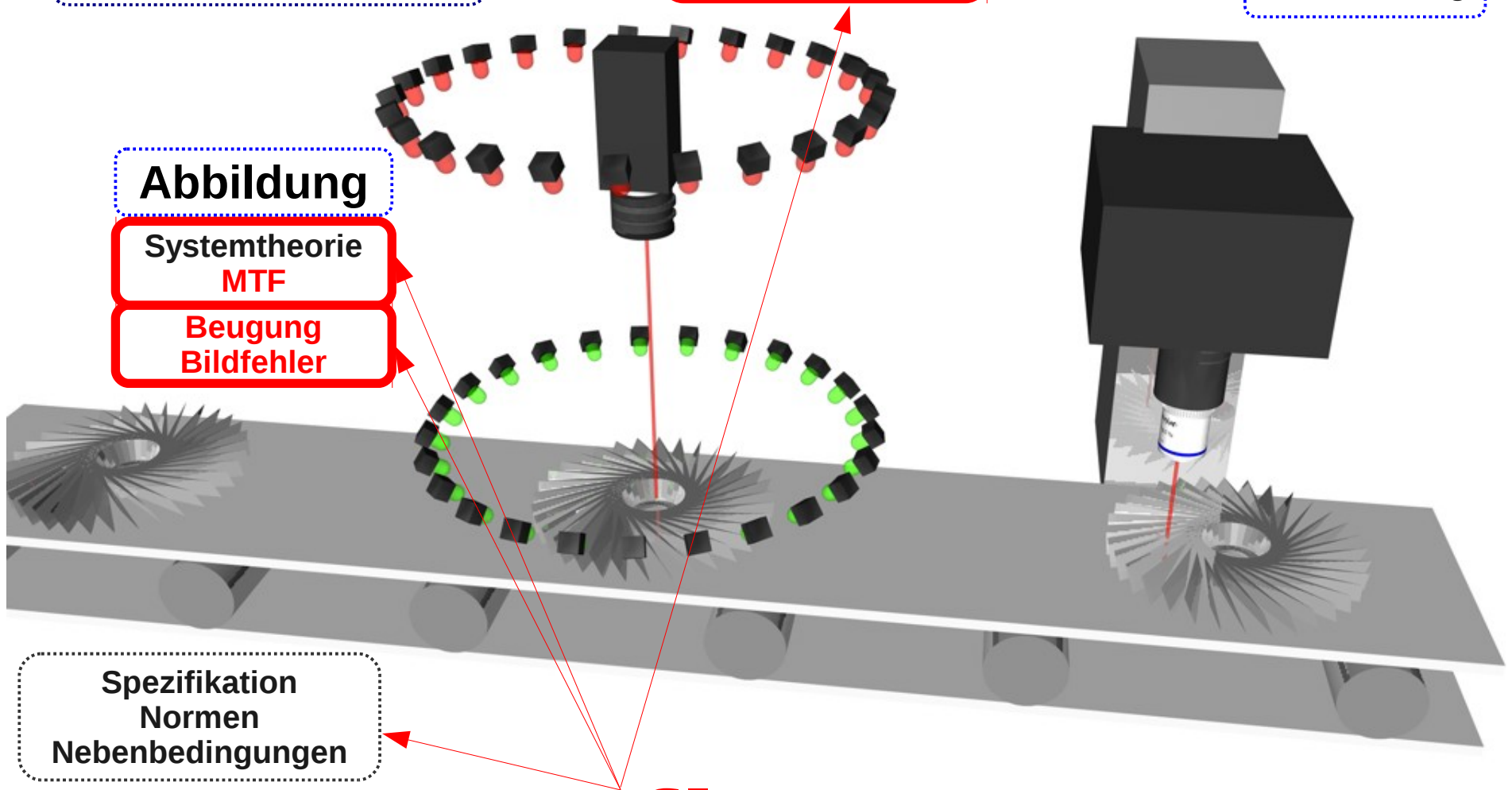
Abbildung

Systemtheorie
MTF

Beugung
Bildfehler

Spezifikation
Normen
Nebenbedingungen

Auflösung



Bildqualität

1

Auflösung



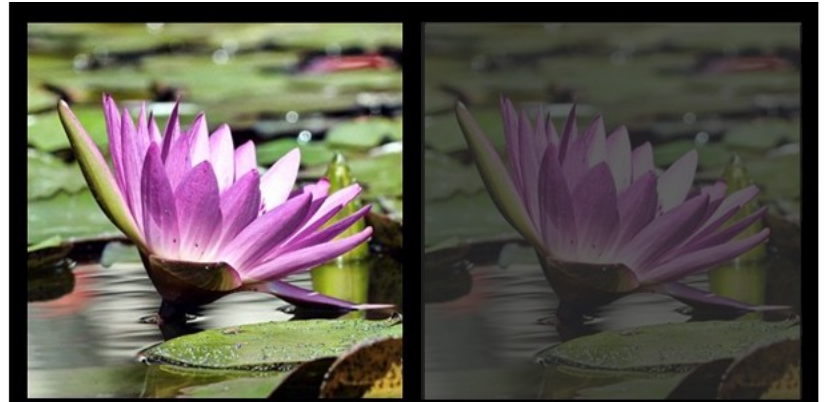
2

Signal-Rauschverhältnis



3

Dynamik und Kontrast



AUFGABENABHÄNGIG !

Auflösung

„Resolution can serve so many purposes because it does not serve any of them very well.“ (G.C. Brock)



Laterale Auflösung, Detailtreue



Positionsauflösung / Längenbestimmung



Höhen/Tiefenauflösung



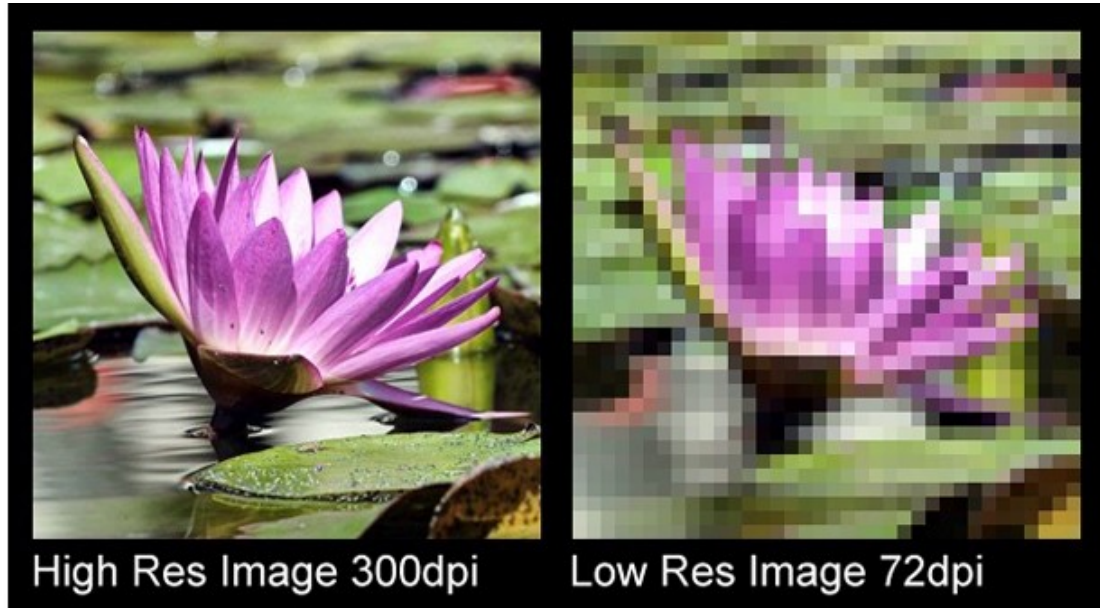
Laterale Auflösung, Detailtreue

= Fähigkeit, feine Details zu unterscheiden

Was begrenzt die (laterale) Auflösung ?

3

Pixelierung

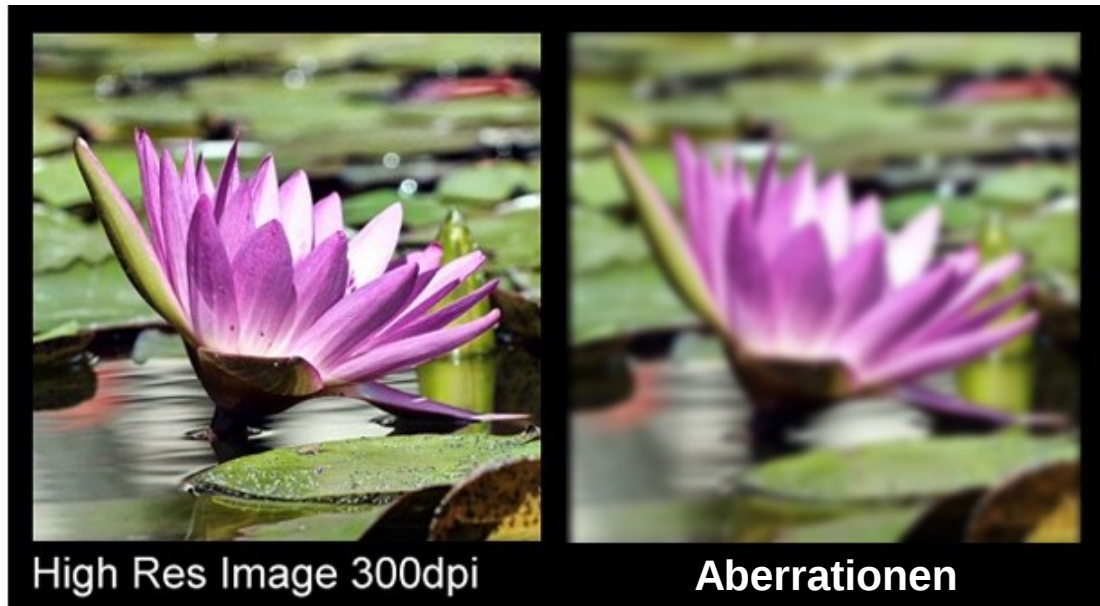


1

Beugungsgrenze

2

**Bildfehler
(auch Defokus)**



Wichtige Kenngrößen / Beurteilungszahlen

1

Beugungsgrenze (Auflösung nach Rayleigh oder Abbe)

2

Anzahl der auflösbaren Pixel (Ortsbandbreitenprodukt)

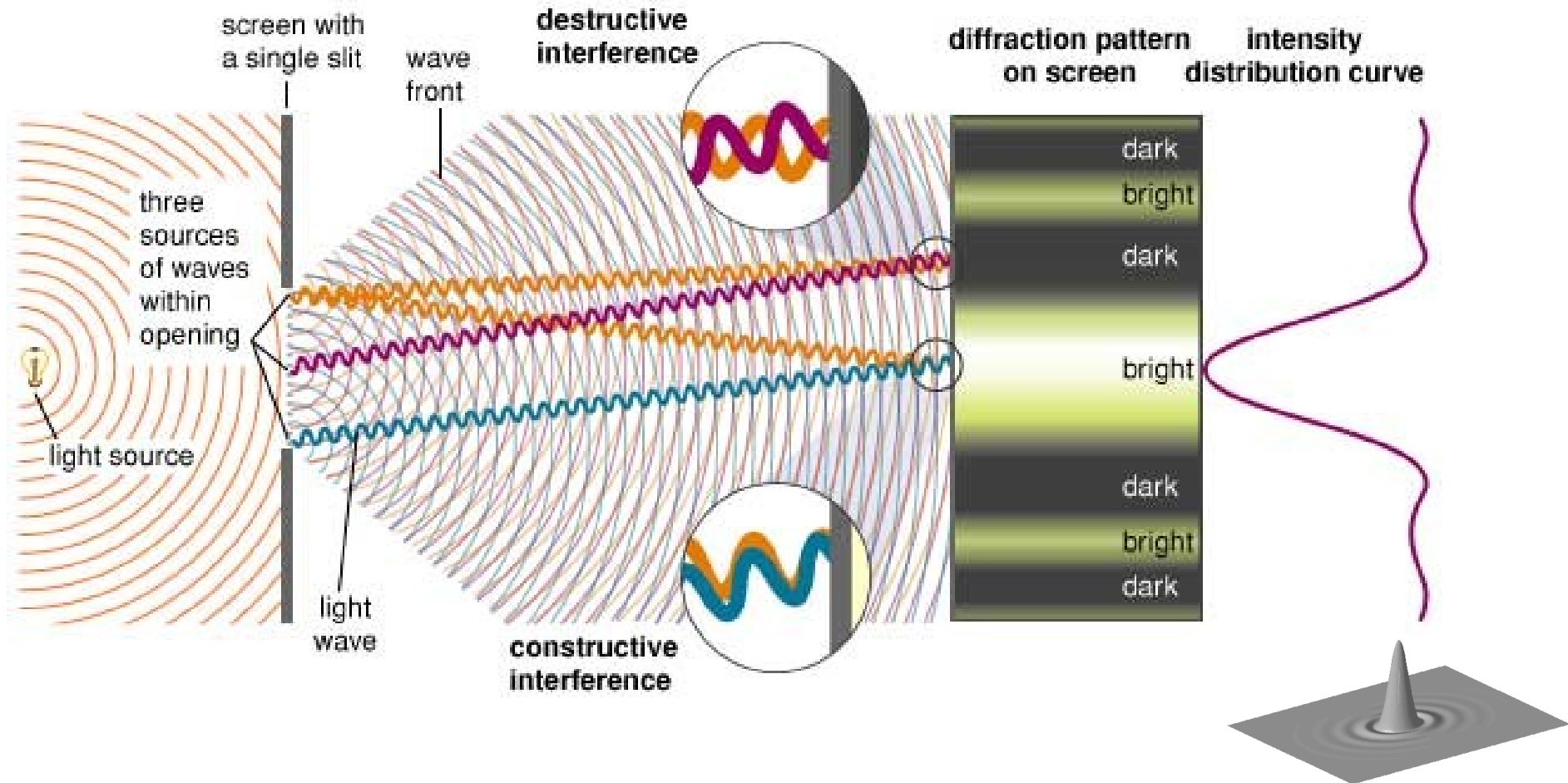
Analog zur „Auflösung“ beim klassischen Foto:
(Betrachtung mit Lupe: welche Streifenfrequenz ist gerade noch *sichtbar* ?)

3

MTF-basiert:

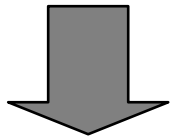
- Bis zu welcher Frequenz (lp/mm) gibt's einen ordentlichen Kontrast (z.B. 30%) ?
- Maximaler Kontrast bei *wichtigen* Frequenzen
- Fläche unter der MTF Kurve (z.B. Subjective Quality Factor)

Beugungsbegrenzung: Auflösung nach Rayleigh / Abbe

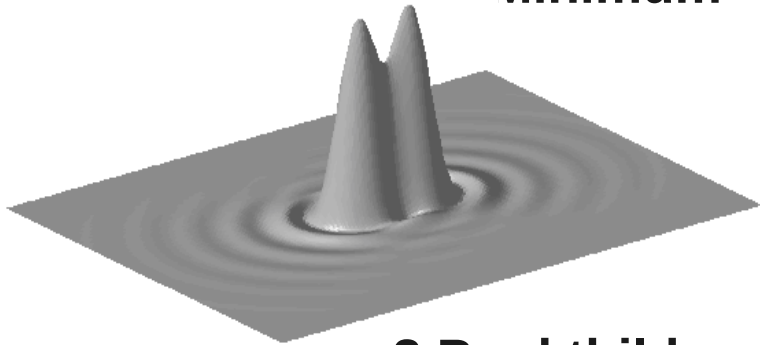


Punktbild

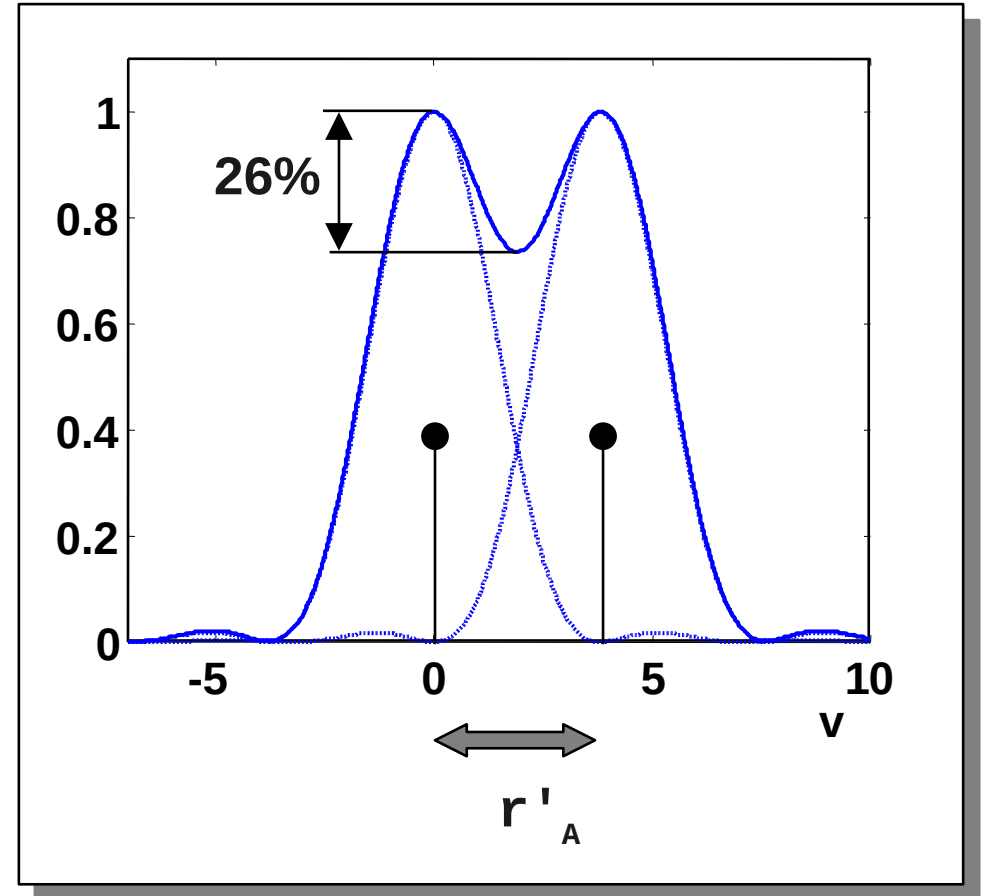
„Airy-Scheibchen“



Maximum
auf 1.
Minimum



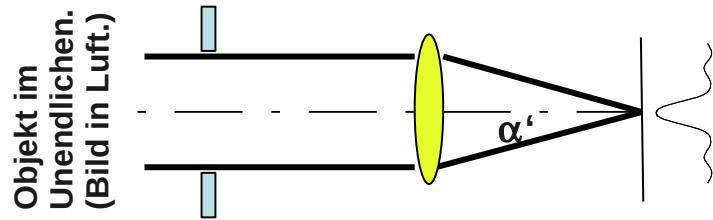
2 Punktbilder



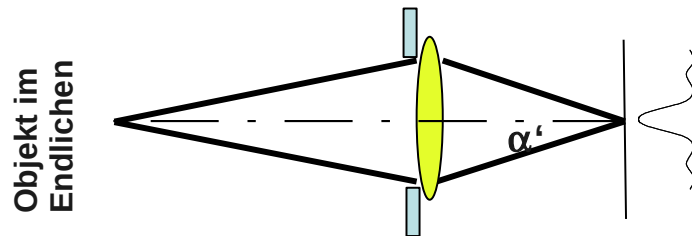
$$r'_A = 0.61 \lambda / NA'$$

Trennung von 2 benachbarten Punkten

Wesentliche Formeln Auflöung:



$$r'_A = 0.61 \frac{\lambda}{NA'} = 1.22 \lambda K$$

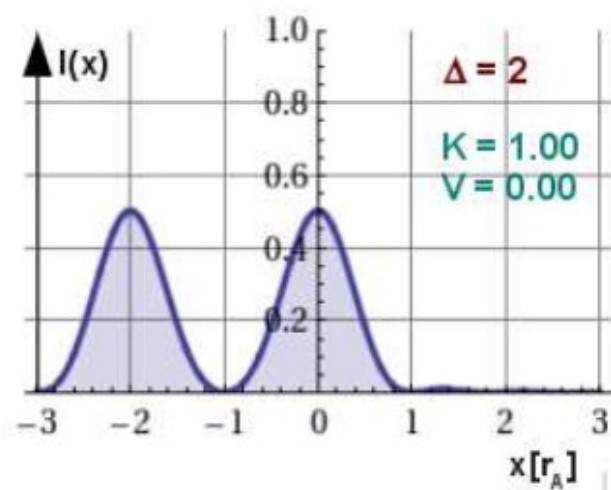
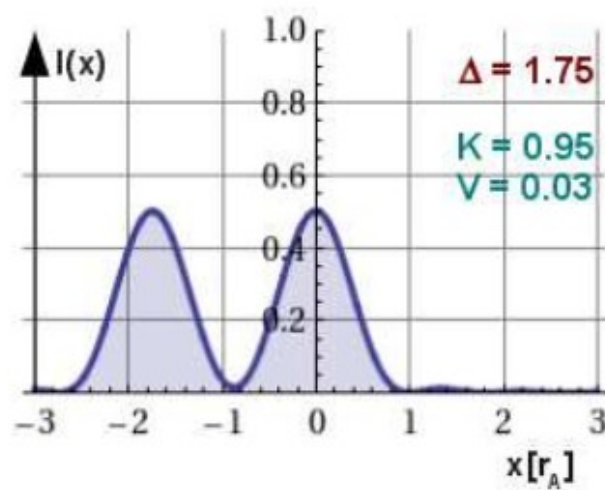
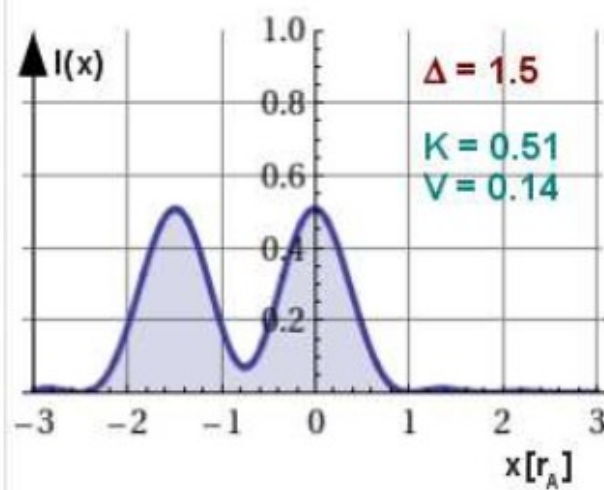
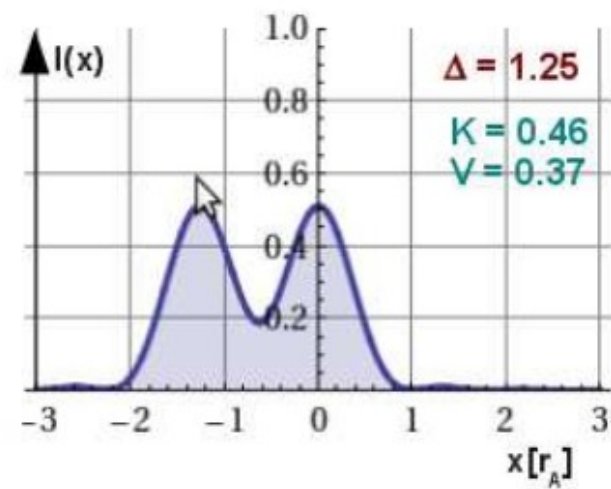
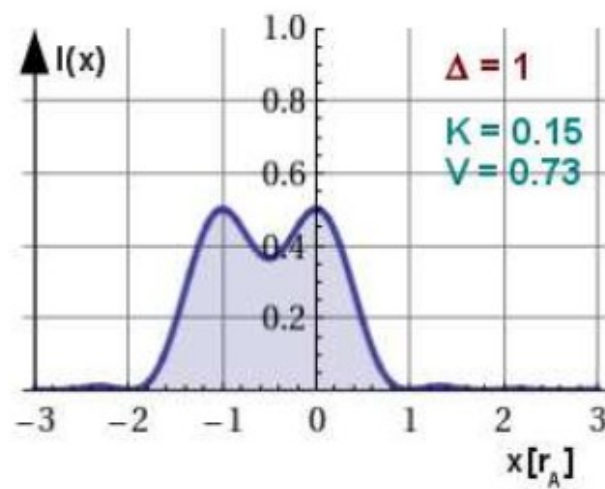
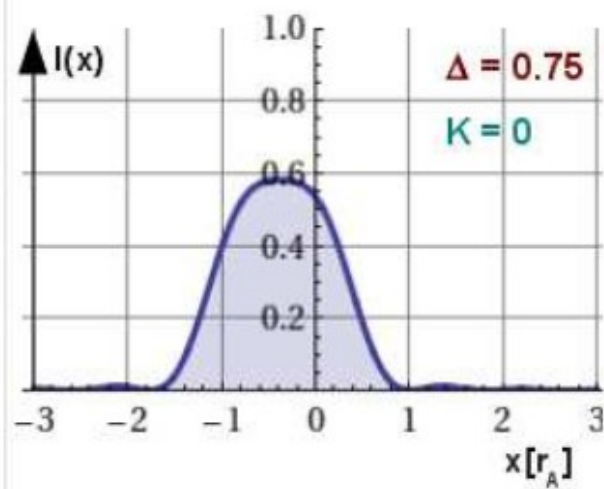
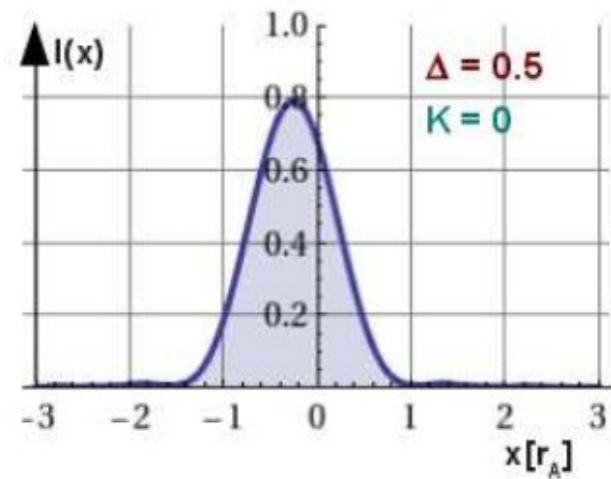
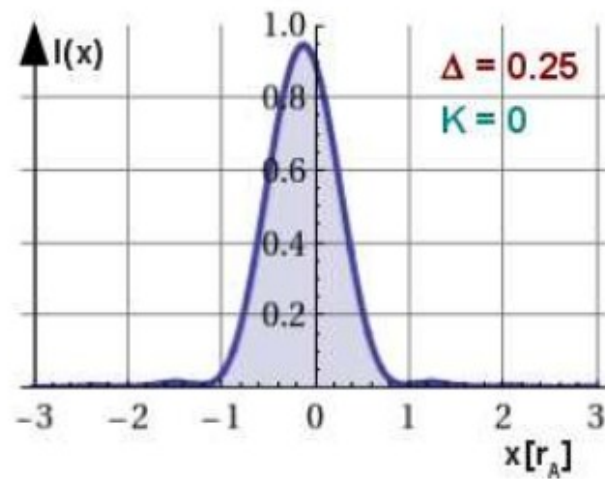
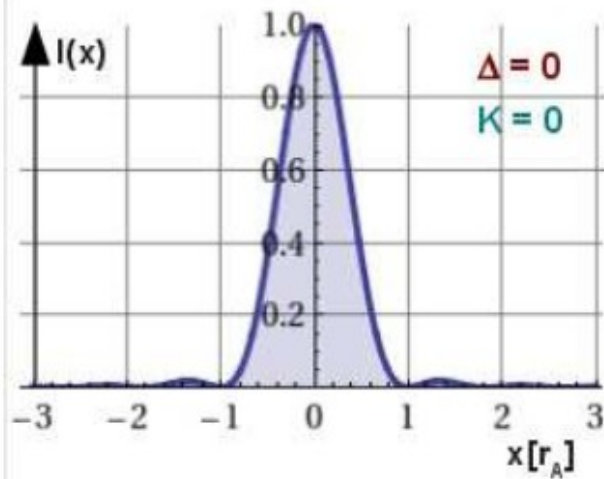


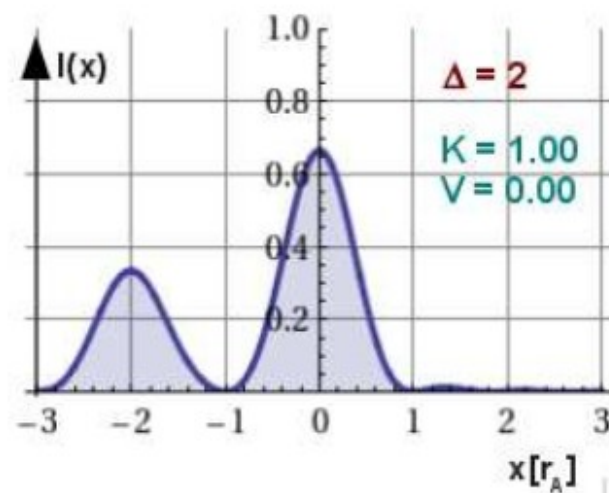
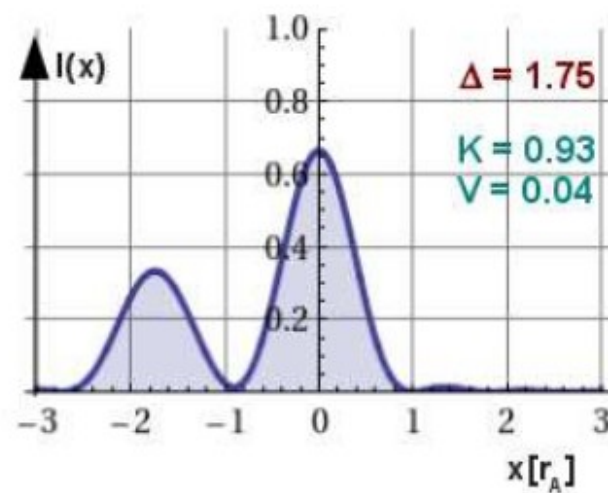
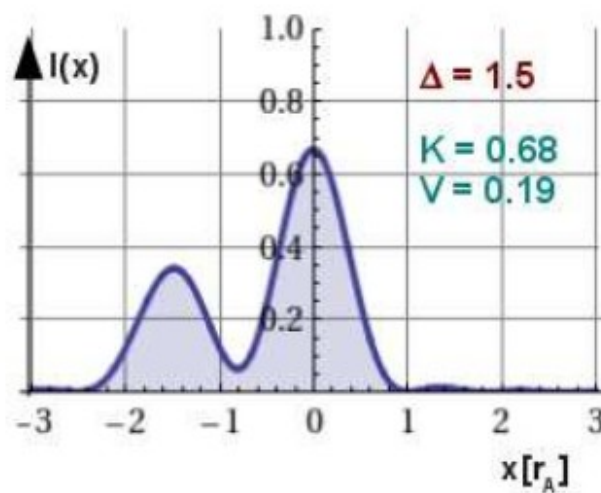
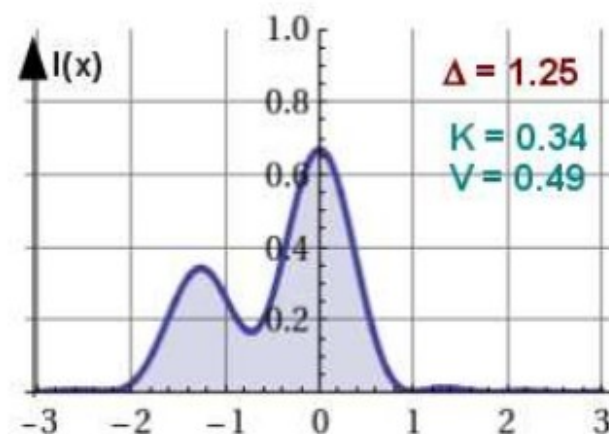
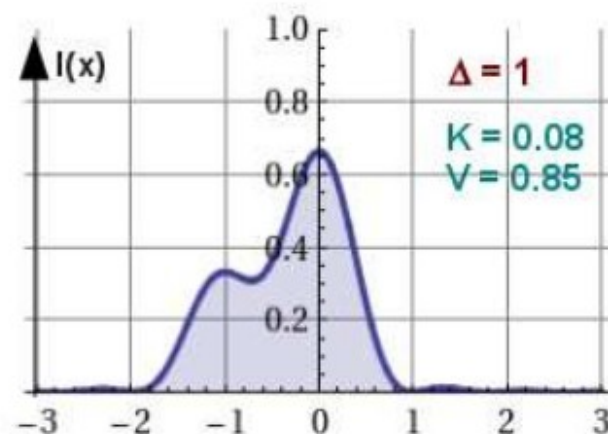
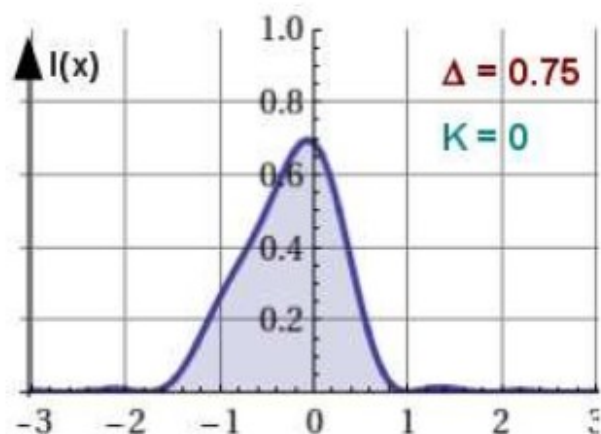
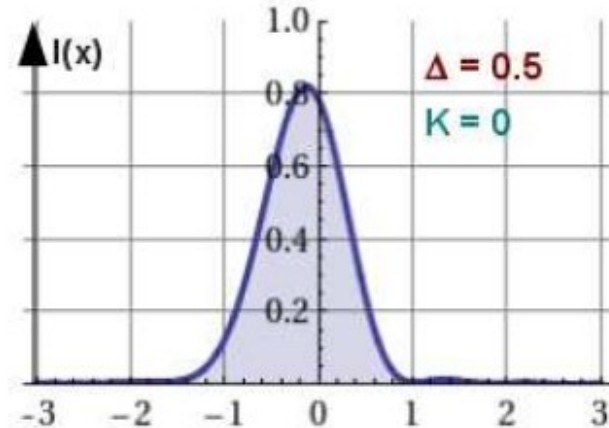
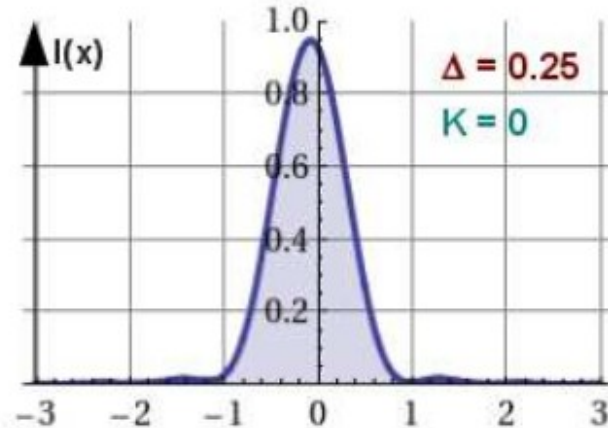
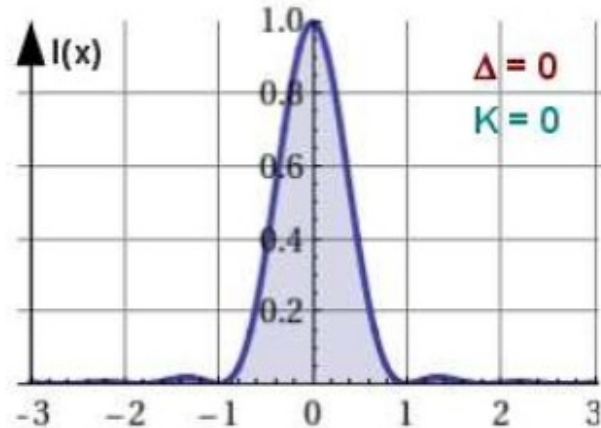
$$r'_A = 0.61 \frac{\lambda}{NA'}$$

Abbe: 0.61 $\rightarrow$ 0.5

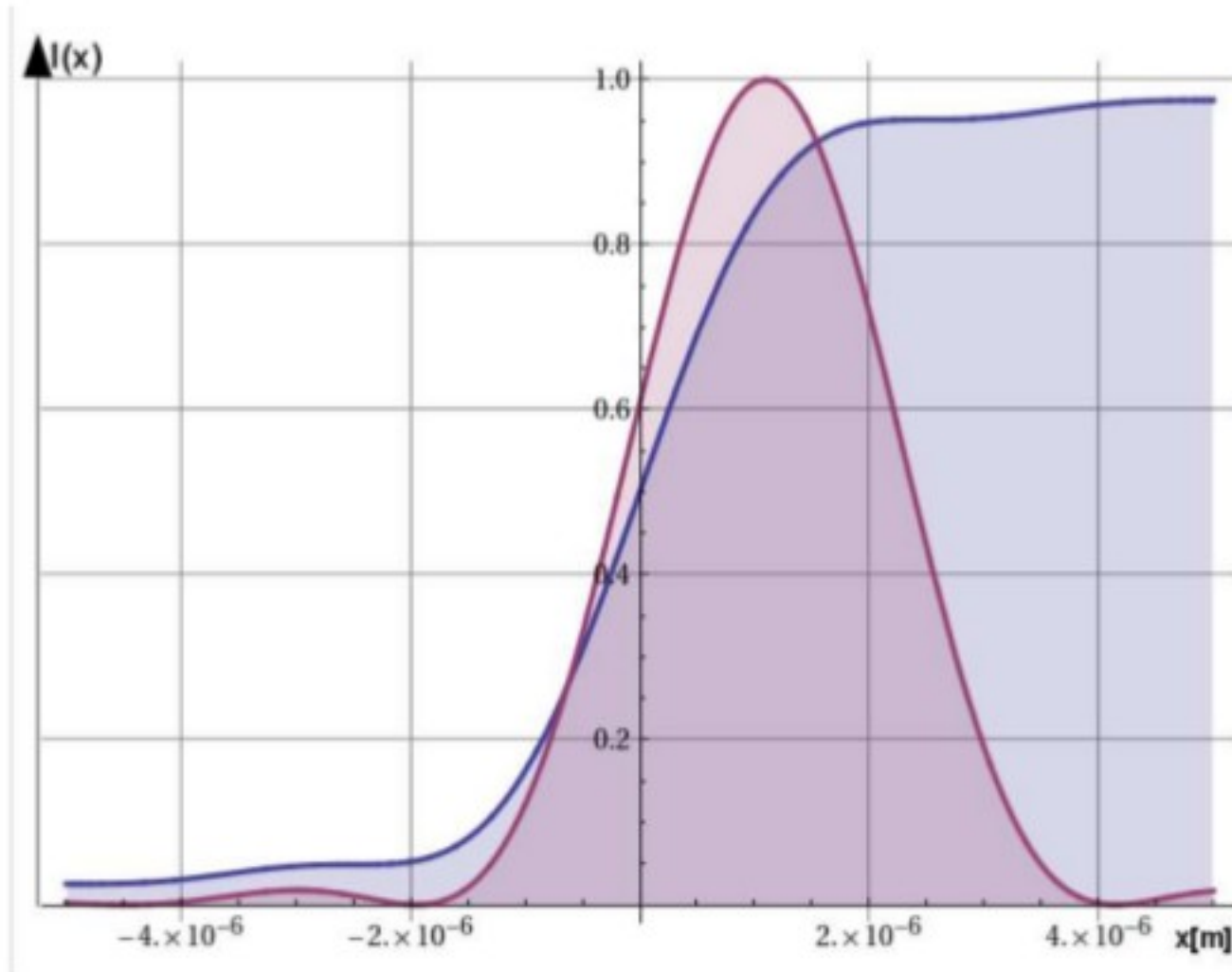
$$r'_A = \lambda' \cdot r_A$$

Beispiel: Verwendet wird ein gut korrigiertes Objektiv mit der Blendenzahl 9. Welchen Durchmesser erwarten Sie für die Abbildung eines idealen Punkts ?





