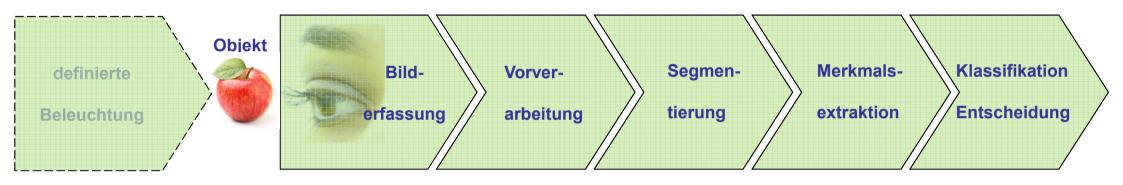




Kette der digitalen Bildverarbeitung



Das Objektiv



- -Optische Abbildung auf Empfänger-Digitalisierung
- -Korrektion -Rekonstruktion
- -Suche nach Region of Interest (ROI)
- -Geometrien, -Farbe/Helligkeit,
- -Bewegung,
- -Struktur

- -Aussortieren
- -Zuordnen
- -Bewerten

Das Objektiv bzw. das optische System ist quasi ein Teil des "Auges" in der Bildverarbeitungskette und somit die erste Schnittstelle zur zu beobachtenden Umwelt.

Nur die Informationen, die das Objektiv übertragen hat, können weiterverarbeitet und ausgewertet werden.

Es können keine Informationen später hinzugefügt werden.

Das Objektiv



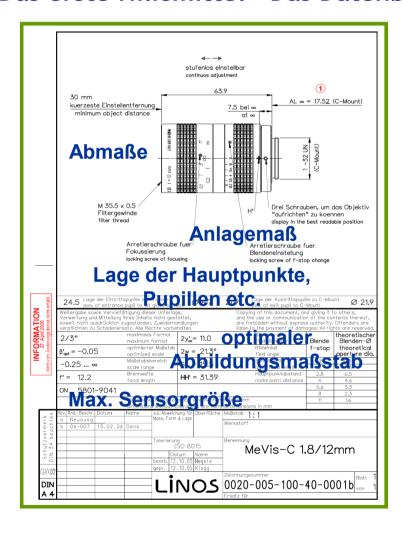


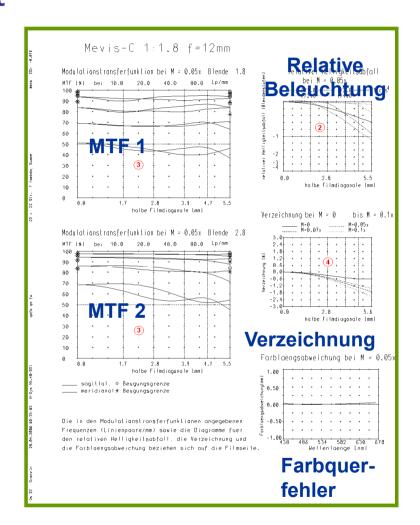
Unzahl von angebotenen Objektiven unterschiedlichster Hersteller. Die Auswahl fällt schwer und verlangt nach gut aufbereiteten Informationen des Herstellers und Detailwissen des Anwenders

Die Objektivauswahl



Das erste Hilfsmittel - Das Datenblatt





Mechanisch / optische Grunddaten

Optische Leistungsdaten

Das Datenblatt zu Objektiven



Problemstellung

- Angaben zum Teil nur schwer verständlich
- bekannte Größen, Angaben und Erfahrungen aus der klassischen Kleinbildfotografie sind nur bedingt auf die digitale Bildverarbeitung übertragbar
- oftmals für Anwendung ungeeignete Angaben
- notwendiges Hinterfragen der Angaben erfordert zum Teil spezifische optische Grundkenntnisse

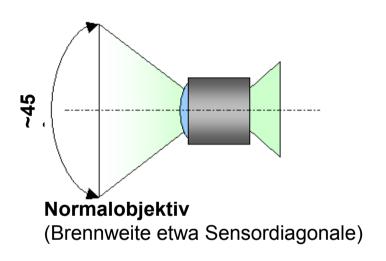
ZIEL:

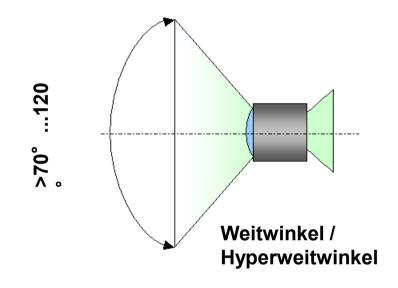
Vermittlung einiger wichtiger Grundkenntnisse zu Objektiven und Erläuterung von Begriffen und Darstellungen

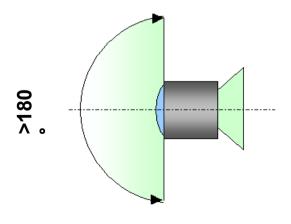
Einteilung von Objektivtypen



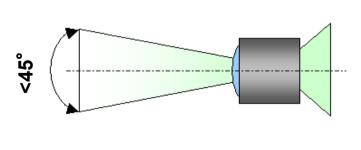
Einteilung nach Blickwinkel







Fish Eye Objektiv



Fernobjektiv (nicht Teleobjektiv)

Einteilung von Objektivtypen



Einteilung nach Blickwinkel



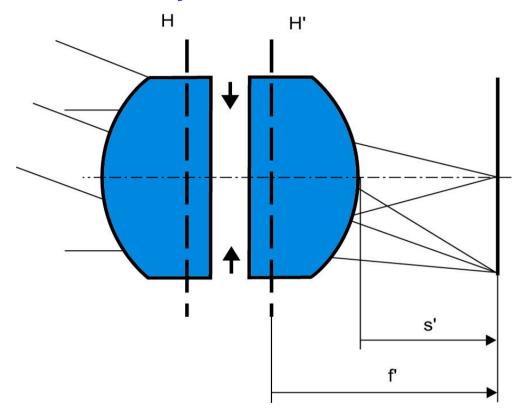








Das Standardobjektiv



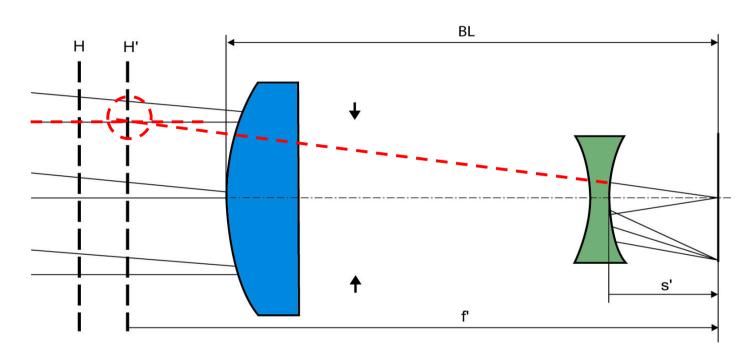


Leica Summicron 2.0/50mm

- I.d.R. quasi Blendensymmetrie (Triplet, Tessar, Doppel-Gauss)
- Günstig bei Korrektion lateraler Bildfehler
- Hauptebenen in Blendennähe
- Schnittweite kürzer als Brennweite



Das Teleobjektiv



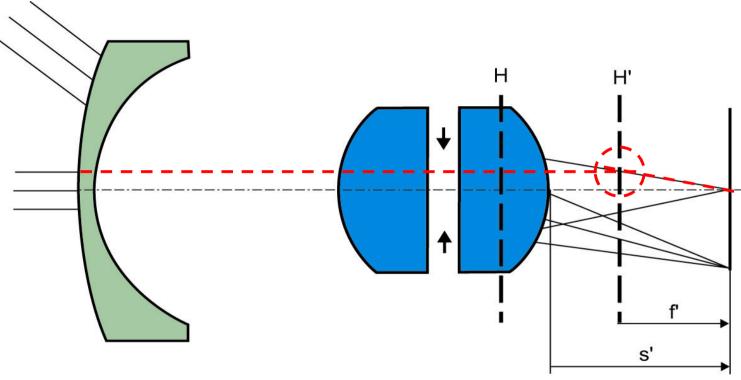


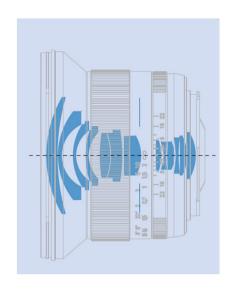
Nikon Nikkor 2.8/180mm

- Kombination aus positiv und negativ wirkender Linsengruppen
- Verschiebung der Hauptebenen in Richtung Objekt
- Verkürzung der Baulänge gegenüber der Brennweite
- Einsatz bei Objektiven mit gegenüber der Detektorgröße deutlich größeren Brennweite
- Verhältnis zwischen Brennweite und Baulänge ergibt Tele-Faktor



Das Retrofokusobjektiv



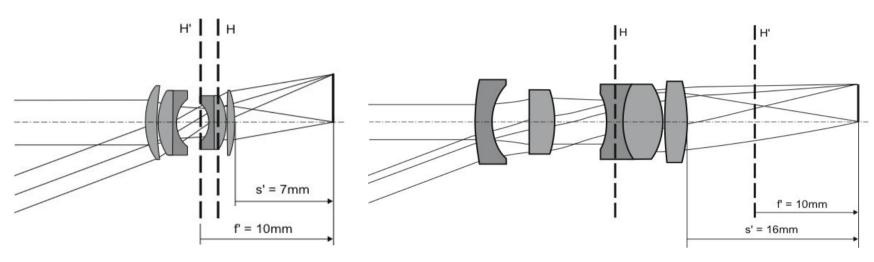


Zeiss Distagon 3.5/18mm

- Umgekehrtes Teleprinzip
- Kombination aus negativ und positiv wirkender Linsengruppen
- Verschiebung der Hauptebenen in Richtung Bildebene
- Bildschnittweite gegenüber Brennweite deutlich verlängert
- Bei kleinen Detektoren schon bei Normalobjektiven notwendig
- Schafft Platz für Farbteilerprismen, Schutzfenster, Anlagemaße usw.



Vergleich Standard- / Retrofokusobjektiv



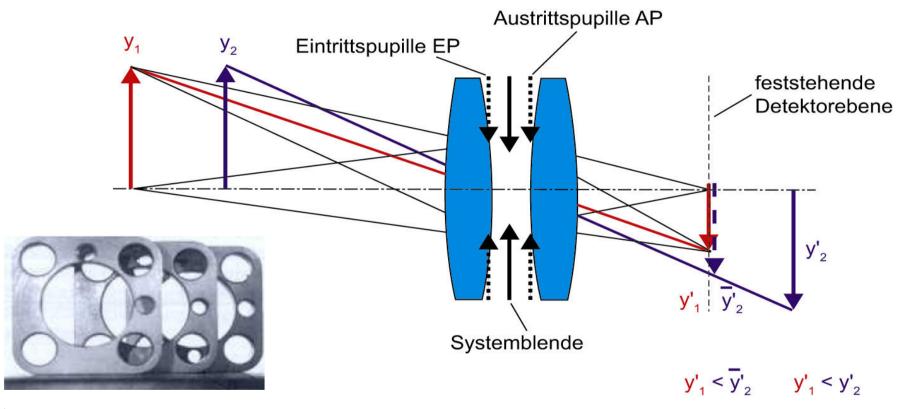
1.8 / 10mm Normalobjektiv mit Standard-Konfiguration (skaliertes 1.8 / 50mm Objektiv)

2.8 / 10mm Normalobjektiv mit Retrofokus-Konfiguration

- Retrofokusaufbau schafft schon bei Normalobjektiven für kleine Detektoren platz für z.B. C-Mount Auflage
- Lässt handhabbare Dimensionen der optischen Elemente zu



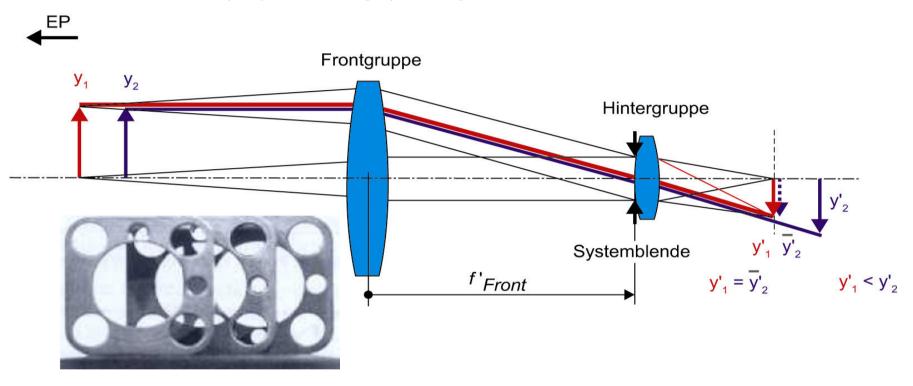
Entozentrische (natürliche) Perspektive



- Entscheidend für Perspektive ist die Lage der Eintrittspupille (objektseitiges Bild der Systemblende)
- Bei entozentrischen Objektiven liegt EP in N\u00e4he der Systemblende
- Objekte in größeren Entfernungen erscheinen kleiner als gleich große Objekte in kürzerer Distanz



Telezentrische (objektseitige) Perspektive



- Eintrittspupille liegt im Unendlichen
- Objektseitige Hauptstrahlen verlaufen achsparallel
- Invarianz der Bildgröße bei Veränderung der Objektentfernung (bei feststehendem Detektor)
- Telezentriebereich: axialer Verschiebebereich in dem die wahrnehmbare Bildgrößenänderung kleiner als z.B. ein Pixel ist
- Telezentrie bedeutet nicht hohe Schärfentiefe!