Sonderfall: Kanten



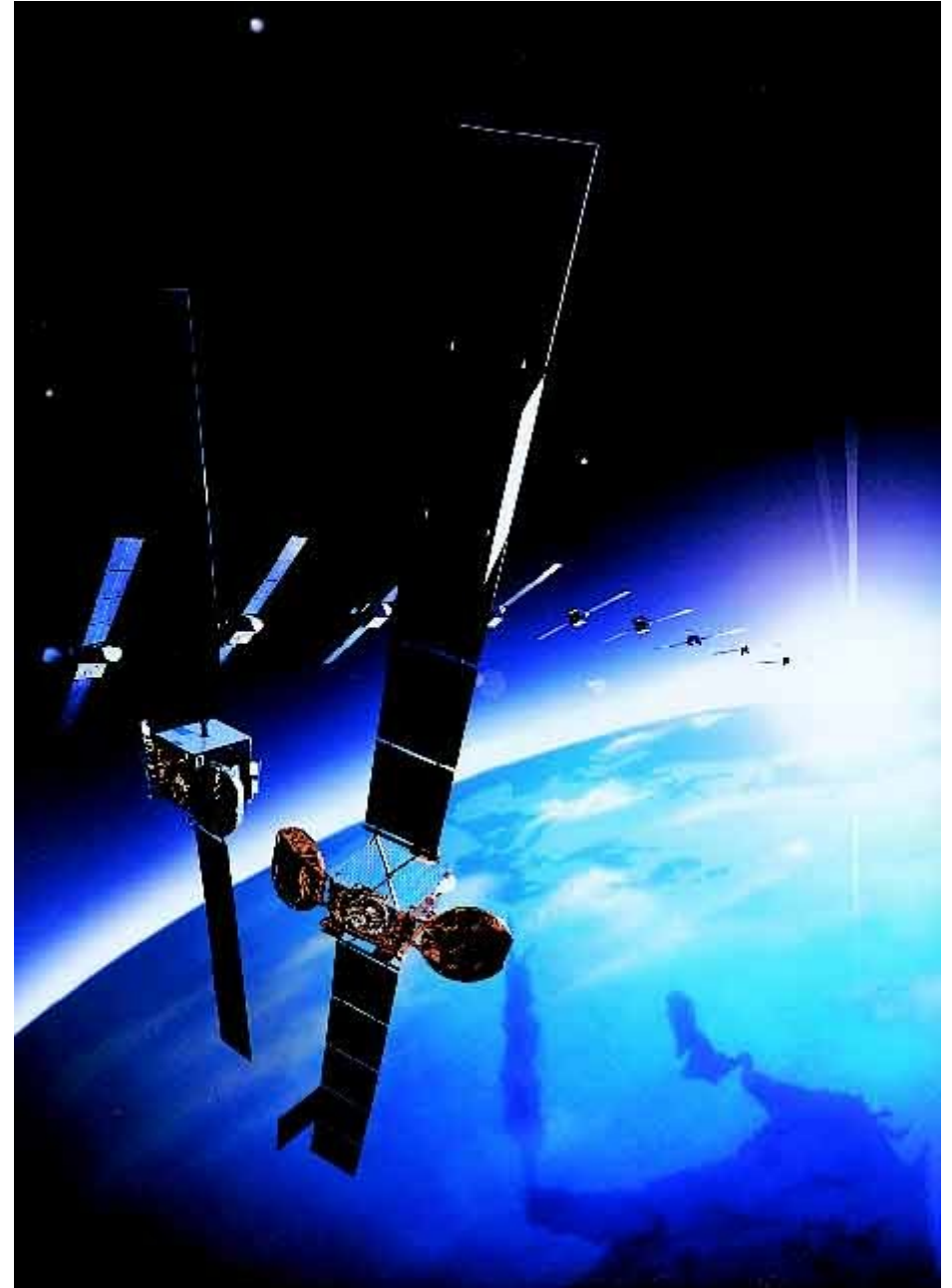
Kantenausdehnung $\approx$ Spotradius

Spionage Satellit

*Kann man unser
Nummernschild vom All aus
lesen ?*



Auflösung: ca. 1 cm



Spionagesatellit in Höhe 330 km.

Pixelgröße des Bildaufnehmer (CCD): 10 μm .

Aufgelöst werden soll ein minimales Detail von 50 mm.

1. Abbildungsmaßstab des optischen Systems.

$$\beta' = \frac{10 \mu\text{m}}{50 \text{mm}} = 2 \cdot 10^{-4}$$

2. Brennweite des optischen Systems. (Näherung: $a' = f'$)

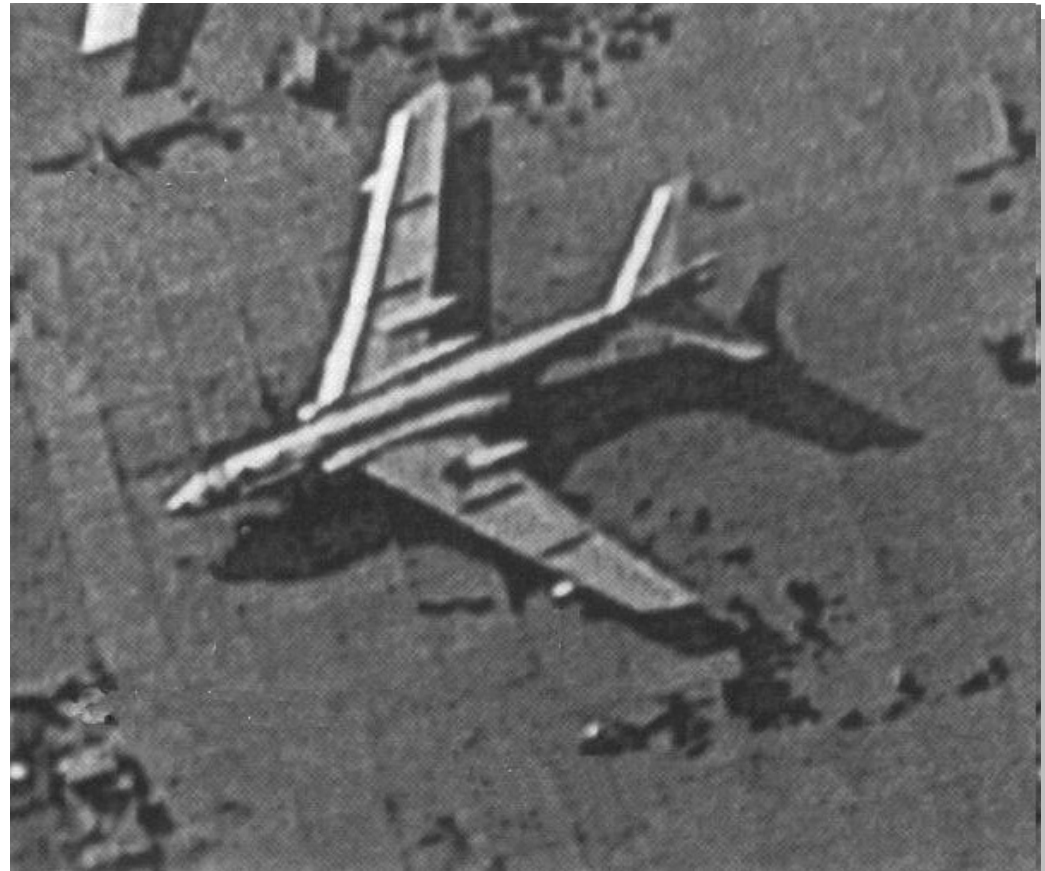
$$\beta' = 2 \cdot 10^{-4} = \frac{a'}{a} = \frac{f'}{a} \quad f' = a \cdot \beta' = 330.000 \cdot 2 \cdot 10^{-4} = 66 \text{m}$$

3. Durchmesser (der Eingangspupille) des optischen Systems.

$$D_{\text{Spot}} = 2.44 \frac{\lambda f'}{D} = 10 \mu\text{m}$$

$$D = 2.44 \frac{\lambda f'}{10 \mu\text{m}} = 8.1 \text{m}$$

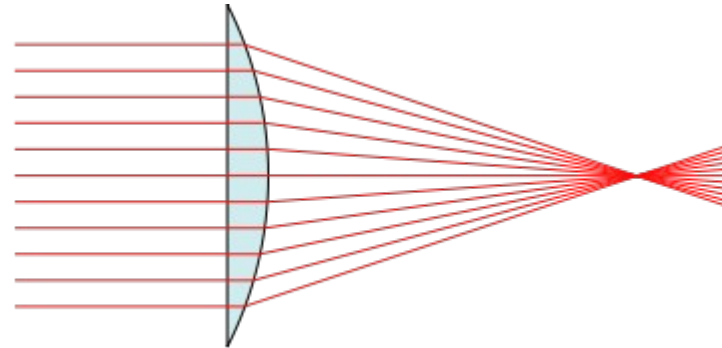
- $L = 15 \text{ m}$ (Vgl. Hubble: 13 m), $D=4.5 \text{ m}$
- Masse: 18 t
- Höhe: 330 km
- Position steuerbar (Triebwerk)
- Launch: 2001
- Auflösung: 10 cm
- Sichtbar und nahes Infrarot



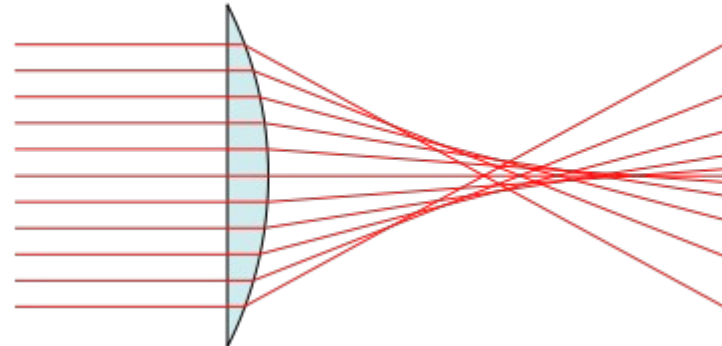
KH-12 (USA)

Bildfehler

ideal



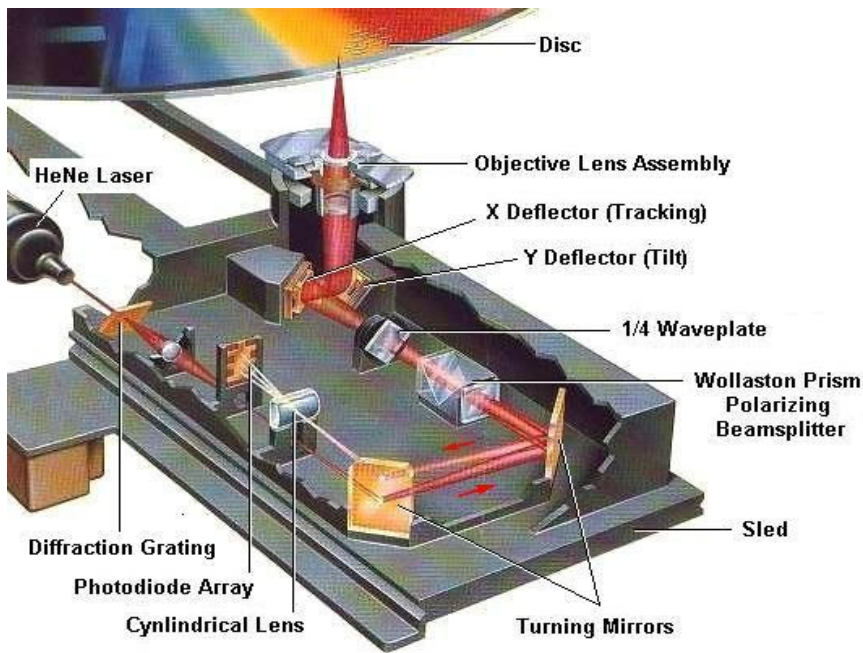
real



Beachte:

- Auch bei perfekter Fertigung ergeben sich Aberrationen !
- Aberrationen sind stark abhängig von
 - Feldposition
 - Blendeneinstellung (steigen stark mit numerischer Ap.)
 - Arbeitsabstand
 - Wellenlänge

Einfach



Optical Path of Early HeNe Laser-Based LaserDisc Player Prototype

Abbildung weniger Punkt

Geringe NA

Geringe Lichtstärke

Monochromatisch

Schwierig

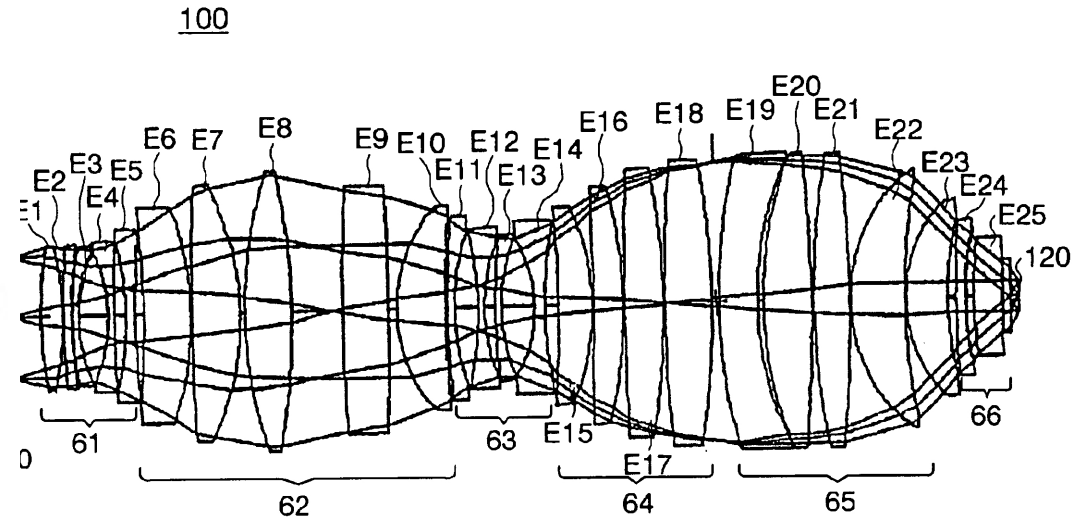


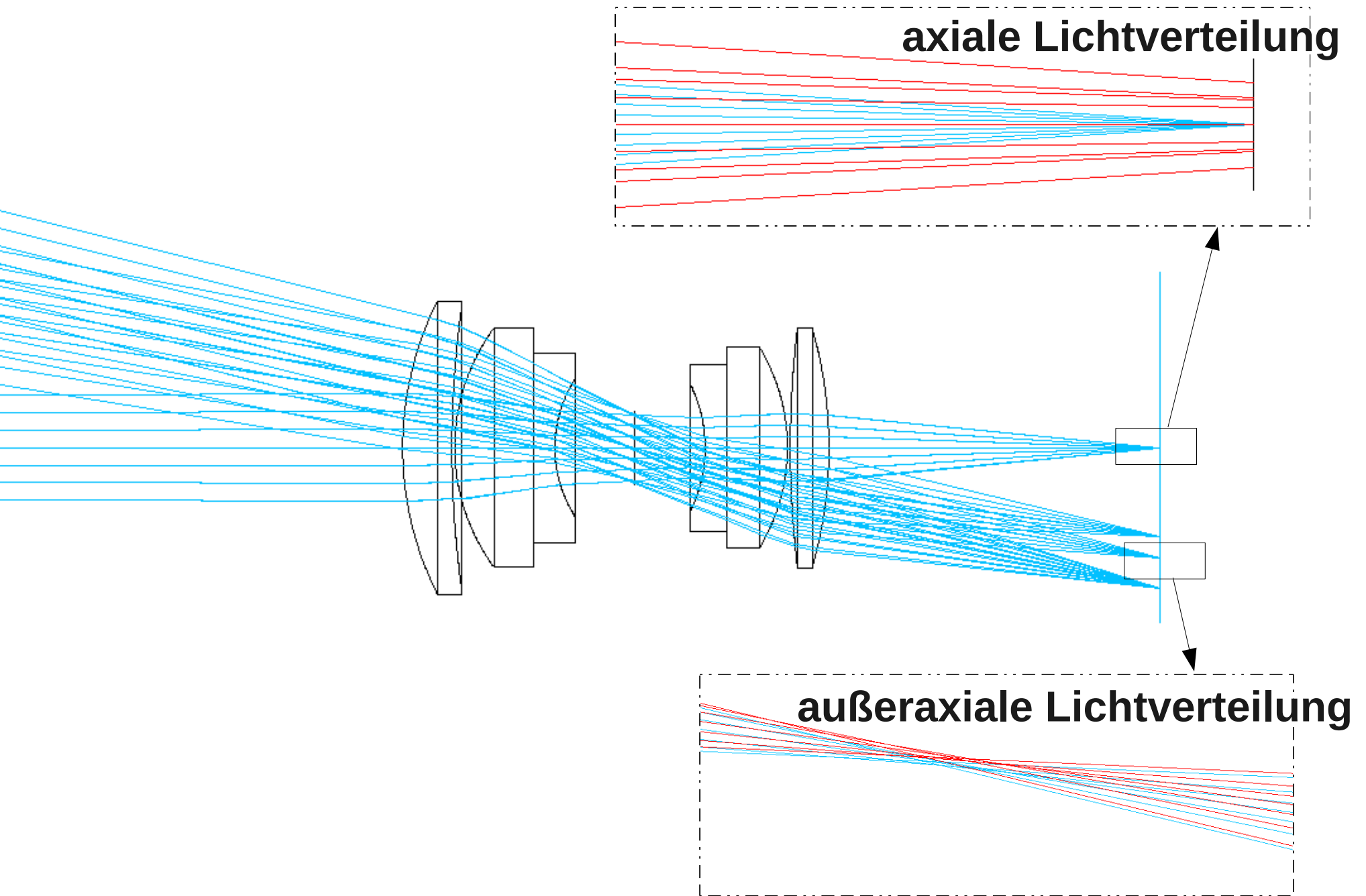
Abbildung vieler Punkt
(ausgedehntes Feld)

Große NA

Hohe Lichtstärke

Polychromatisch

Chromatische Aberrationen



Also: Wenn möglich monochromatisch arbeiten !