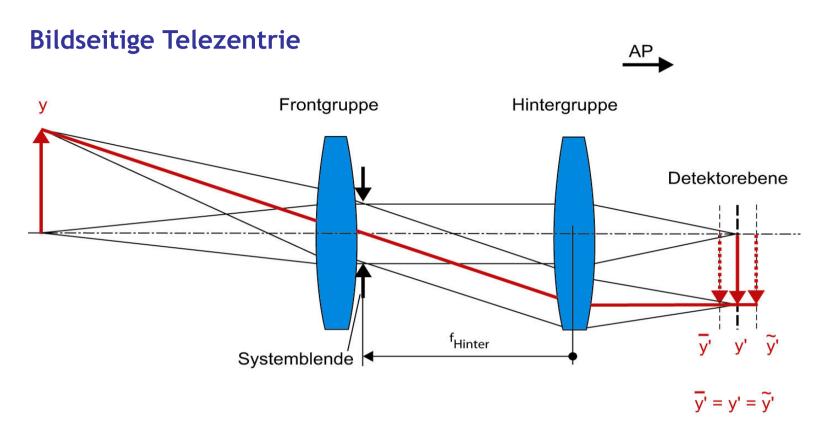
Telezentrische (objektseitige) Perspektive





- Typisch für telez. Objektive in der Bildverarbeitung sind die i.d.R. deutlich längeren Bauformen im Vergleich zu entoz. Objektiven
- Mit zunehmender nomineller Objektentfernung nimmt auch die Baulänge zu
- Durchmesser der Eintrittsoptik ist mindestens so groß wie Objektdurchmesser

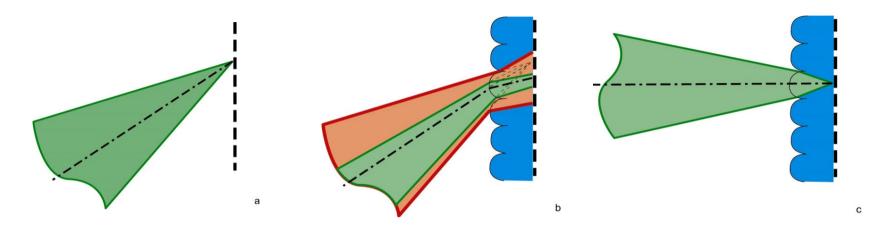




- Austrittspupille (bildseitiges Bild der Blende) liegt im Unendlichen
- Bildseitige Hauptstrahlen verlaufen achsparallel
- Invarianz der Bildgröße bei Veränderung der axialen Detektorlage ("verzeiht" Lageunsicherheiten des Detektors)
- Perspektive erscheint aber natürlich!



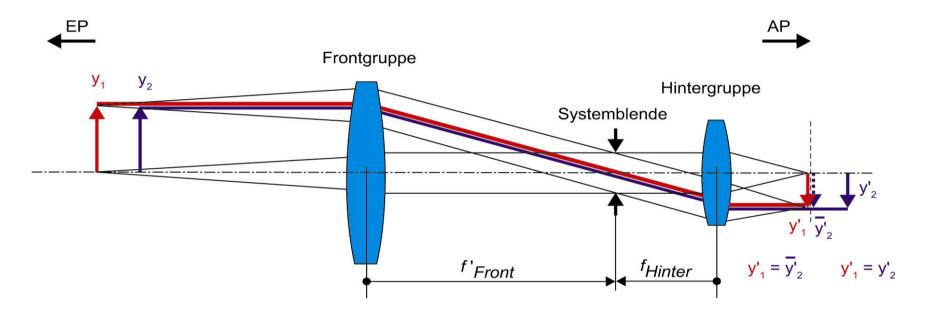
Notwendigkeit der bildseitigen Telezentrie



- Annäherung an bildseitige Telezentrie ist bei modernen Detektoren mit Linsenarrays (Lenslets) erforderlich
- Linsenarrays erhöhen Pixeleffizienz
- Akzeptanzbereich nur ca. +/- 10 Grad
- Telezentrie vermeidet Übersprechen bzw. Vignettierung am Bildrand
- ▶ Klassische SLR-Objektive sind u.U. für derartige Detektoren nicht geeignet



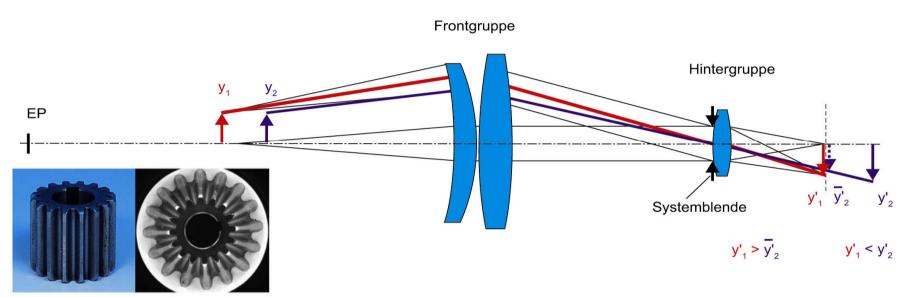
Beidseitige Telezentrie



- ▶ Eintrittspupille und Austrittspupille liegen im Unendlichen
- Besondere Klasse von Messobjektiven
- Invarianz der Bildgröße trotz axialer Schwankungen der Objekt- bzw. der Detektorlage



Hyperzentrische Perspektive

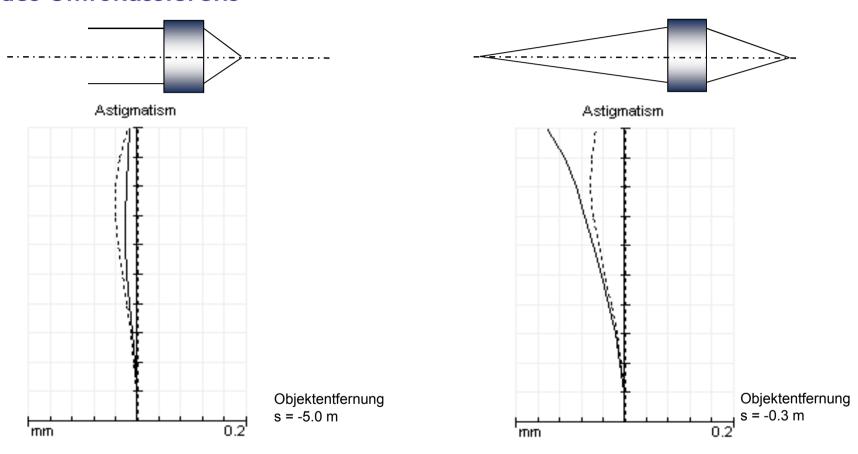


Quelle: MaxxVision

- Eintrittspupille liegt hinter dem Objekt in endlicher Entfernung
- Aufwendige Spezialobjektive
- Durchmesser der Eintrittsoptik ist größer als Objektdurchmesser
- Detektor größer als gleichgroße Objekte in geringerer Entfernung
- Um Objekt kann "herum"-geschaut werden



Einfluß des Umfokussierens



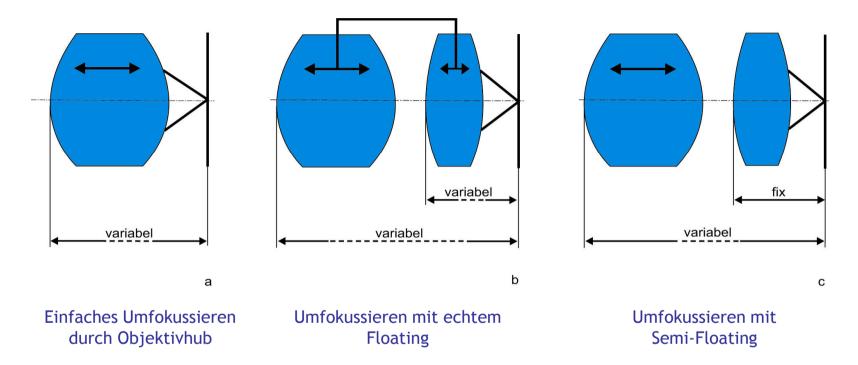
Umfokussieren (Verlassen des optimalen Arbeitsabstandes) führt in der Regel zum Anwachsen von Astigmatismus / Feldwölbung, Koma und anderen Bildfehlern vor allem in Makro-Stellung