Wichtige Kenngrößen / Beurteilungszahlen

1

Beugungsgrenze (Auflösung nach Rayleigh oder Abbe)

2

Anzahl der auflösbaren Pixel (Ortsbandbreitenprodukt)

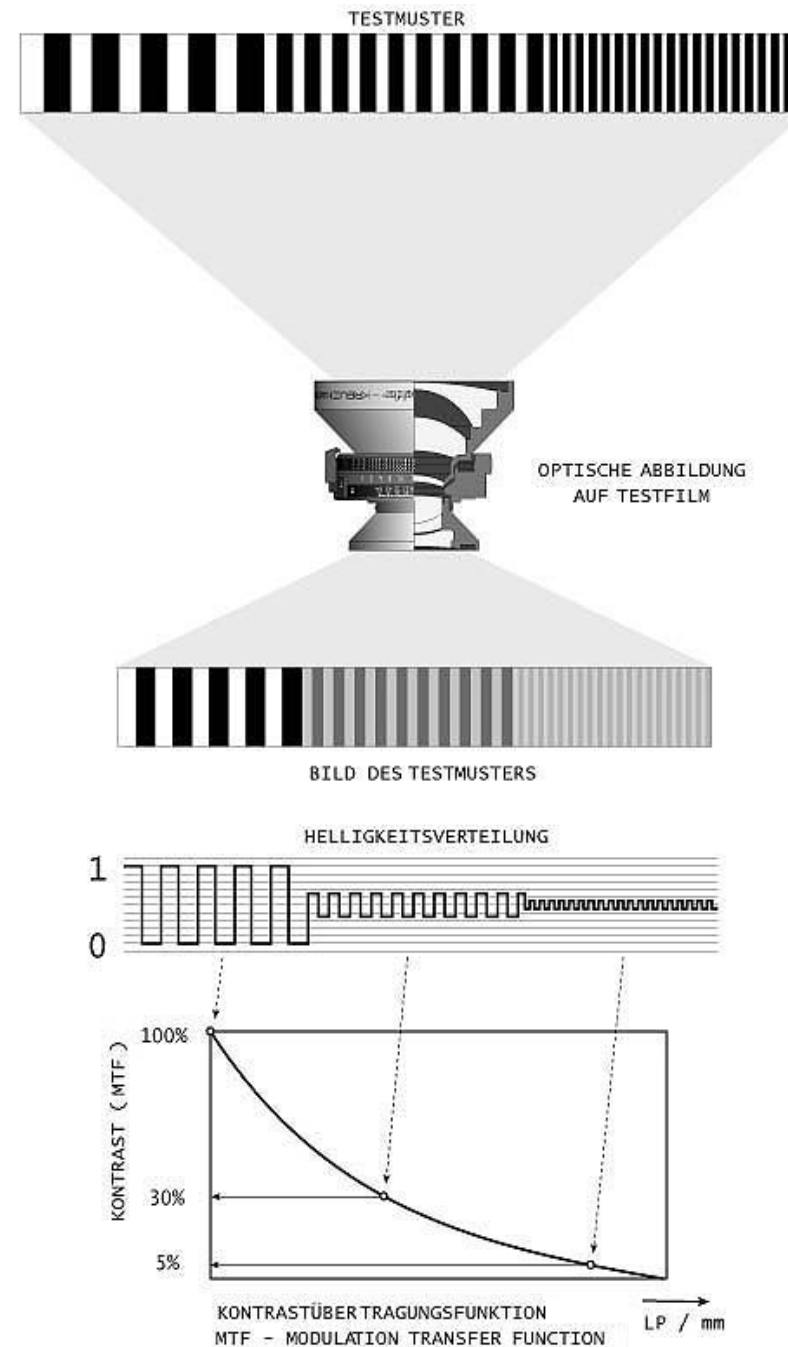
Analog zur „Auflösung“ beim klassischen Foto:
(Betrachtung mit Lupe: welche Streifenfrequenz ist gerade noch *sichtbar* ?)

3

MTF-basiert:

- Bis zu welcher Frequenz (lp/mm) gibt's einen ordentlichen Kontrast (z.B. 30%) ?
- Maximaler Kontrast bei *wichtigen* Frequenzen
- Fläche unter der MTF Kurve (z.B. Subjective Quality Factor)

Modulations-Transfer Funktion (MTF)

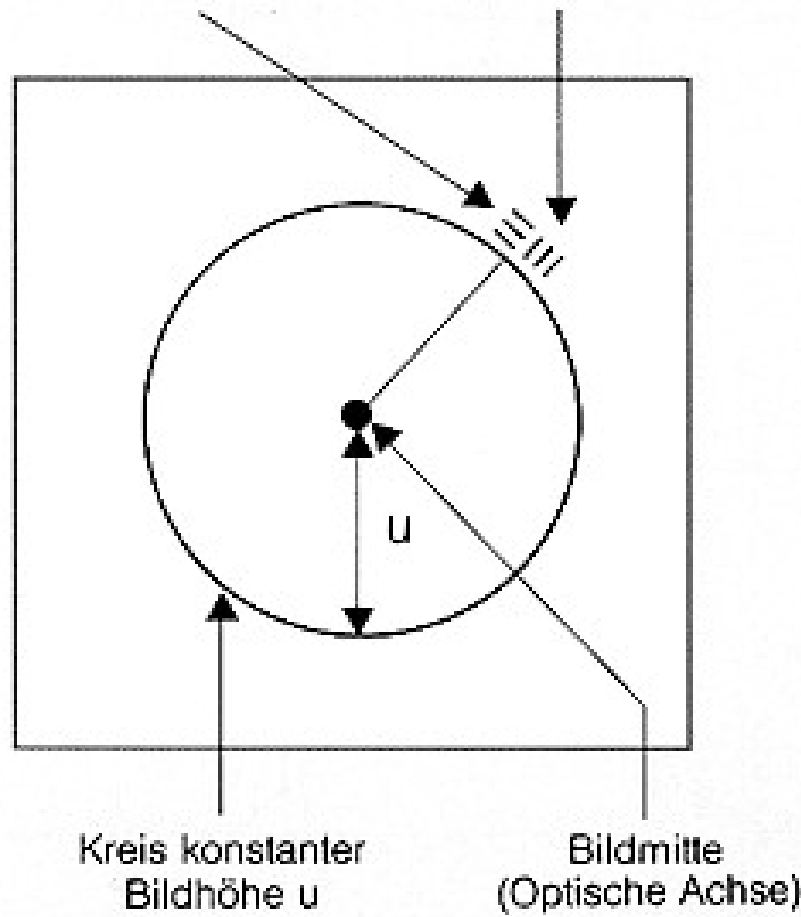


Kontrast

$$K = \frac{I_{max} - I_{min}}{I_{max} + I_{min}}$$

tangentielle Orientierung

sagittale Orientierung



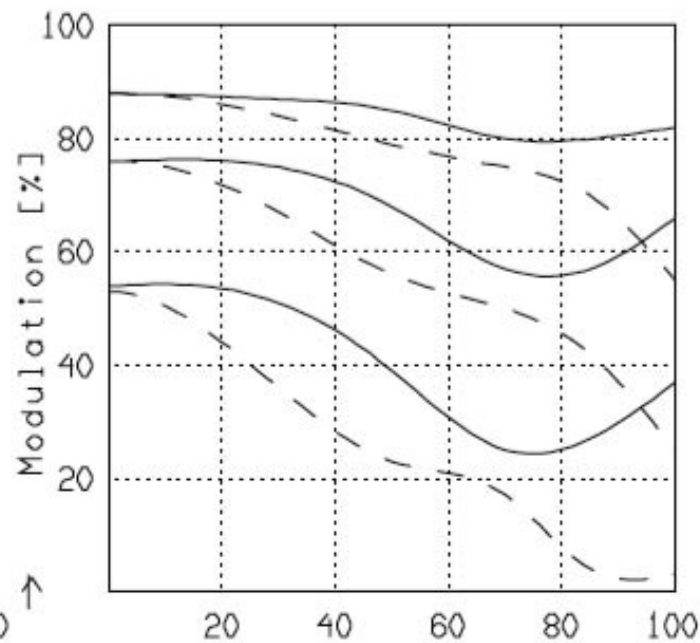
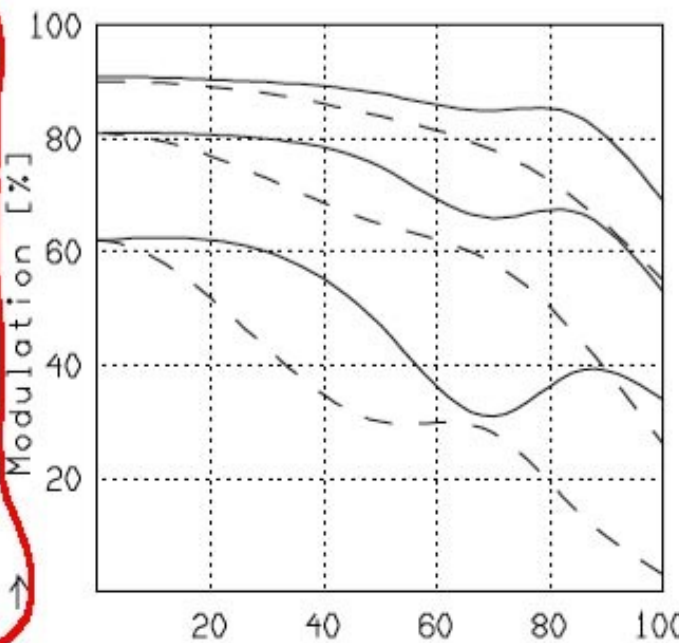
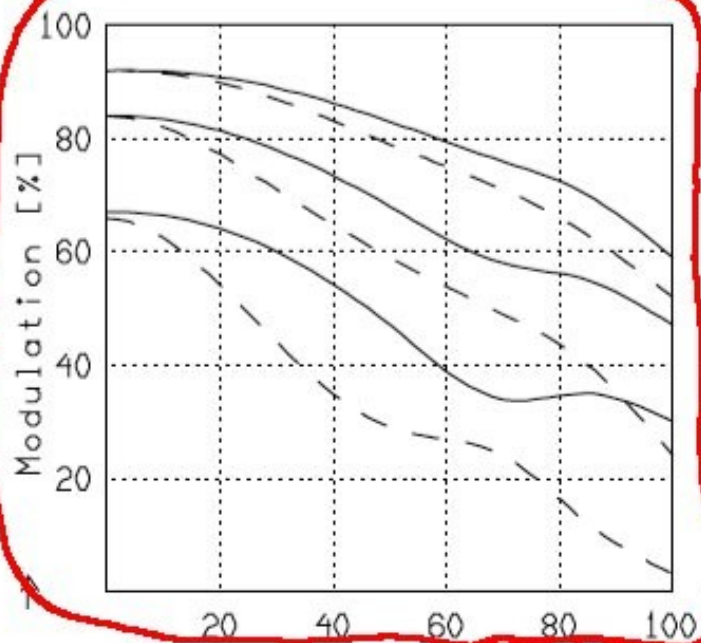
Typische Auftragsung

APO-DIGITAR 5.6/24

MODULATION with reference to the relative image height

Wavelength λ	[nm]	520	620	670	570	470	420
Spectral weighting	[%]	19.0	19.0	10.0	19.0	19.0	14.0
Spatial frequency R	[1/mm]	15	30	60			
Image- $\emptyset$ f / 5.7	[mm]	60.0					
Image- $\emptyset$ f / 11.0	[mm]	60.0					

radial —
tangential - -



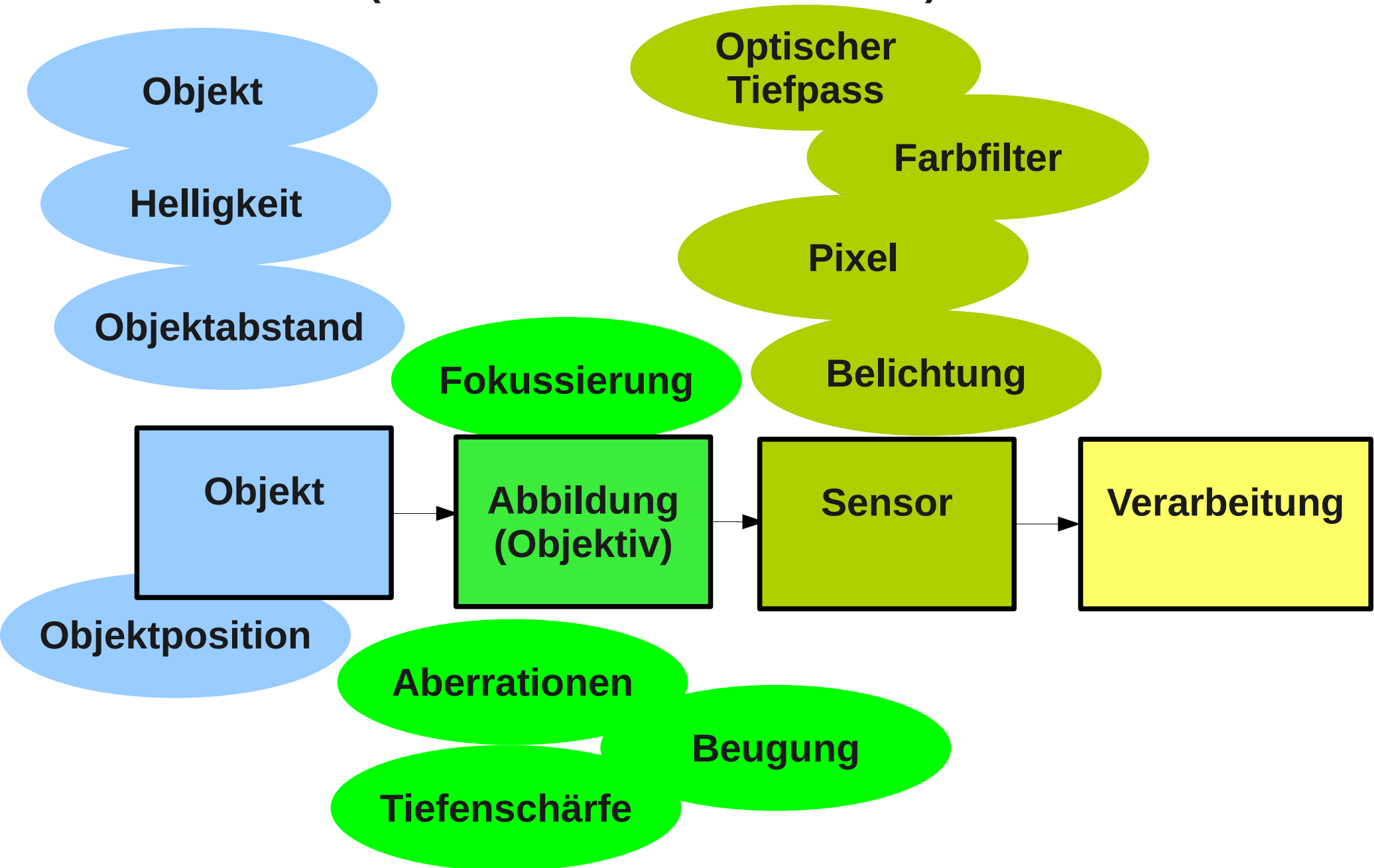
$\rightarrow u'/u'_{\max} * 100$ [%] $u'_{\max} = 30.0$
 $f^* = 24.9$ $f / 5.7$ $1/\beta^* = \infty$ $00^* = \infty$

$\rightarrow u'/u'_{\max} * 100$ [%] $u'_{\max} = 30.0$
 $f^* = 24.9$ $f / 8.0$ $1/\beta^* = \infty$ $00^* = \infty$

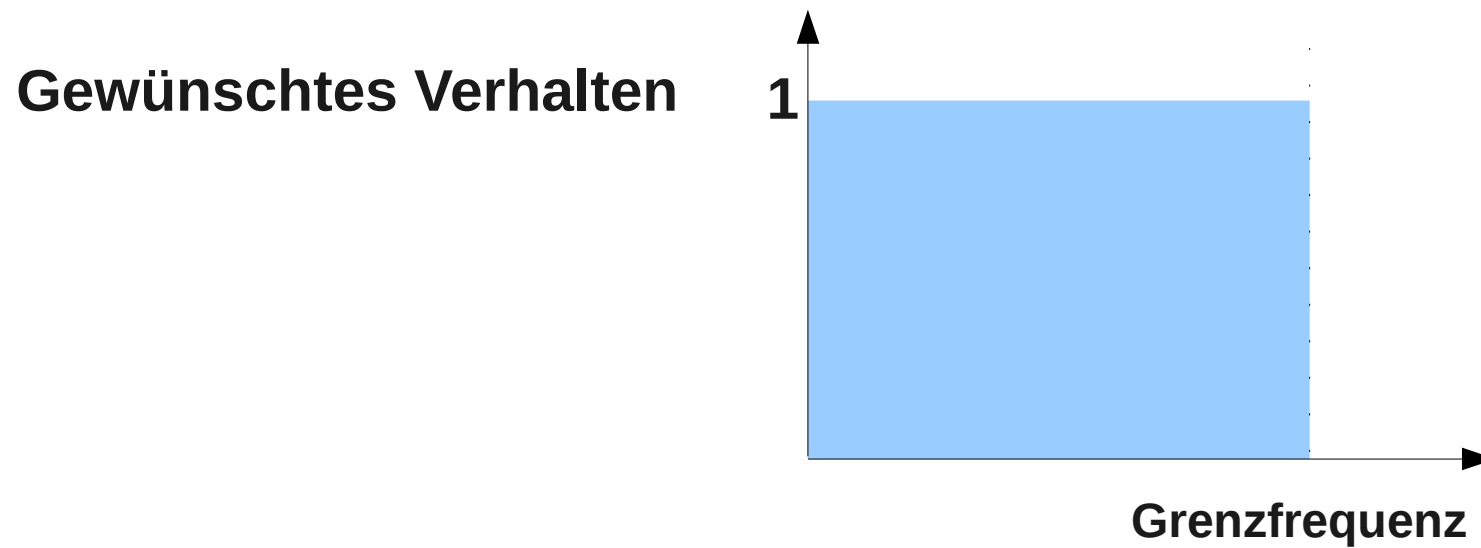
$\rightarrow u'/u'_{\max} * 100$ [%] $u'_{\max} = 30.0$
 $f^* = 24.9$ $f / 11.0$ $1/\beta^* = \infty$ $00^* = \infty$

Bildaufnahme: Wovon hängt Auflösung ab ?