Wirksames Mittel: Floating Elements



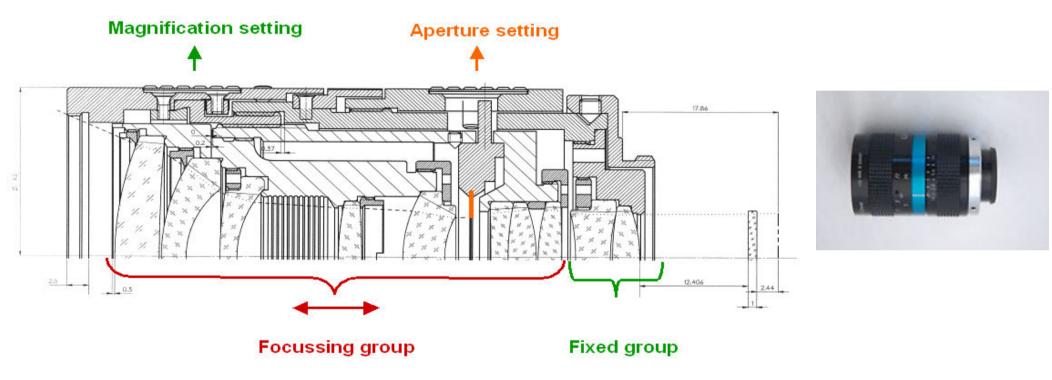
Floating



- Durch die Relativbewegung beim Fokussieren der Linsengruppen untereinander können Abbildungsfehler über einen großen Maßstabsbereich kompensiert werden
- Die Konstruktion echter Floatingsysteme ist relativ aufwendig und kostspielig
- Eine Alternative ist das Semi-Floating



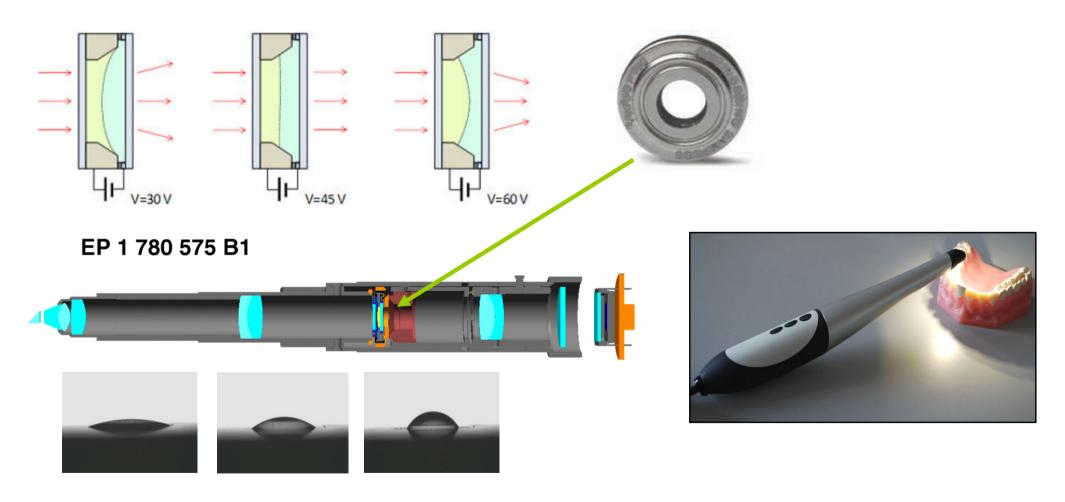
Semi-Floating (Beispiel LINOS MeVis -Reihe)



- Trotz Vereinfachung gegenüber dem echtem Floating ist auch das Semi-Floating aufwendig
- Es werden i.d.R. 2 bis 3 Linsen mehr und eine hochpräzise Mechanik benötigt Kompensation von Abbildungsfehlern und somit Konstanz der
- Performance des Objektivs sehr wirkungsvoll!



Neue Möglichkeiten: z.B. Fokussierung durch variable Flüssigkeitslinsen



- Anwendung z.B. in Smartphones, medizinischen oder industriellen Endoskopen
- Nutzung des Prinzips der elektr. veränderbaren Benetzung (electro-wetting)



Neue Möglichkeiten: z.B. Fokussierung durch variable Flüssigkeitslinsen



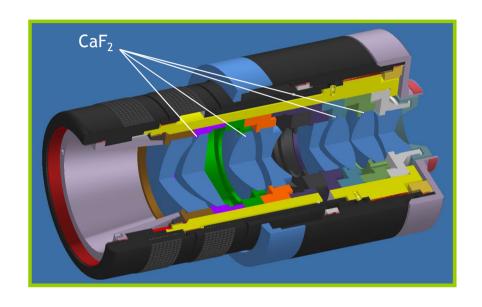
Beispiel Roboter für Kanalinspektion

- Anwendung z.B. in Smart Phones, Endoskopie und industrieller Inspektion
- Nutzung des Prinzips der elektrisch veränderbaren Benetzung von Oberflächen (electro wetting)

Einteilung von Objektiven



Spezialobjektive



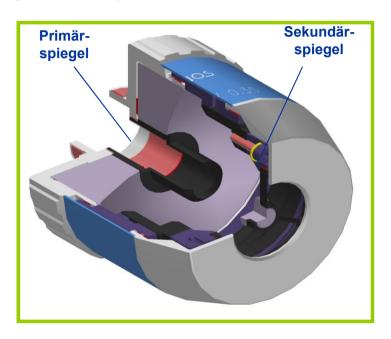


- Breitband UV-VIS Objektive (240 700nm) für z.B. forensische Anwendungen
- Nur noch optische Spezialmaterialien, wie z.B. CaF2 und Quarz kommen auf Grund ihrer Transmission zum Einsatz
- optische Gläser sind unterhalb von 350nm nicht mehr Transparent

Einteilung von Objektiven



Spezialobjektive

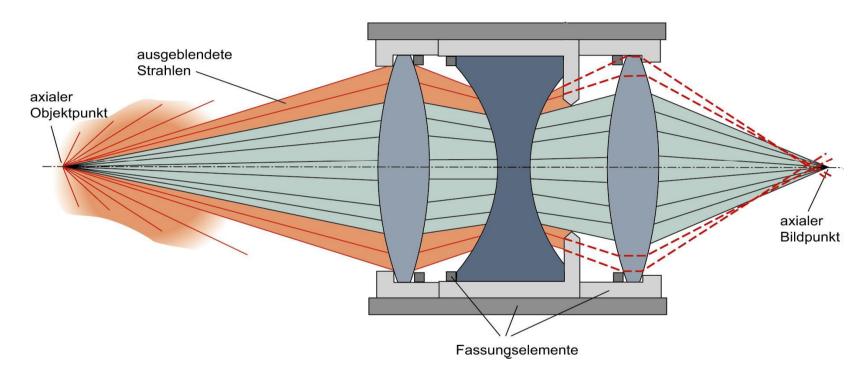




- UV-VIS Spiegelobjektiv für den Einsatz von 193 900nm
- ▶ Einsatzbereich wird im wesentlichen durch Spiegelschicht festgelegt
- Derartige Systeme besitzen keine Farbfehler



Die Systemblende



- Axiales Strahlbüschel wird nur an einer Öffnung, der Systemblende, beschnitten Durchmesser entscheidend für Bildhelligkeit
- Realisierung durch Fassungsränder, Blendenringe oder Irisblenden (rastbar, stufenlos)
- Möglichst arretierbar für Industrieanwendungen



Lichtstärke bei Abbildung aus dem Unendlichen



$$k_{\infty} = \frac{f'}{Durchm . EP}$$
 $k_{eff} = \frac{1}{2sin \sigma'} = k_{\infty}$

Nominelle (aufgravierte) Blendenzahl k entspricht nur bei Abbildung aus dem Unendlichen der effektiven Blendenzahl k_{eff} !



Lichtstärke bei endlicher Abbildung

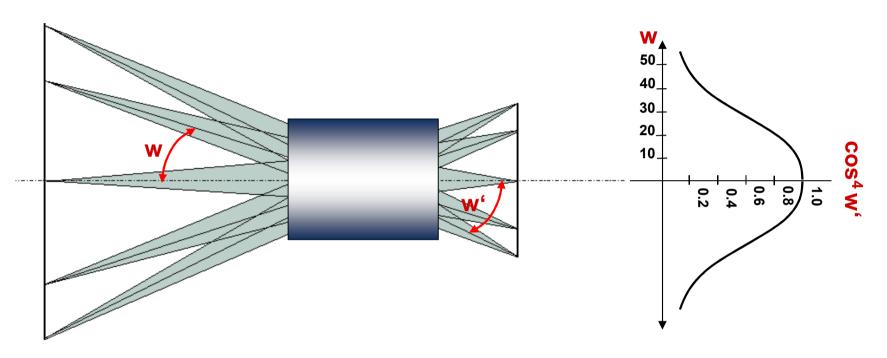


$$k_{eff} = \frac{1}{2\sin\sigma'}$$
 $k_{eff} = k_{\infty}(1+|\beta'|)$ $|\beta'| = \left|\frac{y'}{y}\right|$

- Bei endlicher Abbildung sinkt die effektive Blendenzahl, die aufgravierte Blendezahl verliert Bedeutung
- **Besonders störend bei Makro und Mikro-Aufnahmen**
- Beispiel: bei 1:1 Abbildung mit einem Objektiv mit der aufgravierten Blendenzahl $k_{unendl.}$ = 1.6 ist effektive Blendenzahl nur k_{eff} = 3.2!



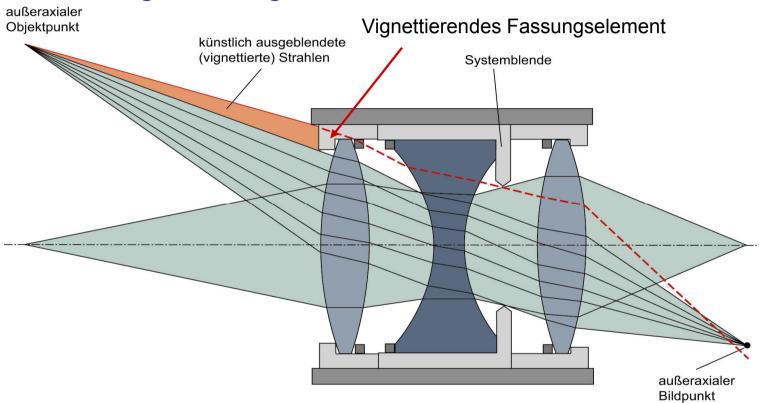
Natürliche Vignettierung



- Ohne künstlichen Eingriff Abnahme der Beleuchtungsstärke zum Bildfeldrand durch cos⁴-Gesetz (bei w ≈ w', Hauptebenen in Blendennähe)
- Störend bei Weitwinkelsystemen z.B. bei $w = 30^{\circ}$ nur noch E = 56%
- Verringerung des Abfalls z.B. durch inverse Verlauffilter bzw. Zentralfilter oder durch pupillenverzerrende Linsenanordnungen



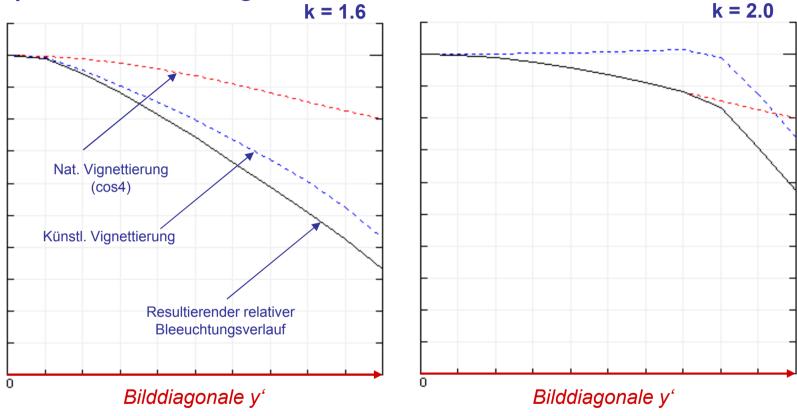
Künstliche Vignettierung



- Notwendiger künstlicher Eingriff in außeraxiale Strahlbündel
- Erforderlich zur wirtschaftlich sinnvollen Erlangung einer gleichmäßigen Bildschärfe über gesamten Bildfeld
- ▶ Bei klassischer Fotografie Helligkeitsabfall um bis zu 70% zulässig, in digitaler Bildverarbeitung können schon 10% störend sein



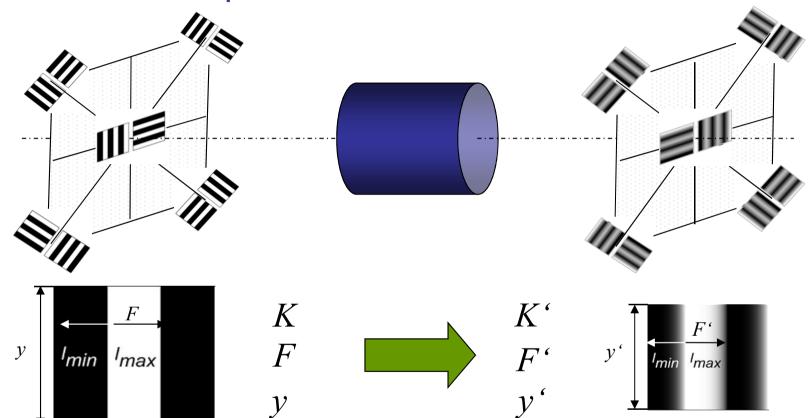
Graphische Darstellung



- Beleuchtungsstärkeverlauf ist das Resultat aus natürlicher und künstlicher Vignettierung
- natürliche Vignettierung läßt sich durch Abblenden *nicht* verringern