(Welche Kamera ist schärfer ?)



MTF Gesamtsystem

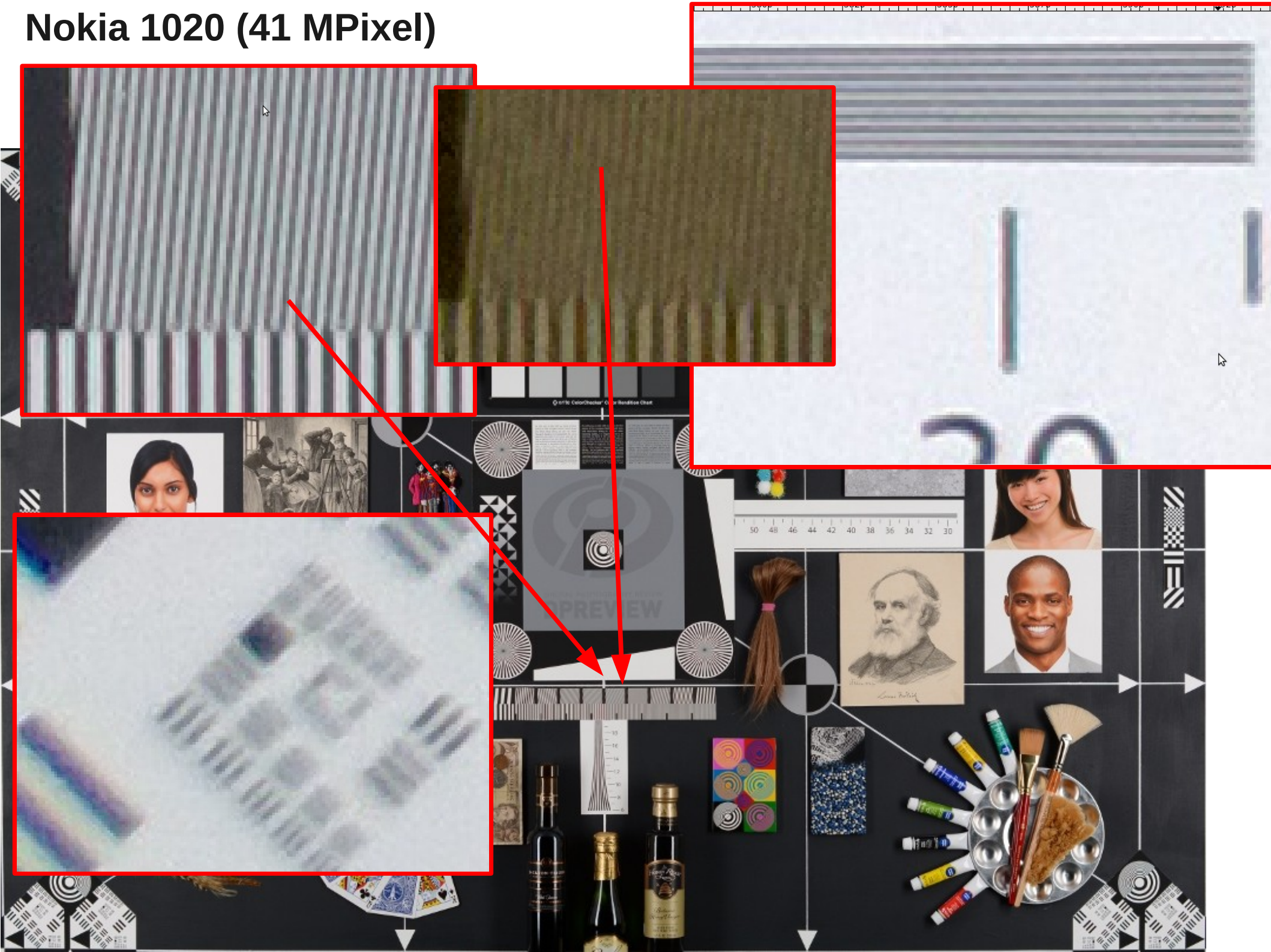
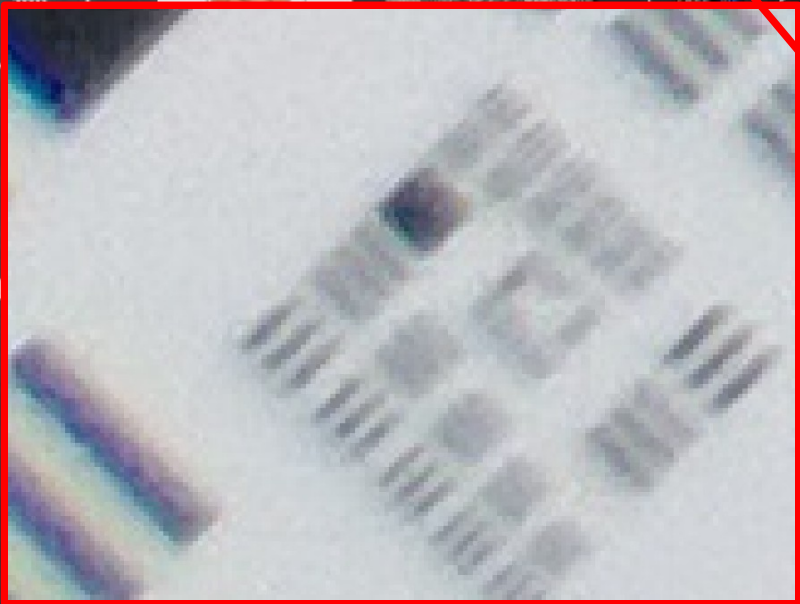
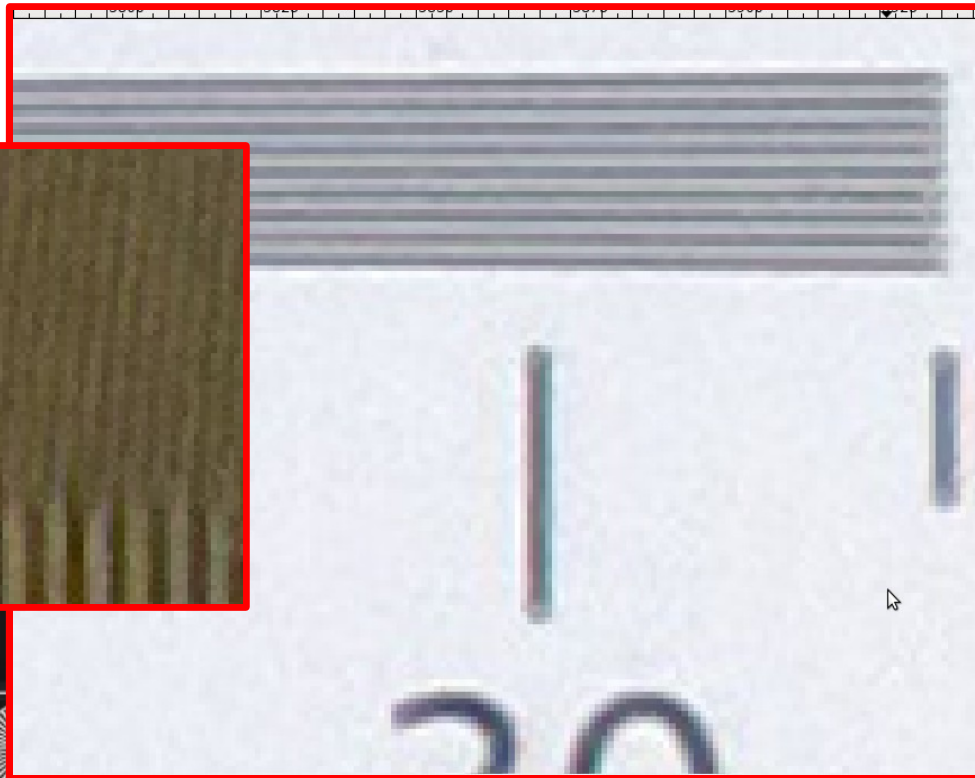
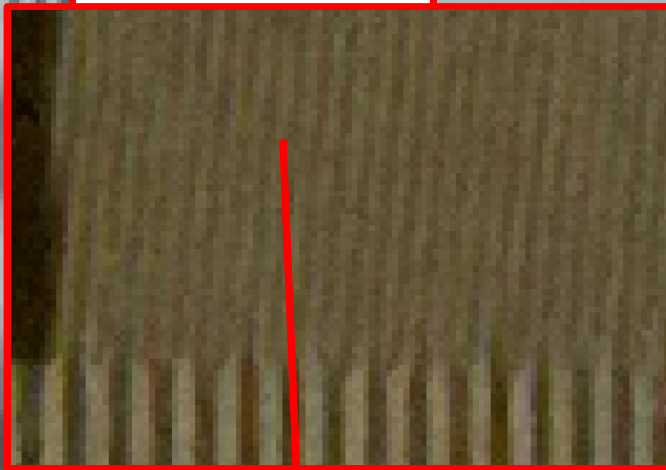
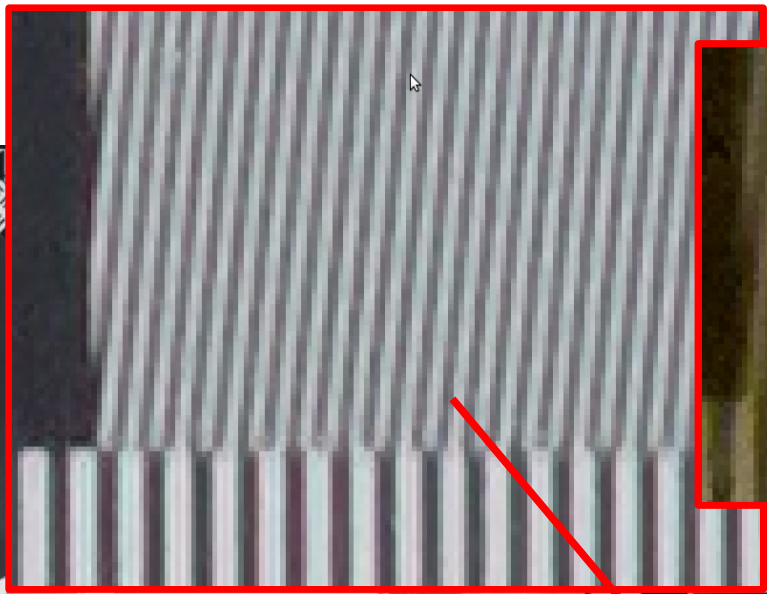


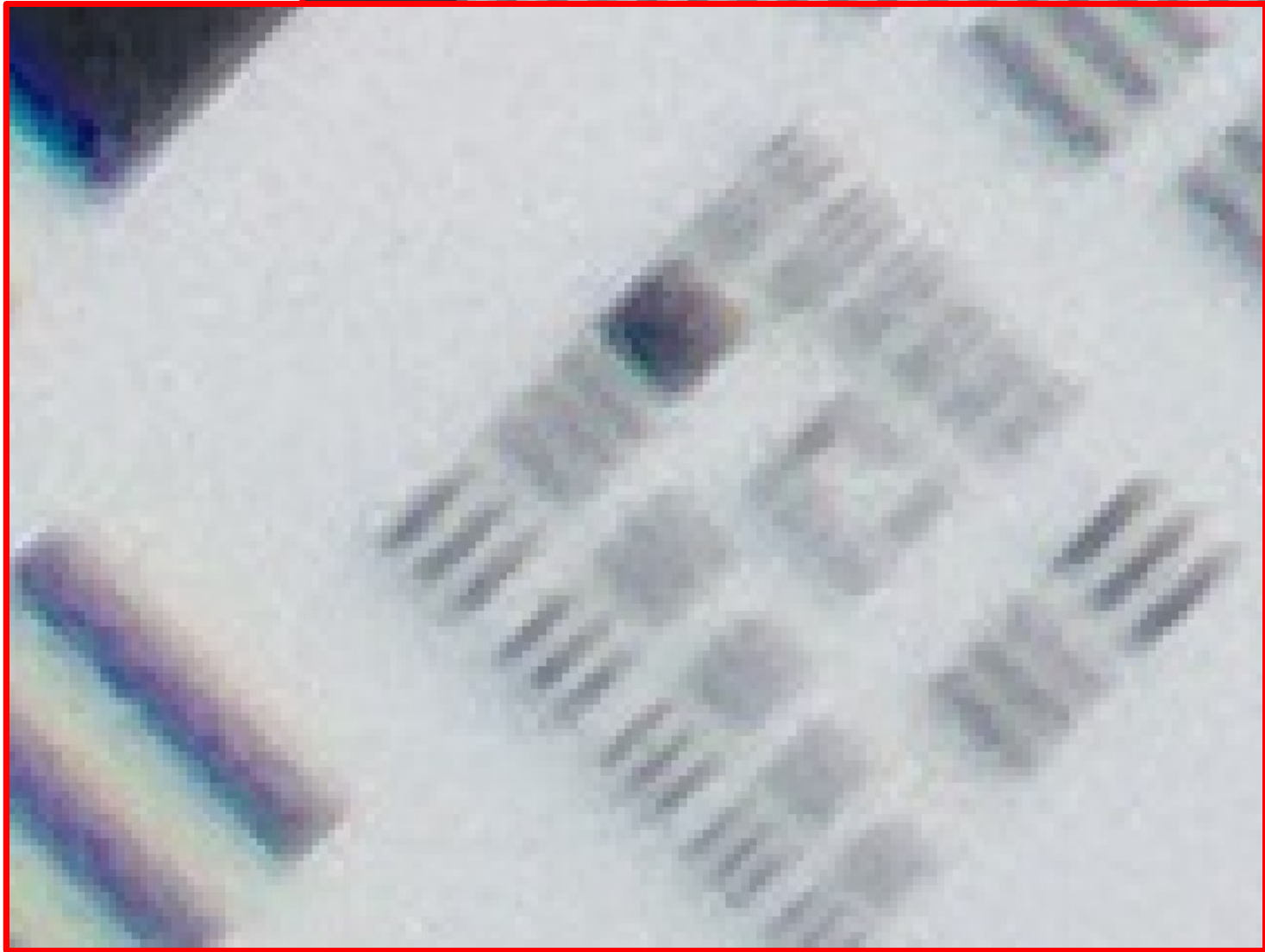
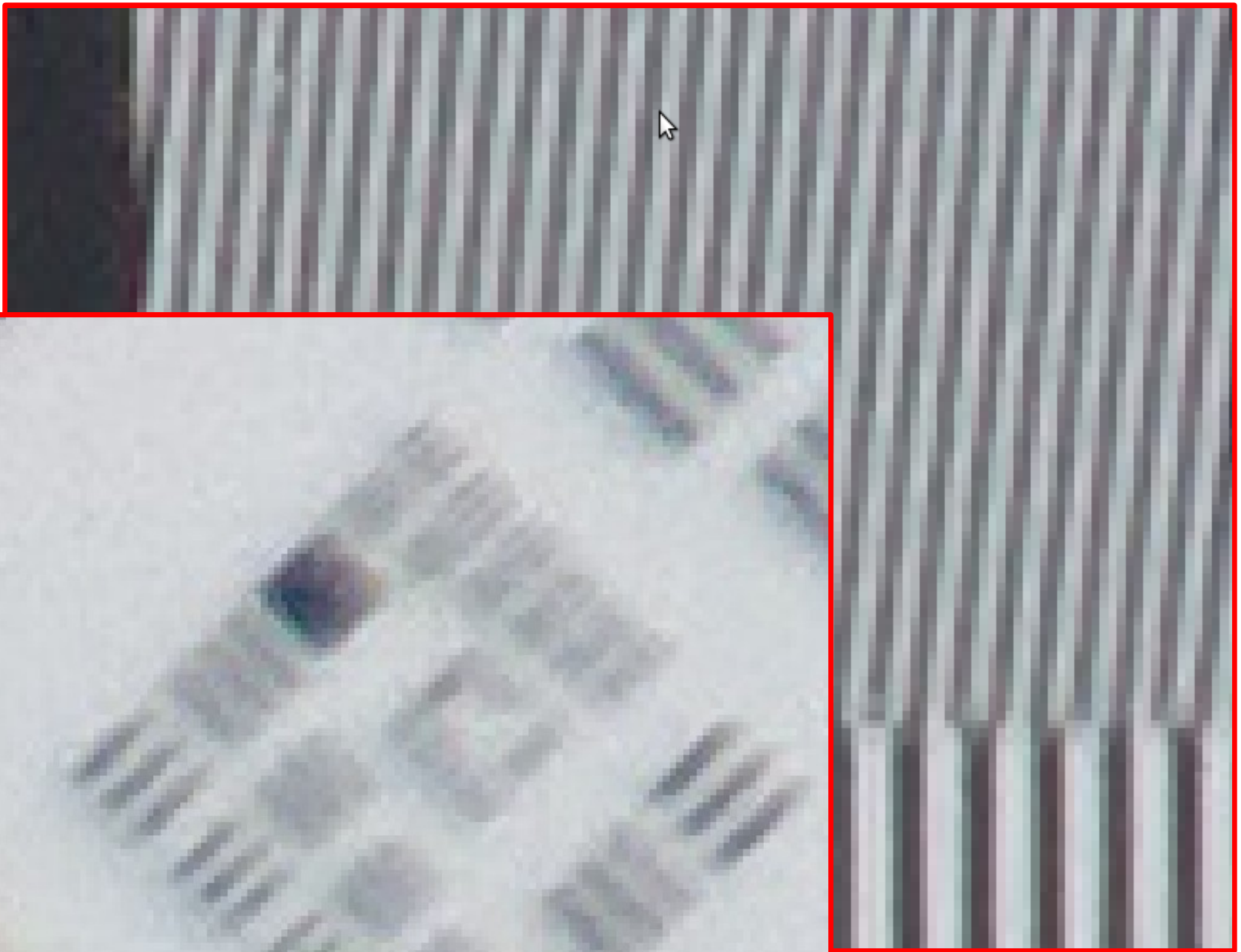
Das interessiert uns

 =  ·  · 

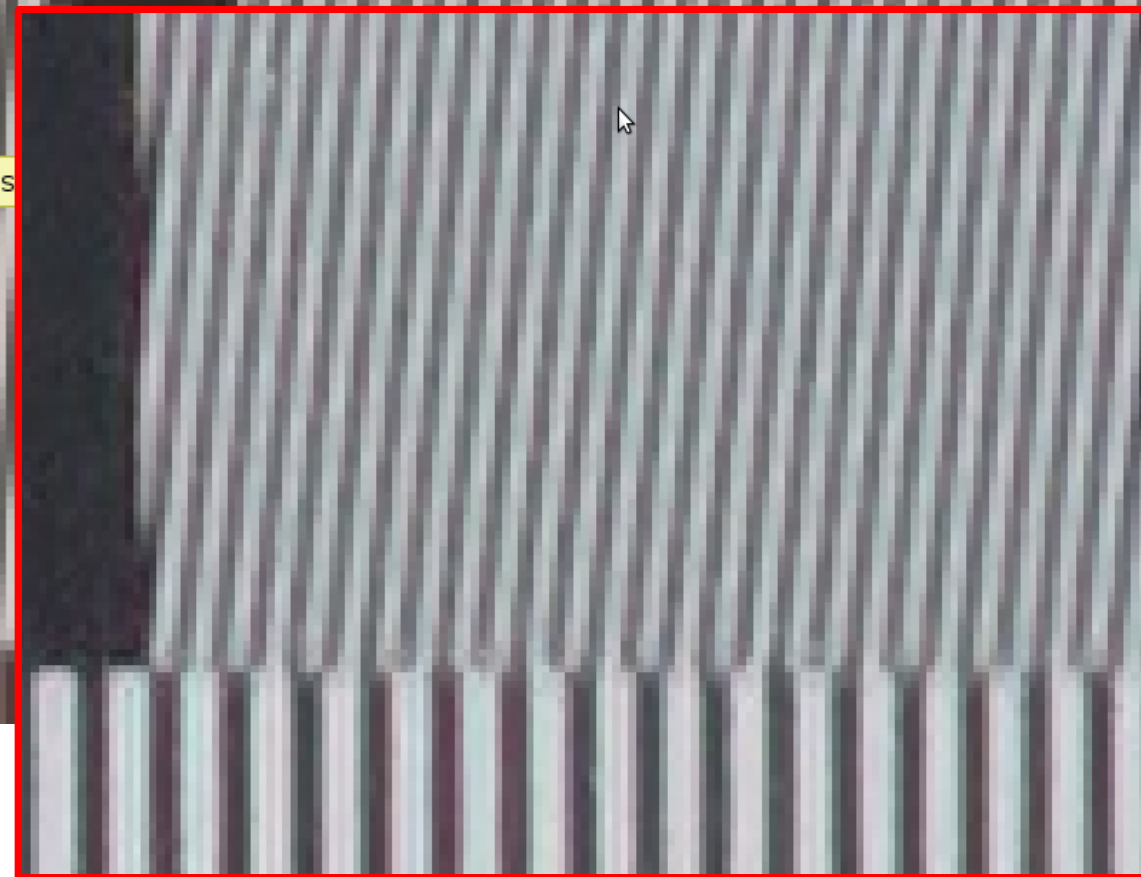
$$\text{MTF} = \text{MTF}_{\text{Optik}} \cdot \text{MTF}_{\text{Sensor}} \cdot \text{MTF}_{\text{Elektronik}}$$

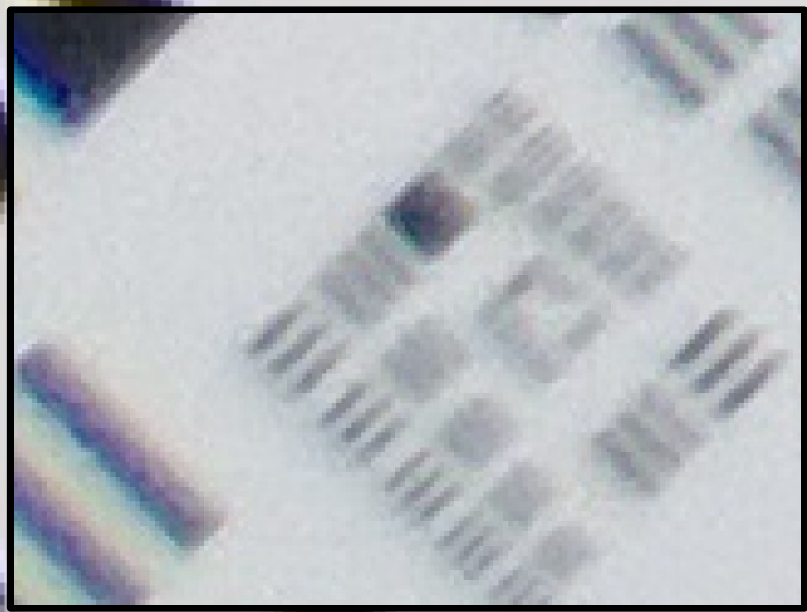
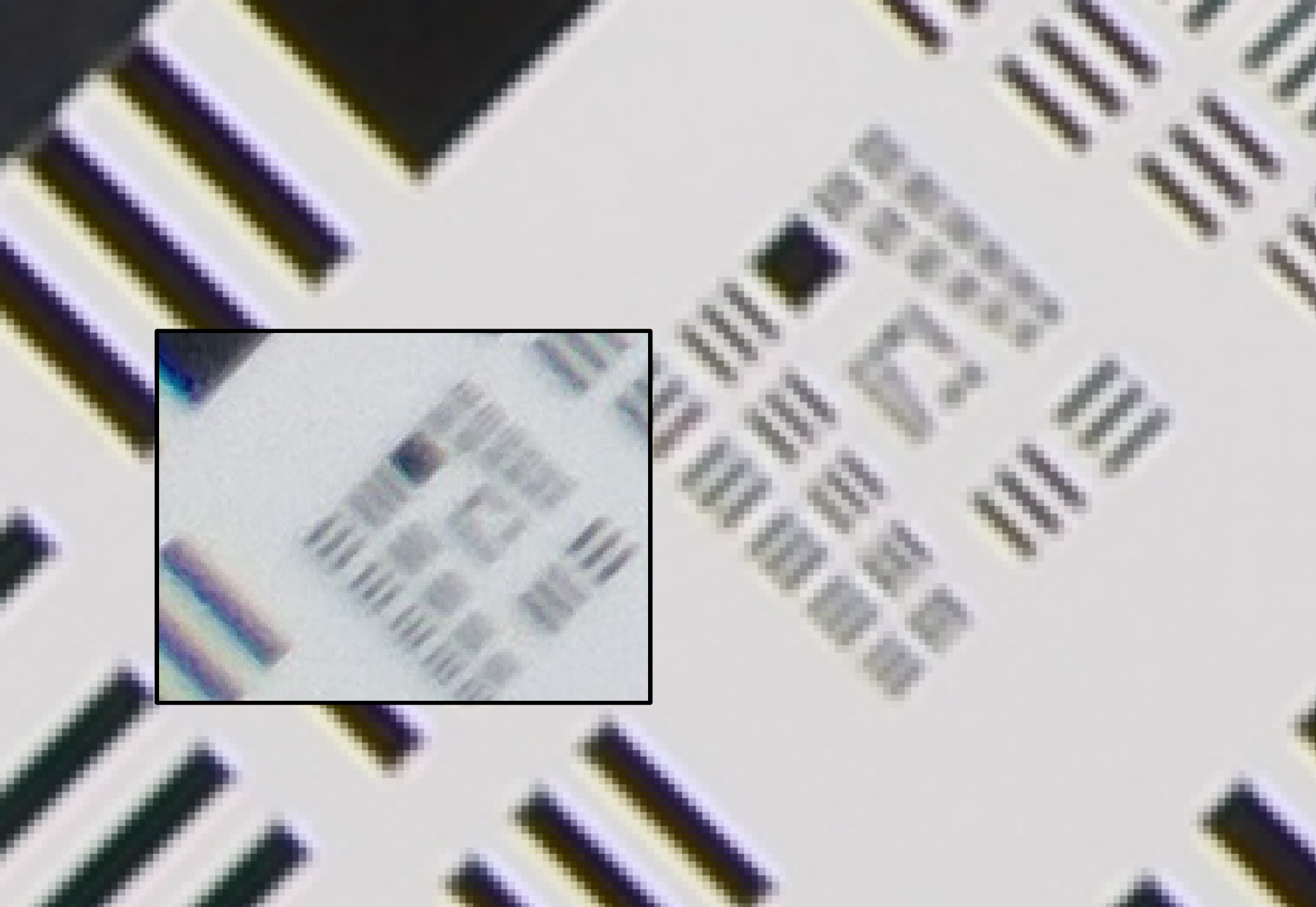
Nokia 1020 (41 MPixel)





Vergleich mit Canon D70

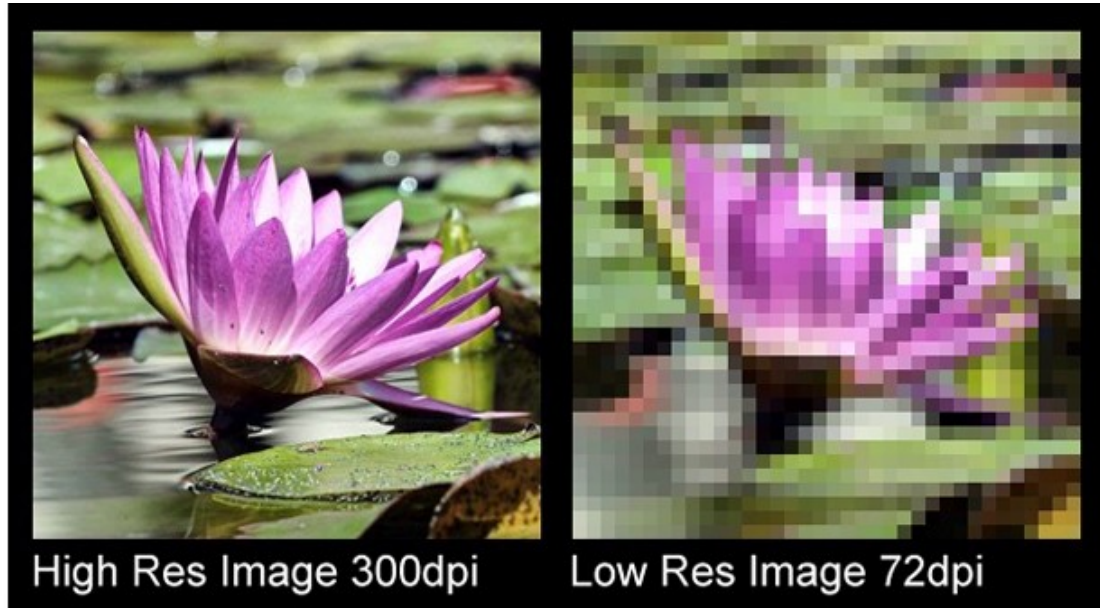




Was begrenzt die (laterale) Auflösung ?

3

Pixelierung

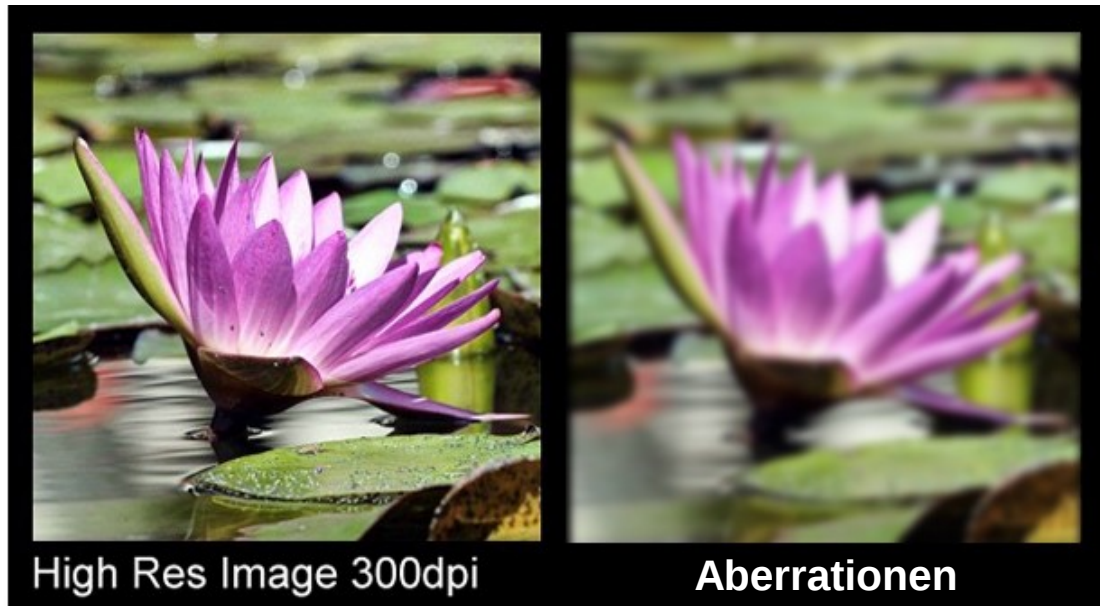


1

Beugungsgrenze

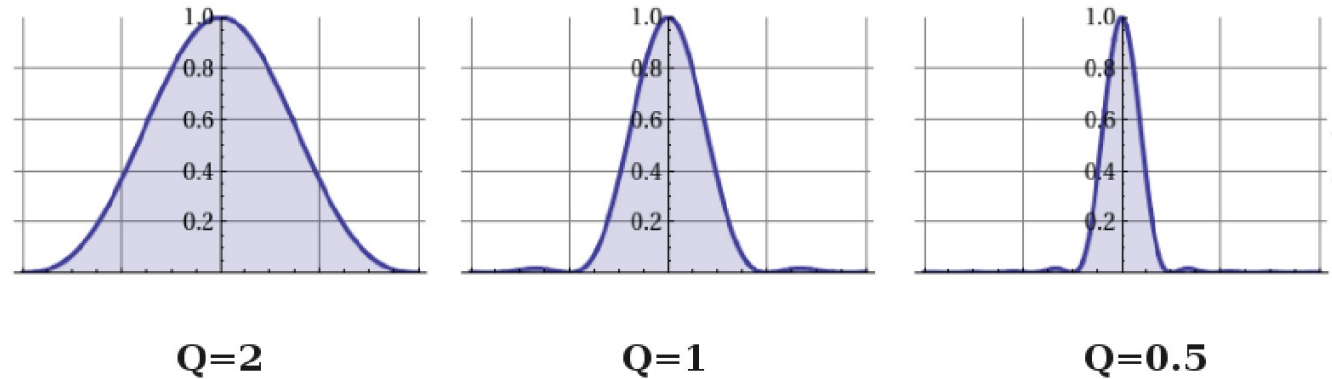
2

**Bildfehler
(auch Defokus)**



Wie wählt man nun konkret Auflösung der Optik und Pixelgröße ?

$$Q := r_A / \text{pixel}$$



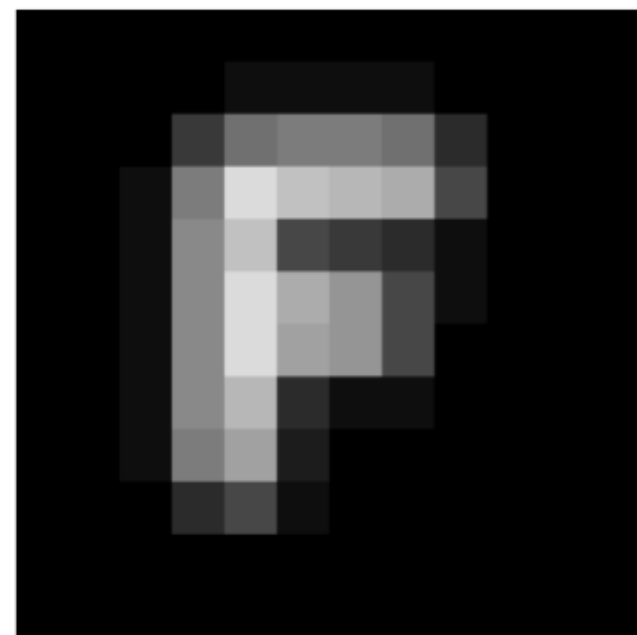
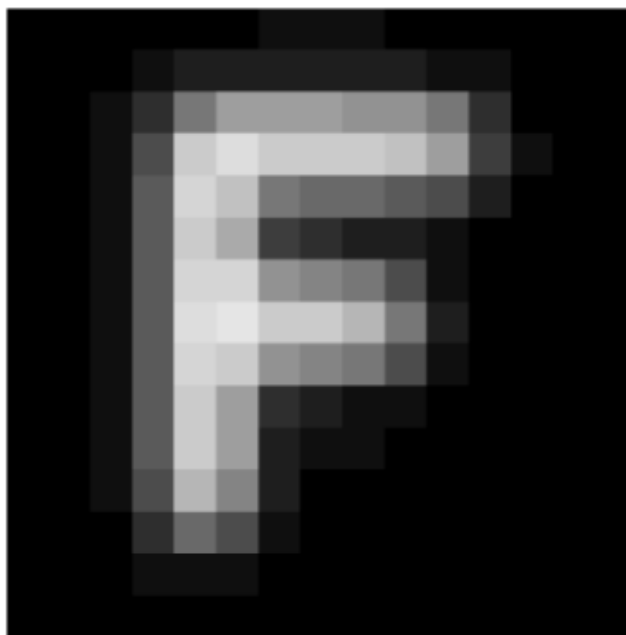
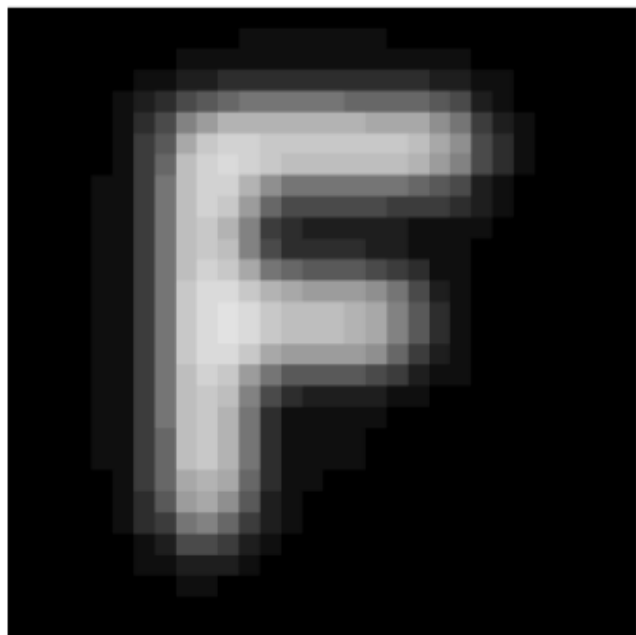
$Q = 2 \rightarrow 2$ Pixel pro Airy Radius $\rightarrow$ reicht meist

**$Q = 1 \rightarrow 1$ Pixel pro Airy Radius $\rightarrow$ Optische Auflösung sehr gut
 $\rightarrow$ hohe Schärfe
 $\rightarrow$ Gefahr Aliasing / Moires**