Kontrast K und Frequenz F



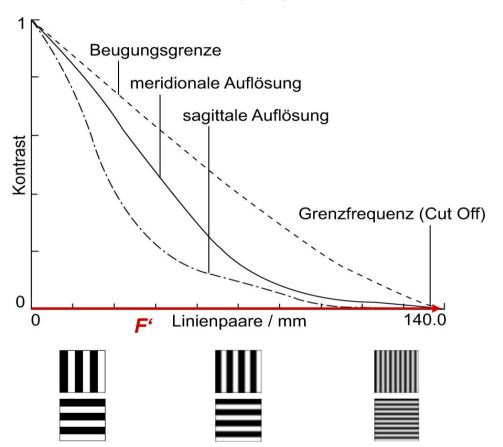
$$K = \frac{I_{\text{max}} - I_{\text{min}}}{I_{\text{max}} + I_{\text{min}}}$$

$$F' = \frac{F}{\beta'}$$
mit $F' = \frac{lp}{mm}$

$$y' = \beta' y$$



Modulationsübertragungsfunktion MTF



$$K'_{norm} = f(F')$$
mit $K'_{norm} = \frac{K}{K'}$

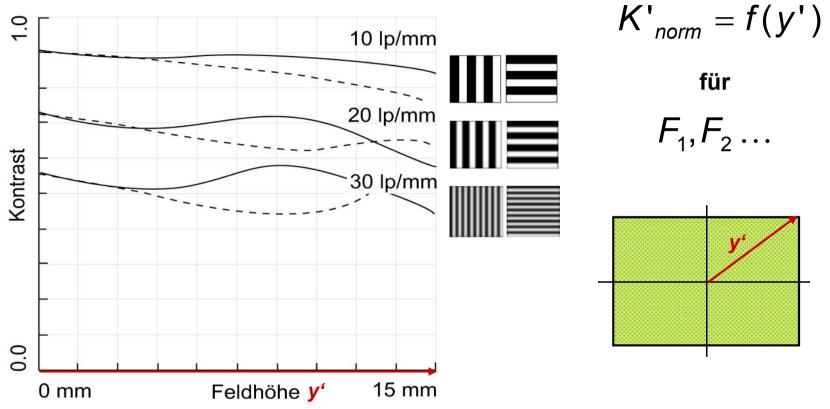
für



- MTF wichtigstes Bewertungskriterium in der Praxis
- Darstellung des normierten Kontrastes als Funktion der Feinheit meridionaler und saggitaler Bildstrukturen verschiedener Feldpunkte
- K' = f(F') Darstellung eher in der Objektiventwicklung gebräuchlich



Modulationsübertragungsfunktion MTF

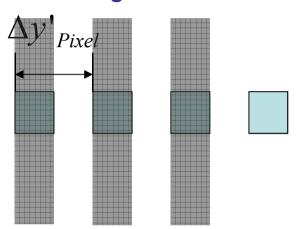


- Darstellung des normierten Kontrastes für ausgewählte Frequenzen als Funktion der Bildhöhe
- K = f(y') Darstellung eher in der Fotografie und Bildverarbeitung gebräuchlich
- In klassischer Fotografie ist ein signifikantes Absinken der MTF zum Bildrand zulässig, häufig aber nicht in Bildverarbeitung



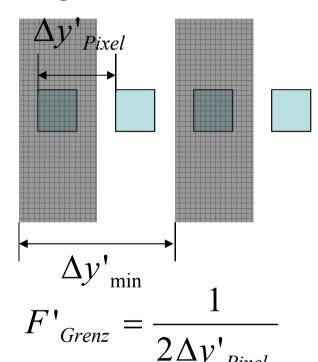
Auflösung

Nicht aufgelöst



$$\Delta y'_{\min} = 2\Delta y'_{Pixel}$$
 bzw.

Aufgelöst



bzw. Grenzfrequenz F'_{Grenz} = 50lp/mm, mehr muss die Optik nicht auflösen können!

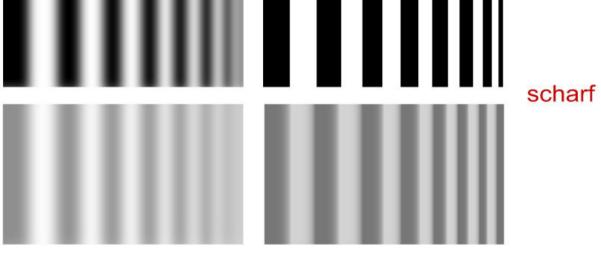


Zusammenhang Auflösung / Kontrast



unscharf

flau



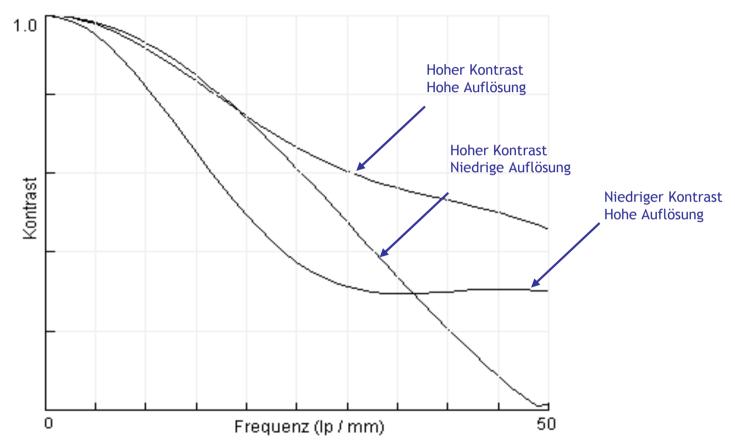
kontrastarm

Auflösung

- Eine hohe Auflösung ist kein Garant für gute auswertbare Bilder
- Ein hoher Kontrast ist nicht ausreichend für eine gute Detailwiedergabe
- Erst die Kombination aus Kontrast und Auflösung ergibt bei anspruchsvoller Bildverarbeitung gute auswertbare Bilder



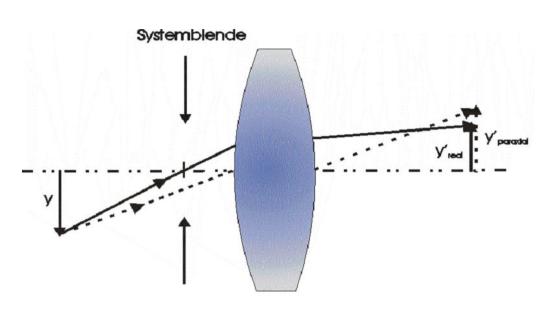
Zusammenhang Auflösung / Kontrast

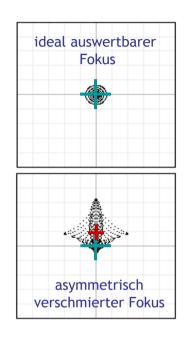


- Eine hohe Auflösung ist kein Garant für gute auswertbare Bilder
- Ein hoher Kontrast ist nicht ausreichend für eine gute Detailwiedergabe
- Erst die Kombination aus Kontrast und Auflösung ergibt bei anspruchsvoller Bildverarbeitung gute auswertbare Bilder



Verzeichnung / Ursache





"Klassische" Verzeichnung

"Indirekte" Verzeichnung

- Bei scharfer, ebener Abbildung u.U. Unähnlichkeit des Bildes zum Objekt durch Verzerrung Verzeichnung ist kein Unschärfefehler sondern Geometriefehler
- Wird als einziger Abbildungsfehler nicht in MTF berücksichtigt!
- Verzeichnung schon bei einfachen Einzellinsen mit einer Blende im
- endlichen Abstand durch falsche Durchstoßkoordinate des Hauptstrahls Weitere Ursache: stark asymmetrisch verschmierte Punktbilder durch z.B. Koma
- führen zur falschen Detektion von Schwerpunktskoordinaten



Verzeichnung / Definition

Verzeichnung allg.:

$$V = y'_{ist} - y'_{soll}$$

Prozentuale Verzeichnung:

$$V_{proz} = \frac{y'_{ist} - y'_{soll}}{y'_{soll}} 100 \%$$

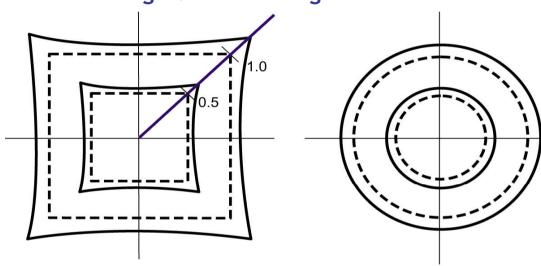
- V < 0 tonnenförmige Verz. (typisch bei Ultraweitwinkelobjektiven)
- V > 0 kissenförmige Verz.
- V < 3% bei visueller Betrachtung i.d.R. nicht störend

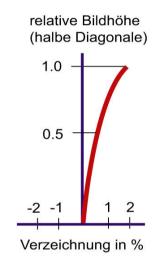
Ein lineares Ansteigen der Verzeichnung ist bei visueller Betrachtung weniger störend als eine kleine Verzeichnung mit stark wechselndem Gradienten! Bekannte Verzeichnungsverläufe können kalibriert werden!