$Q = 4 \rightarrow 4$ Pixel pro Airy Radius $\rightarrow$ sehr feine Pixel

Gleiche Fläche $\rightarrow$ großes Q bedeutet viele Pixel

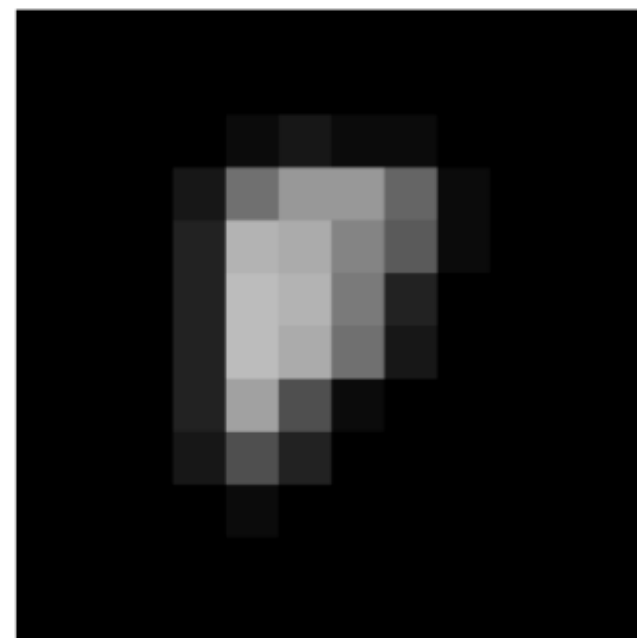
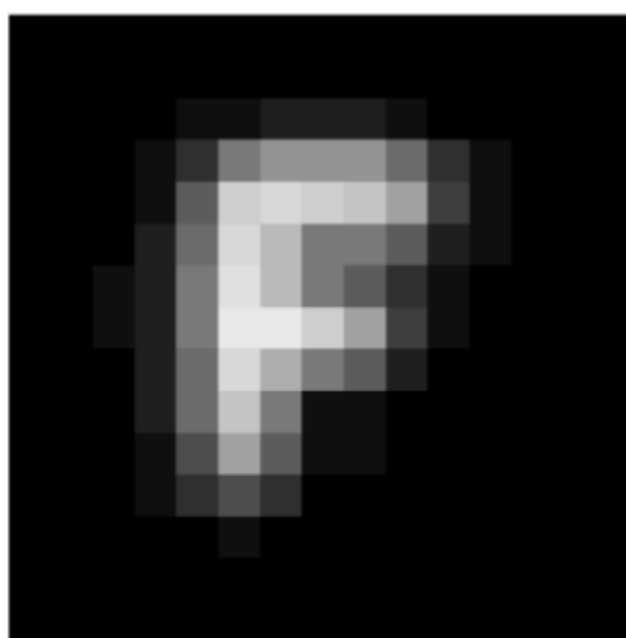
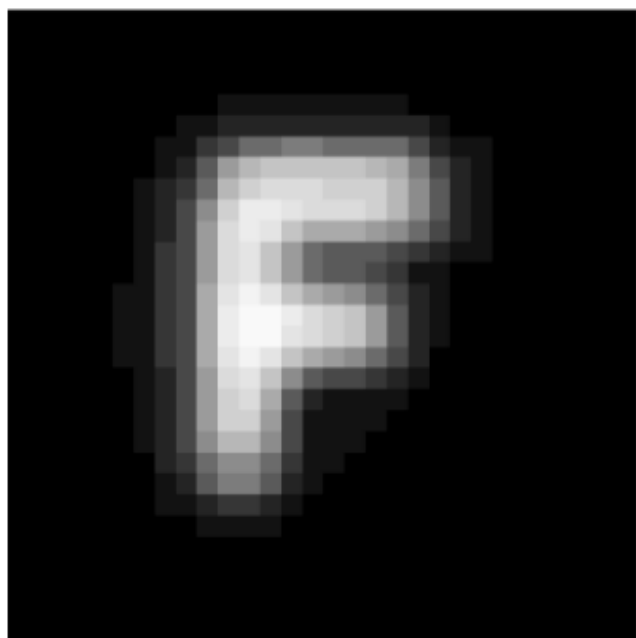
**Gleiche Anzahl Pixel $\rightarrow$ großes Q bedeutet kleiner Sensor
 $\rightarrow$ preiswert
 $\rightarrow$ geringe Baugröße
 $\rightarrow$ hohe Schärfentiefe
 $\rightarrow$ viel Rauschen**



(a) $CD=2.7\ \mu m$, $Pixelsize=0.5\ \mu m$
 $\rightarrow Q=5.4, 5.4\text{ pixels per }CD)$

(b) $CD=2.7\ \mu m$, $Pixelsize=1\ \mu m$
 $\rightarrow Q=2.7, 2.7\text{ pixels per }CD)$

(c) $CD=2.7\ \mu m$, $Pixelsize=1.5\ \mu m$
 $\rightarrow Q=1.8, 1.8\text{ pixels per }CD)$



(d) $CD=2\ \mu m$, $Pixelsize=0.5\ \mu m$
 $\rightarrow Q=5.4, 4\text{ pixels per }CD)$

(e) $CD=2\ \mu m$, $Pixelsize=1\ \mu m$
 $\rightarrow Q=2.7, 2\text{ pixels per }CD)$

(f) $CD=2\ \mu m$, $Pixelsize=1.5\ \mu m$
 $\rightarrow Q=1.8, 1.3\text{ pixels per }CD)$

	Optische Auflösung			Pixelgröße
	Airy bzw. Blendenzahl $r_A = 1.22 \lambda K$	r_{RMS}	MTF	
Isolierte Einzelpunkte & Einzellinien  hoher Objektkontrast geringer Objektkontrast	$r_A = 1 \dots 2 \text{ CD}$	$r_{RMS} = 1 \dots 2 \text{ CD}$	$1/GF_{10} = 2 \text{ CD}$	3 P = CD $Q = 1.5 \dots 3$ Oder mehr Pixel bei exakter Positionsbestimmung. stark Rauschabhängig !
	$r_A = \text{CD}$	$r_{RMS} = \text{CD}$	$1/GF_{30} = 2 \text{ CD}$	
Benachbarte Einzelpunkte & Einzellinien  hoher Objektkontrast geringer Objektkontrast	$r_A = \text{CD}$	$r_{RMS} = \text{CD} / 1.5$	$1/GF_{10} = \text{CD}$	3..4 P = CD $Q = 3 \dots 4$
	$r_A = \text{CD} / 1.5$	$r_{RMS} = \text{CD} / 2.5$	$1/GF_{30} = \text{CD}$	
(Quasi-)periodische Strukturen  hoher Objektkontrast geringer Objektkontrast	$r_A = \text{CD}$	$r_{RMS} = \text{CD} / 1.5$	$1/GF_{10} = \text{CD}$	3..4 P = CD $Q = 3 \dots 4$
	$r_A = \text{CD} / 1.5$	$r_{RMS} = \text{CD} / 2.5$	$1/GF_{30} = \text{CD}$	
Kanten 	$r_A \text{ oder } r_{RMS} = \text{ca. } 1 \dots 10 \text{ Pixel}$ $Q = 1 \dots 10$			

Vorgehen

1. Was sind die kleinsten Strukturen (CD), die getrennt werden müssen ? → MTF oder Spotradius
2. Welchen Kontrast weisen diese Strukturen auf ?
3. Wieviele Pixel sollen zur Abbildung dieser CD verwendet werden ?
4. Ist Farbe notwendig ?
5. Ist Blendenzahl anderweitig bereits festgelegt (Schärfentiefe, Lichtstärke ?)
6. Ist Arbeitsabstand festgelegt ?
7. Gibt es andere Anforderungen (Baulänge, Gewicht,) ?

Sonderfall Kohärenz

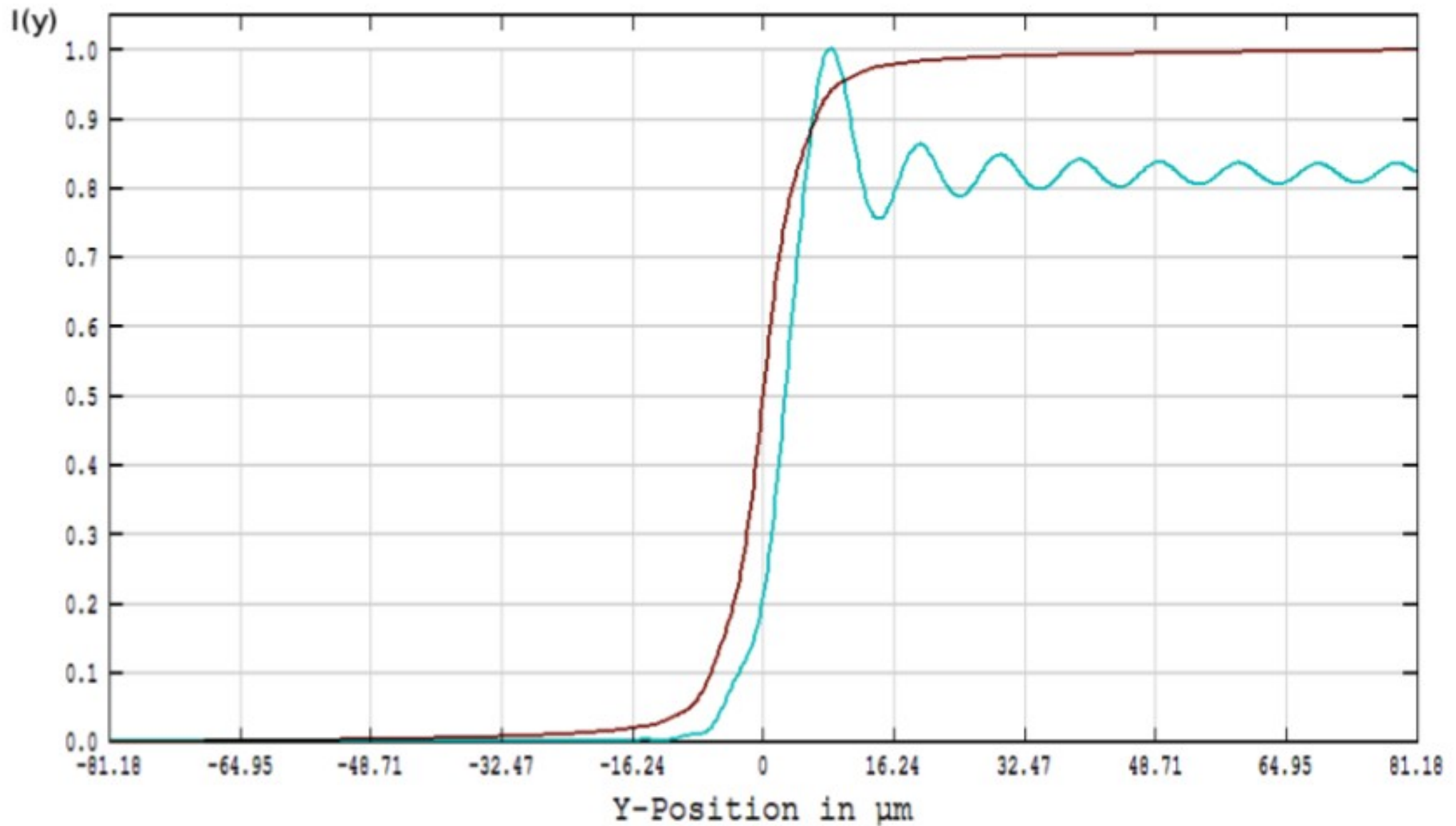


Typischer Speckledurchmesser = Airy Durchmesser !

Kohärenzlänge $L = \frac{\lambda^2}{\Delta \lambda}$

Speckles wenn Rauheit < Kohärenzlänge (aber ungleich Null)

Sonderfall Kohärenz: Abbildung von Kanten



Auflösung

„Resolution can serve so many purposes because it does not serve any of them very well.“ (G.C. Brock)



Laterale Auflösung, Detailtreue



Positionsauflösung / Längenbestimmung



Höhen/Tiefenauflösung

Positionsauflösung

Aufgabe: Die Position eines Schiffs soll per Radar detektiert werden.

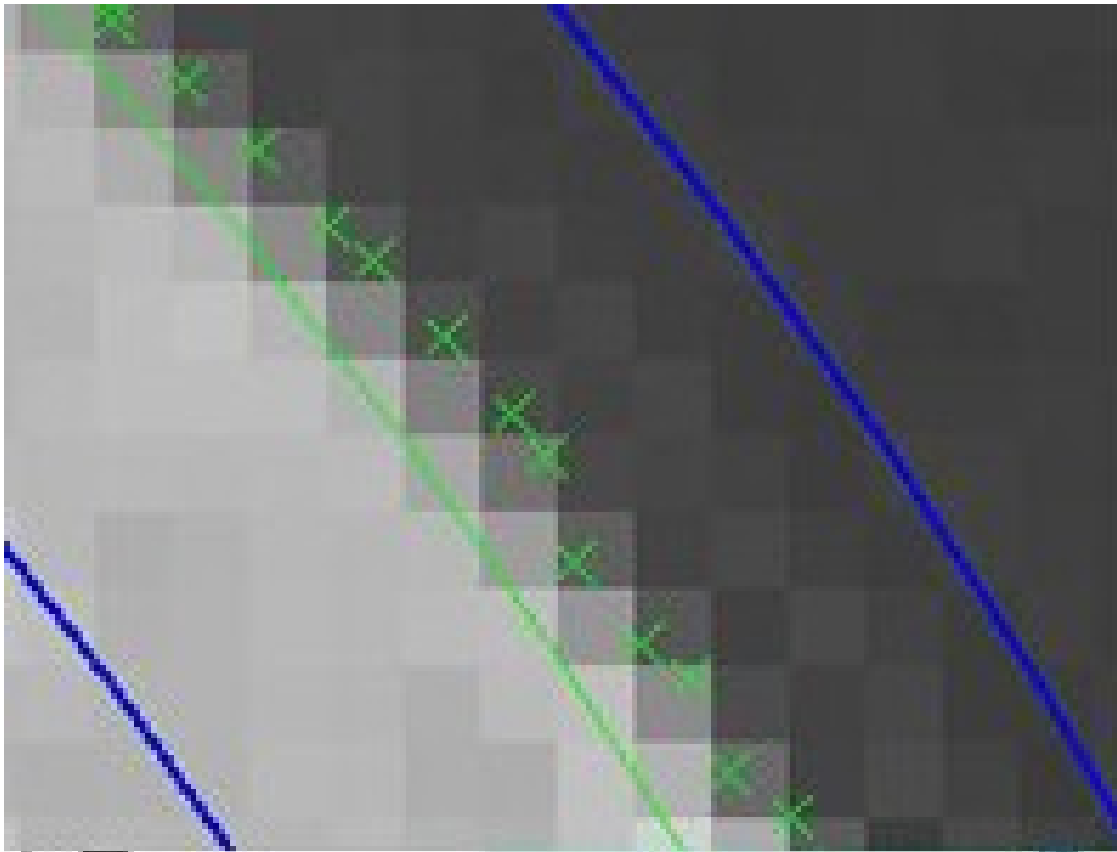
Der Durchmesser der Radarschüssel beträgt 1 m, die Wellenlänge 1 mm und die Entfernung zum Schiff ca. 1 km.

Berechnen Sie die Auflösung der Positionsmessung.

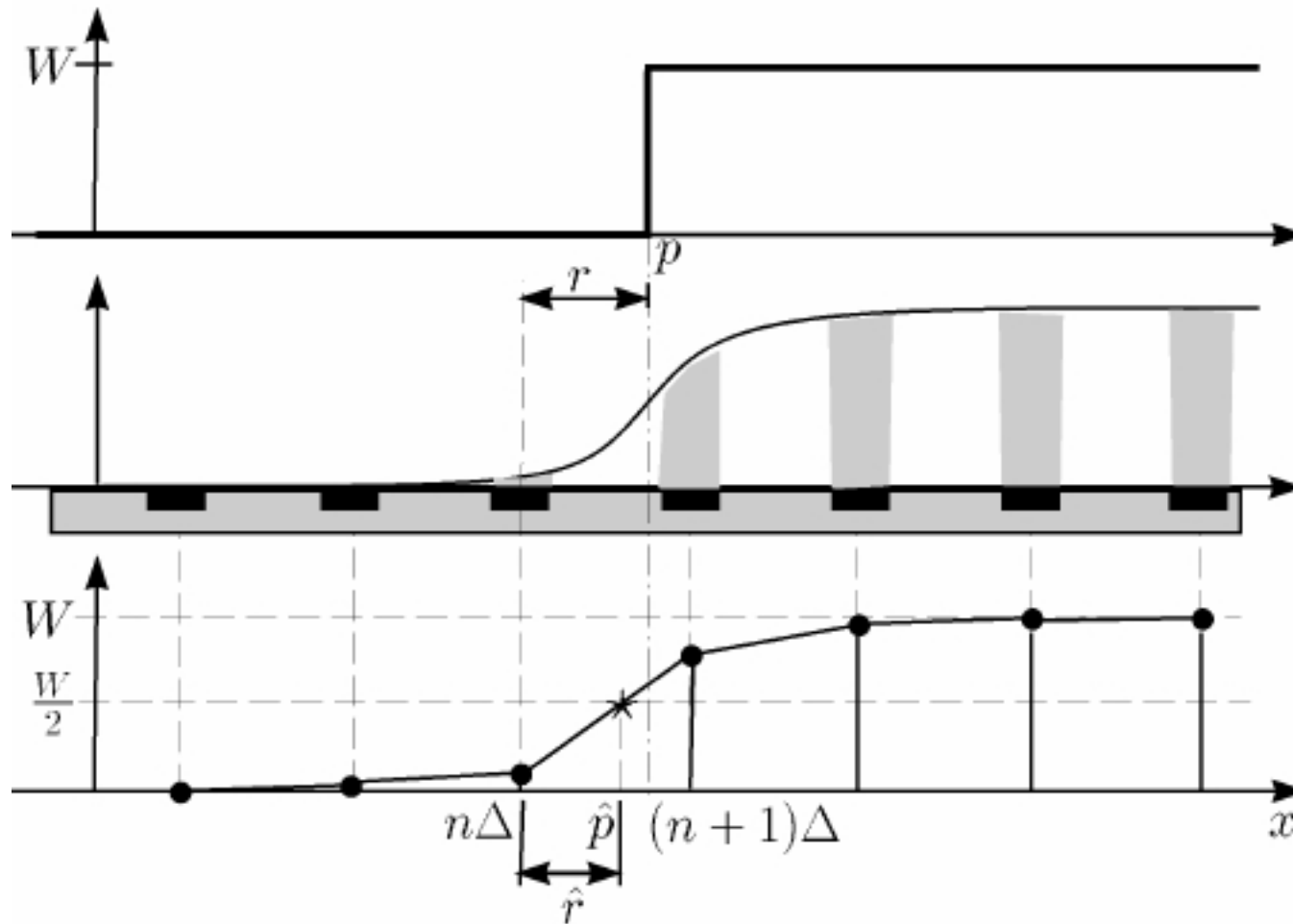


Positionsauflösung

Typische Aufgabe: Kantenantastung, Finden der Position einer Kante

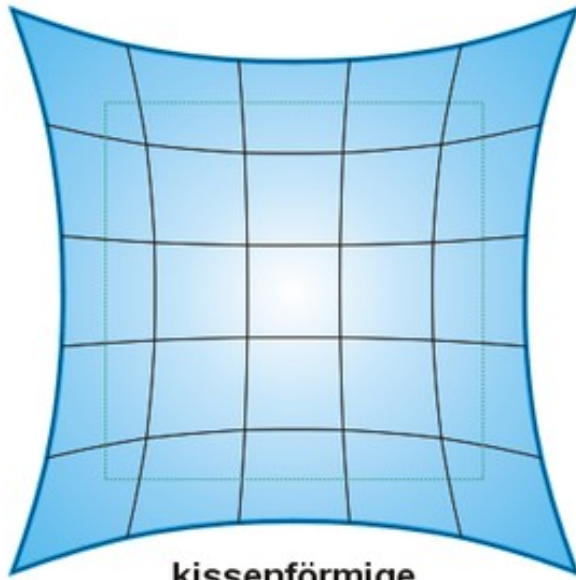


Positionsauflösung

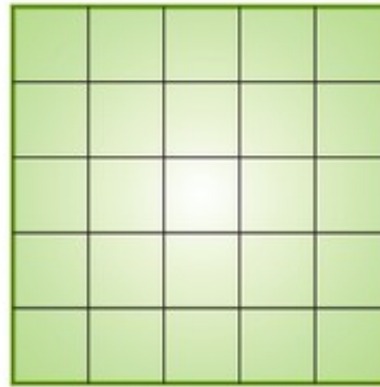


Aufgabe: Auf einem 100 mm großen Objekt sollen Kantenpositionen mit einer Messunsicherheit von 100 μm gefunden werden. Der CCD Chip habe eine Breite von 10 mm. Wieviele Pixel und welche Optik wählen Sie ? (Arbeitsabstand: 500 mm)