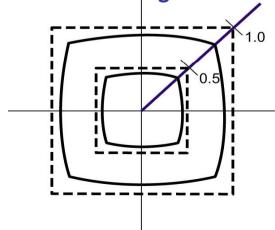
Verzeichnung: Auswirkung und Darstellung

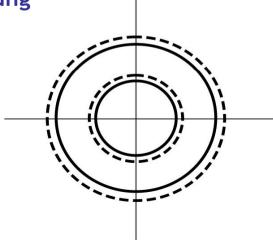
Kissenförmige Verzeichnung

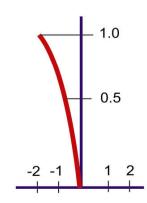




Tonnenförmige Verzeichnung







b

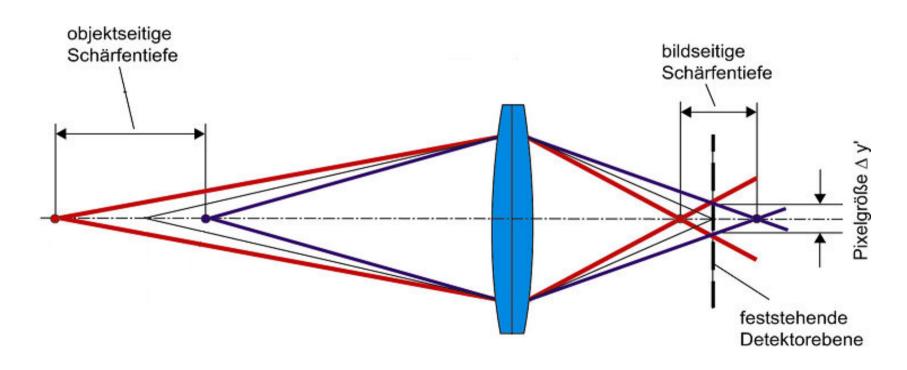
a





Objektseitige / bildseitige Schärfentiefe

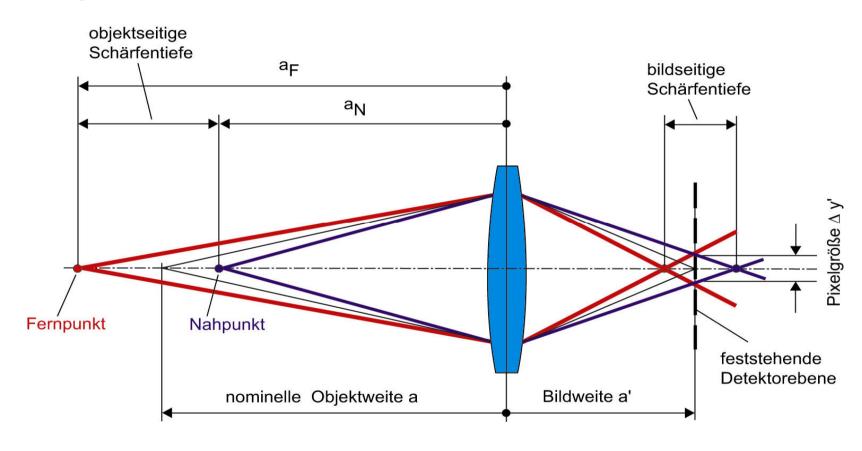
Axialer Verschiebebereich eines Objektpunktes, der zu keiner sichtbaren Unschärfe des konjugierten Bildpunktes führt.



Schärfentiefe (nicht Tiefenschärfe) ist zunächst kein Gütekriterium eines Objektivs sondern eine Grundeigenschaft, die durch Blende, Brennweite des Objektivs und zulässigem Unschärfekreis auf Detektor (z.B. Pixelgröße) vorherbestimmt ist!



Grundgrößen



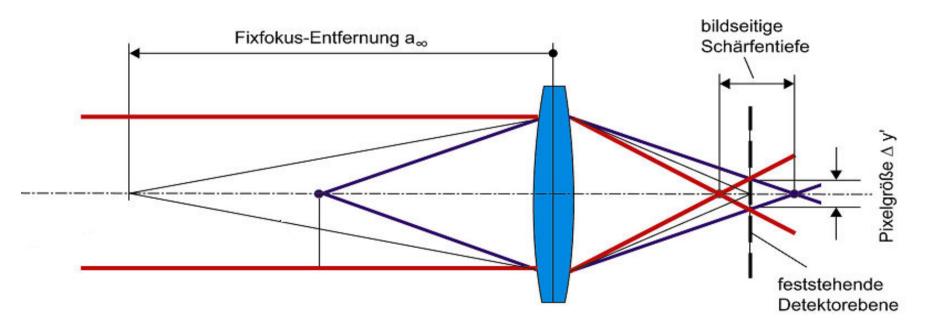
$$a_N = \frac{af'^2}{f'^2 + k\Delta y'(a - f')}$$

$$a_F = rac{af'^2}{f'^2 - k\Delta y'(a - f')}$$



Fixfokus- und Hyperfokalentfernung

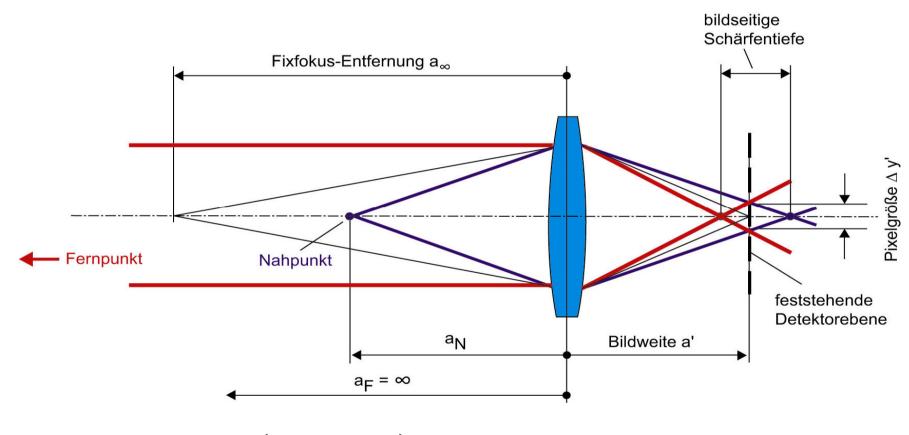
Entfernung ab der ausgehend von einem Nahpunkt bis nach Unendlich alle Objekte scharf erscheinen



Fixfokusentfernung ist interessant für fest eingebaute optische Systeme, bei denen kein Nachfokussieren möglich ist