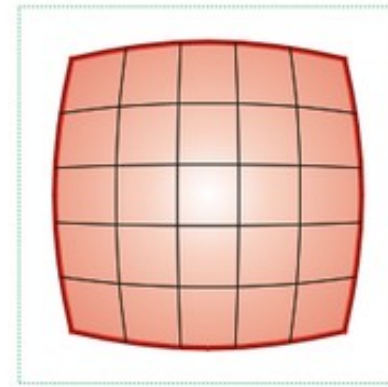
Verzeichnung



kissenförmige
Verzeichnung

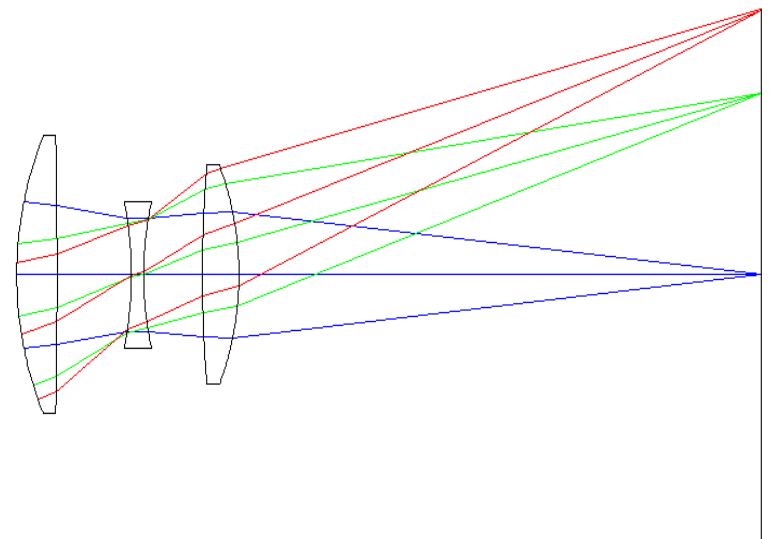
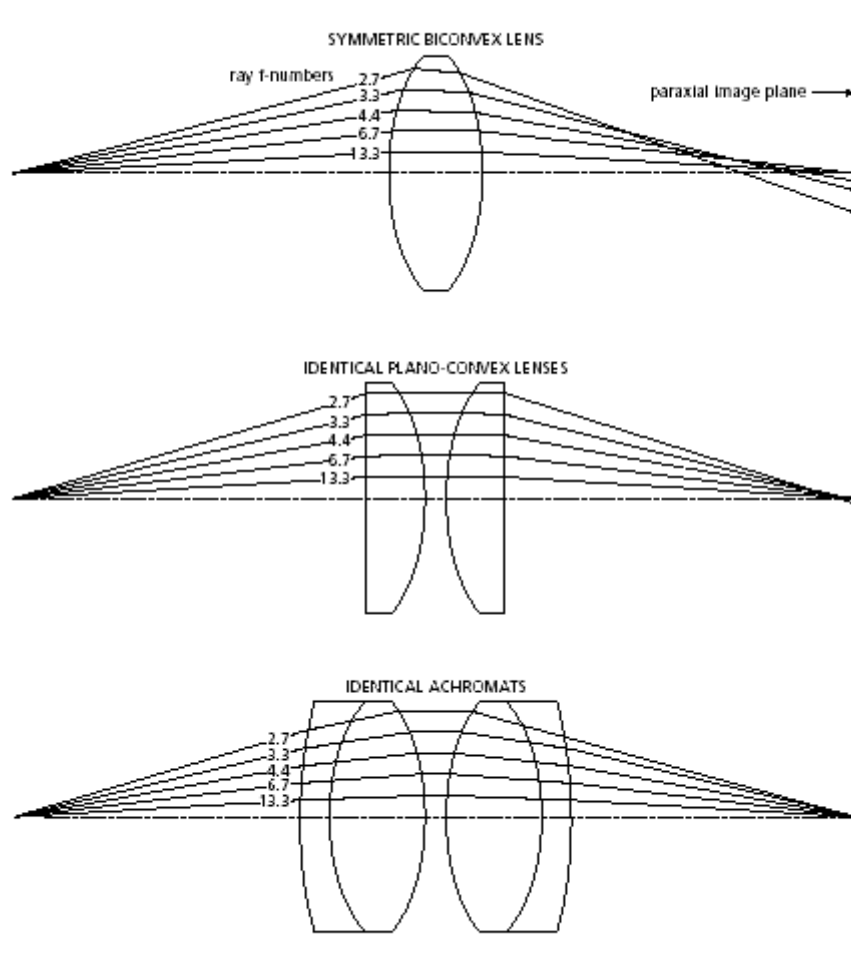


verzeichnungsfreie
Abbildung

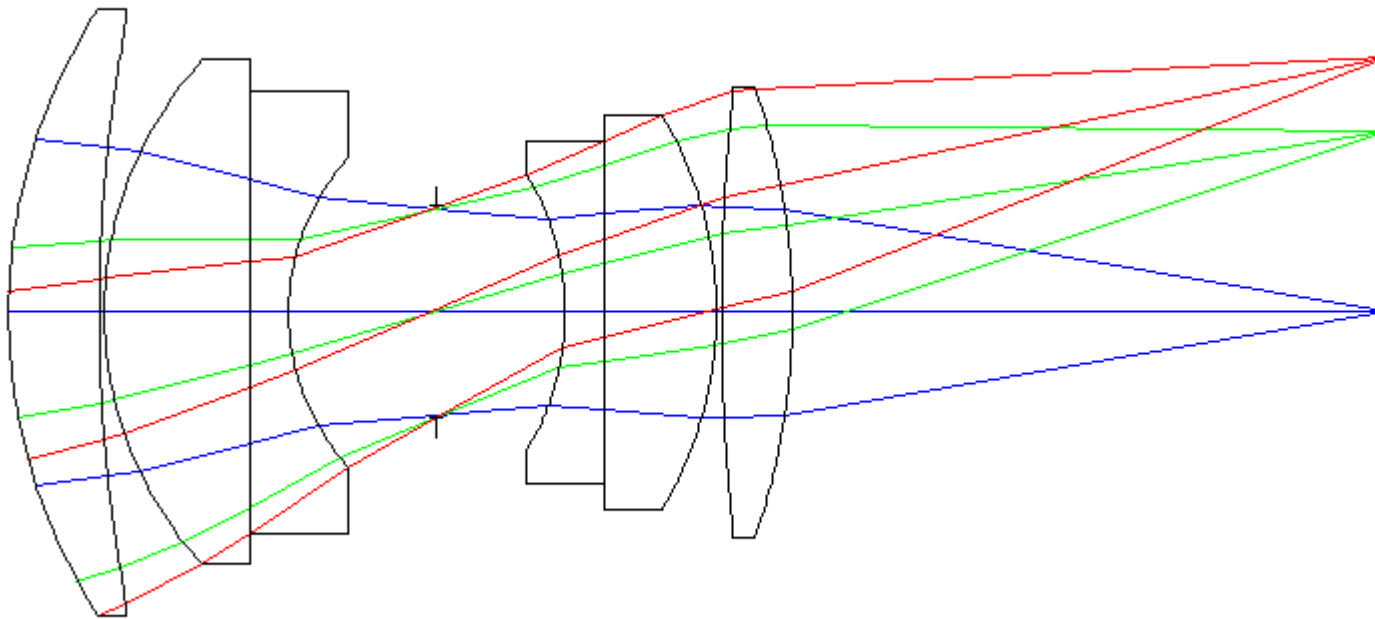


tonnenförmige
Verzeichnung

- 1** **Komplett symmetrische Systeme sind verzeichnungsfrei**
- 2** **Annähernd symmetrische Systeme haben wenig Verzeichnung**
- 3** **Telezentrische Systeme haben meist wenig Verzeichnung**



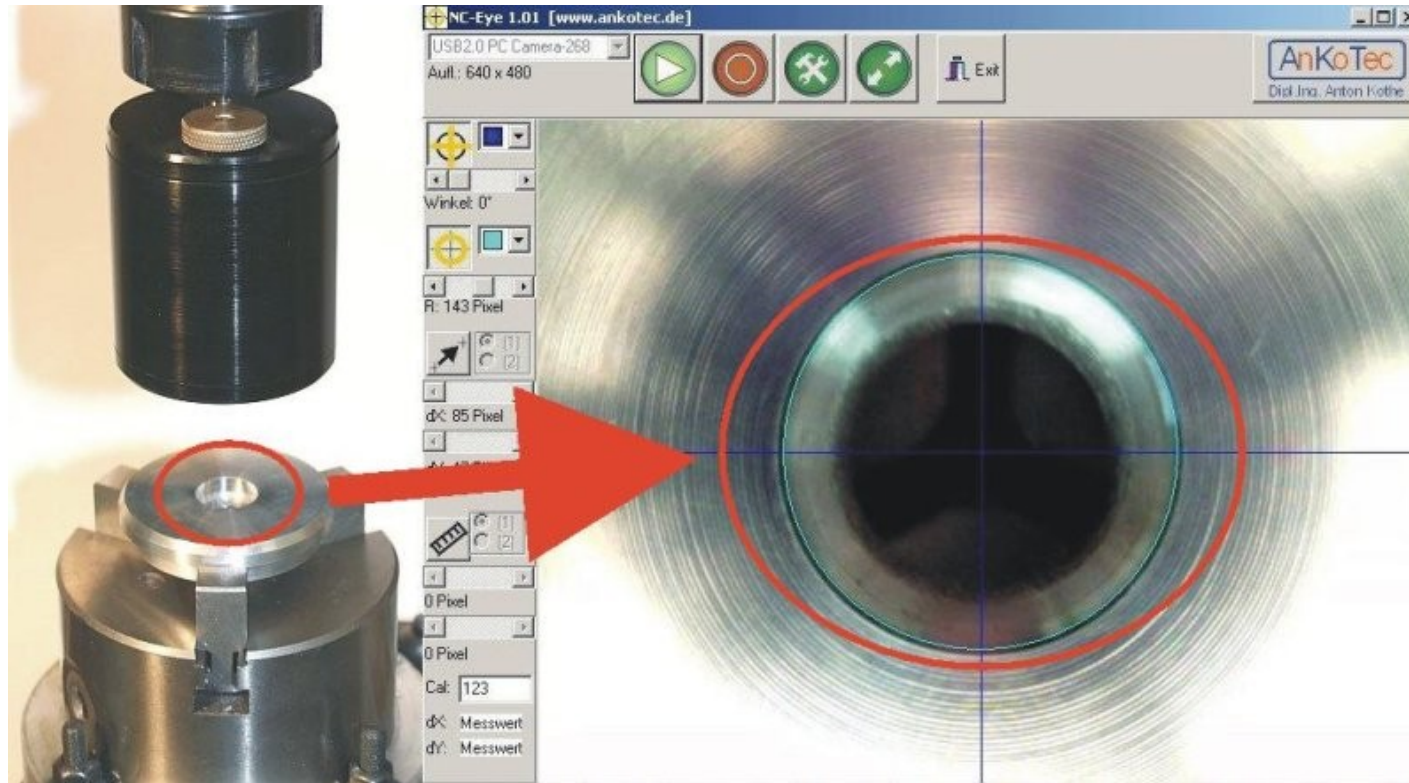
Typisches, beliebter Objektivtyp: Double-Gauss



Kalibrierung



Bestimmung geometrischer Parameter



Aufgabe: Der Durchmesser einer 100 mm Bohrung soll mit einer Messunsicherheit von $10\text{ }\mu\text{m}$ gefunden werden. Der CCD Chip habe eine Breite von 10 mm. Wieviele Pixel und welche Optik wählen Sie ? (Arbeitsabstand: 500 mm)

Auflösung

„Resolution can serve so many purposes because it does not serve any of them very well.“ (G.C. Brock)



Laterale Auflösung, Detailtreue

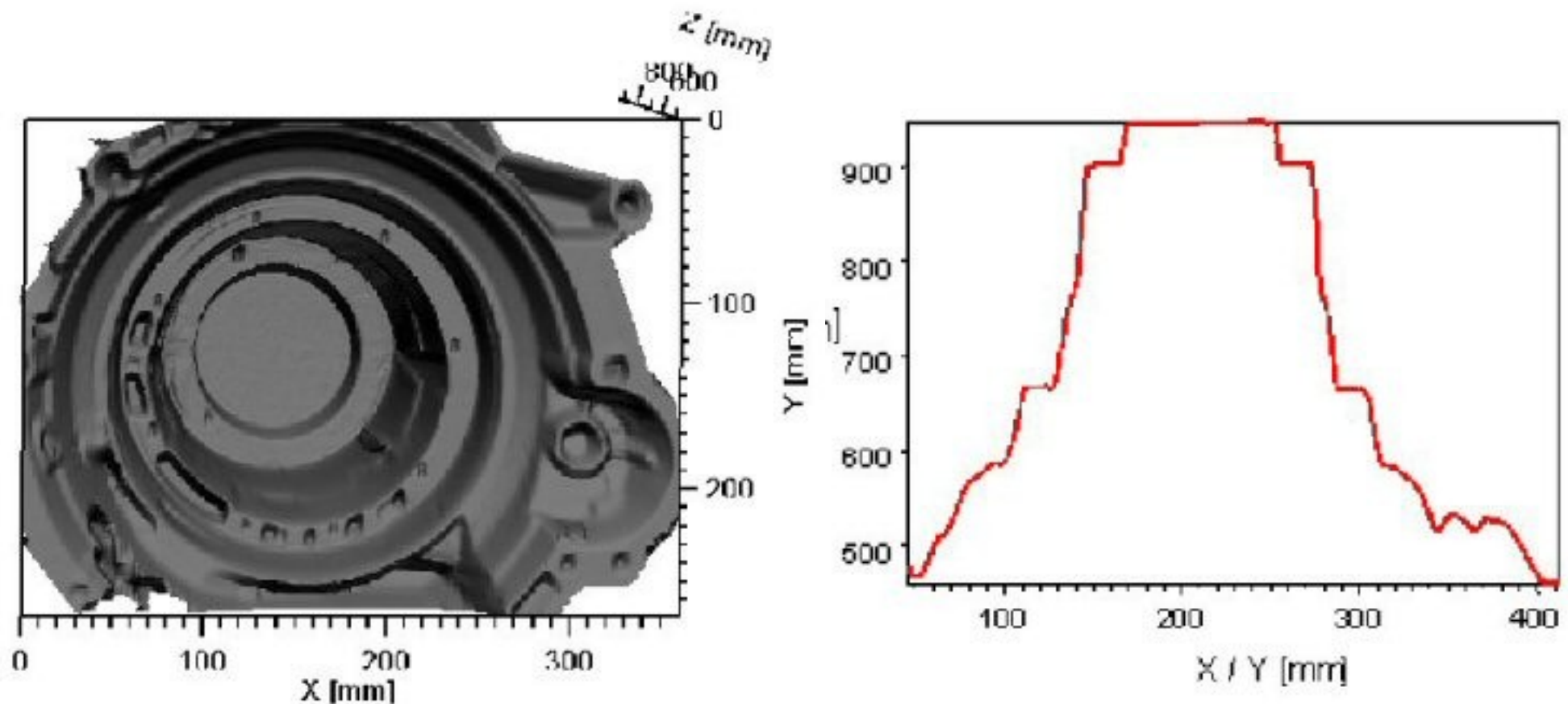


Positionsauflösung / Längenbestimmung



Höhen/Tiefenauflösung

Höhenauflösung



Beachte: Die Messunsicherheit in axialer Richtung ist zunächst unabhängig von der lateralen Auflösung und hängt vom Messprinzip ab !

Objektivwahl



Anwendung: Mikro, Makro, Projektion ?

Brennweite (oder Objektfeld oder x-fach, Zoom ?)

Blendenzahl

Perspektive: Telezentrisch, Bi-Telezentrisch, Entozentrisch, Hyperzentrisch

Bildfeld

Arbeitsabstand (evtl. M.O.D. = Minimum Object Distance)

Maximale Bildfeldgröße

„Auflösung“

Wellenlängenbereich

Transmission

Verzeichnung

Telezentrität

„Schärfentiefe“

Fokus, Zoom, Blende feststellbar

Größe, Gewicht

Spezialanwendungen: z.B. Scheimpflug

hängt massiv ab von:

- Definition
- Feldposition
- Blendeneinstellung
- Arbeitsabstand
- Wellenlänge

part number		TC UV 12 36
Range		365 / 420
Magnification		0,175 +/- 3%
Field Of View	(mm)	
with 1/4" (3,6 x 2,7) detector		20,5 x 15,4
with 1/3" (4,8 x 3,6) detector		27,4 x 20,5
with 1/2" (6,4 x 4,8) detector		36,5 x 27,4
with 1/1.8" (7,13 x 5,37) detector		40,6 x 30,6
with 2/3" (8,8 x 6,6) detector	(mm)	diam. = 37,6
Working Distance		98,7 +/- 3
Working F-number	(degree)	8
Telecentricity	(%)	< 0,1
Distortion	(mm)	< 0,08
Field Depth	(%)	21,0
CTF @70 lp/mm		> 40
Image side N.A.		0,0620
Object side N.A.		0,0110
Mount	(mm)	C
Length	(mm)	142,3
External diameter	(g)	61,0
Weight		570

Possible vignetting at the image corners with 1/1.8" detectors

Zusammenfassung zur Objektivwahl für Standard

0. Definiere EXAKT die Aufgabe

1. Vorüberlegung **Sensorgroße** (Empfindlichkeit, Preis, ...)
2. Berechne **Brennweite** aus Abbildungsgeometrie
3. Berechne **Blendenzahl** aus Auflösung
4. Berechne **Blendenzahl** aus Photometrie
5. Berechne **Blendenzahl** aus Schärfentiefe
6. Festlegen **Blendenzahl**
7. Festlegen **Perspektive**
8. Festlegung **Wellenlängen**
10. Festlegung „**Auflösung**“
11. Festlegung Verzeichnung und **Telezentrie**
12. **Preis, Gewicht, Baulänge, Arbeitsabstand** ...

Lastenheft 1: Aufgabenstellung

Art:

- Identifikation
- Prüfung auf Defekte
- Vermessung / Prüfung Geometrie
- Codelesen
- Sortieren
- Vollständigkeitsprüfung
- Lageerkennung

Ziel der Prüfung (Nutzen)

Objekte / Typenspektrum
Szene

Detaillierte Beschreibung inklusive **numerischer Angaben**

Nebenbedingungen (z.B. **Geometrie**, Umgebungsbedingungen, Durchsatz usw.)