Fixfokus- und Hyperfokalentfernung



$$a_{\infty} = f' \left(\frac{f'}{k \Delta y'} + 1 \right)$$

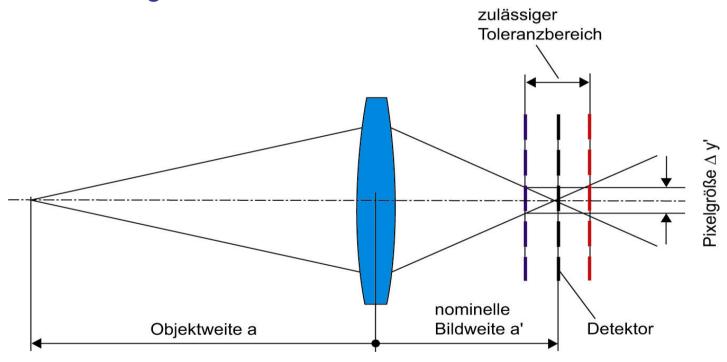
$$a_N = \frac{a_{\infty}}{2}$$

$$a_F = \infty$$



Abbildungstiefe

Bei fester Objektweite ergibt sich Toleranzbereich Delta z' für axiale Positionierung des Detektors.



$$\pm \Delta z' = \pm \frac{\Delta y' k}{\left(1 - \frac{f'}{a}\right)}$$

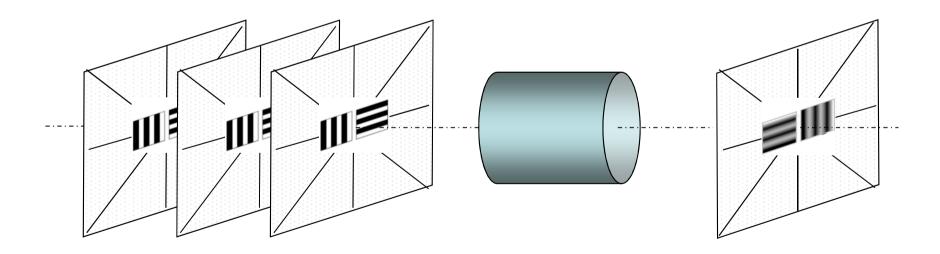
bzw. bei Abbildung aus Unendlich

$$\pm \Delta z' = \pm \Delta y' k$$



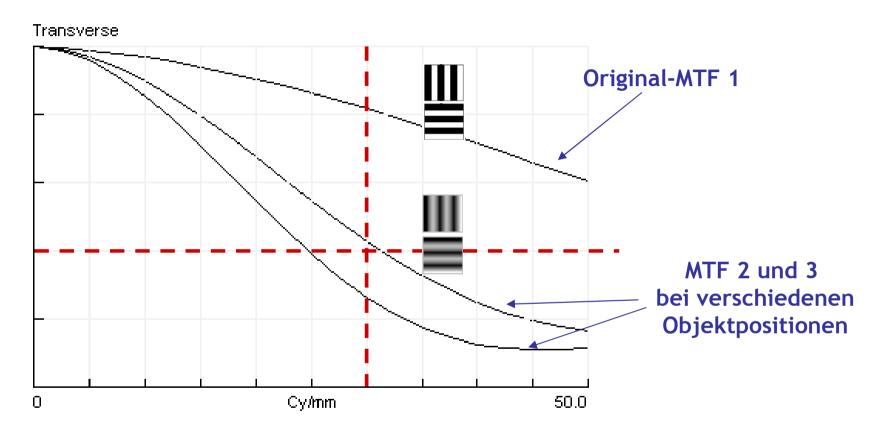
Reale Schärfentiefe

Die trigonometrisch ermittelte Schärfentiefe ist nur für eine erste Abschätzung geeignet. Einflüsse, wie z.B. Aberrationen, Beugungseffekte u.ä. werden nicht berücksichtigt. Ein besseres Kriterium ist z.B. die Ermittlung der Kontrastwerte bei unterschiedlichen Objektentfernungen und feststehender Detektorebene.





Bewertung durch MTF

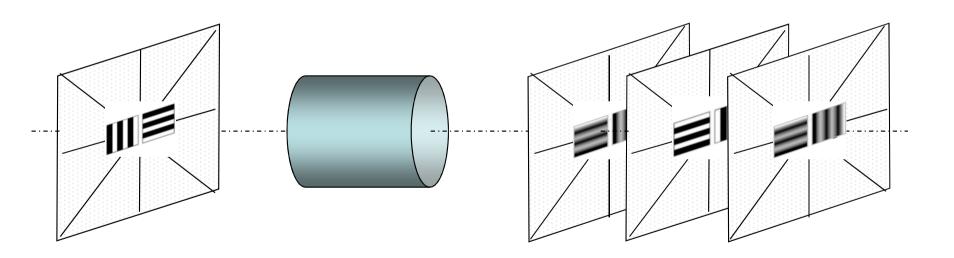


Ermittlung der realen Schärfentiefe bei Verschiebung des Objektes mit feststehendem Detektor durch Berechnung des Kontrastverfalls auf minimal zulässigen Wert (z.B. auf 40% des Originalkontrastes bei 30 lp/mm)



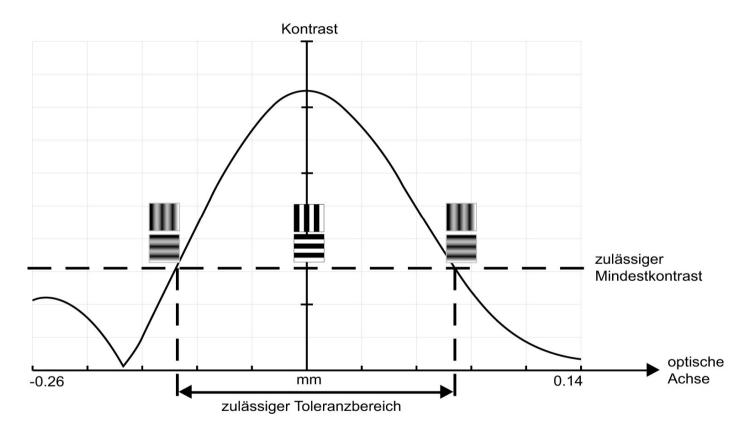
Abbildungstiefe

Die trigonometrisch ermittelte Abbildungstiefe ist ebenfalls nur für eine erste Abschätzung geeignet. Ein besseres Kriterium ist z.B. die Ermittlung der Kontrastwerte bei unterschiedlichen Detektorentfernungen und feststehendem Objekt.





Abbildungstiefe / Through Focus MTF



Ermittlung der realen Abbildungstiefe mit feststehendem Objekt bei Verschiebung des Detektors durch Berechnung des Kontrastverfalls auf minimal zulässigen Wert (z.B. auf 50% des Originalkontrastes)

Objektive in der Bildverarbeitung



Fazit

Ausführliche Datenblätter sind bei der Auswahl von anspruchsvollen Objektiven hilfreich und werden durch seriöse Anbieter bereitgestellt

Objektiv-Daten sind u.U. gut aufbereitet aber nicht für den individuellen Abbildungsfall angegeben

Erfahrungen aus der analogen Kleinbild-Fotografie sind nur bedingt auf digitale Bildverarbeitung übertragbar

Klassische Fotoobjektive sind für Anwendungen in der digitalen BV z.B. in Kombination mit neuen Detektoren u.U. ungeeignet