

11. Spezielle Optische Systeme der Medizintechnik

11.1 Spektrale Systeme

11.2 Autofokus-Systeme

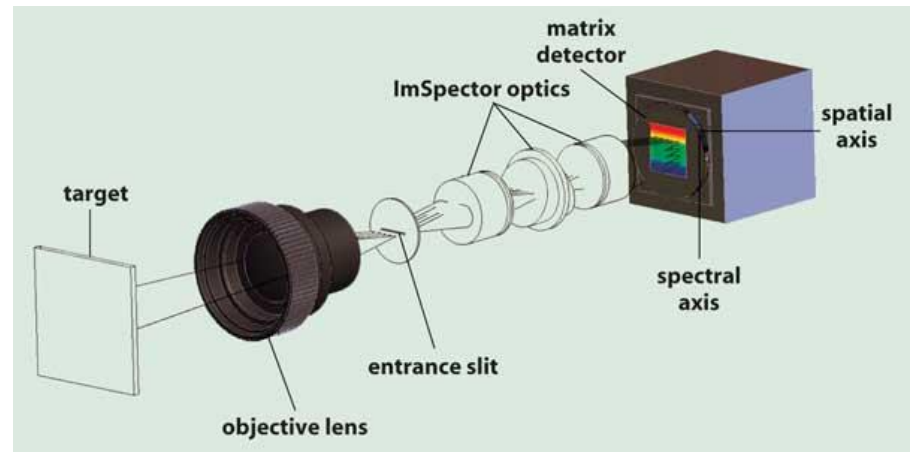
11.3 OCT-Systeme

Bisher:

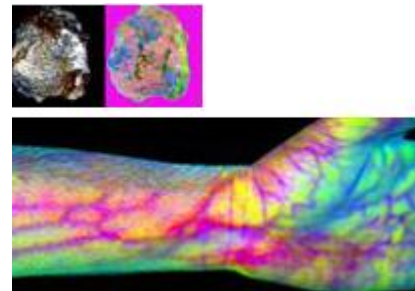
Klassische Systeme für
Abbildung und Beleuchtung

Heute:

Spektrale Systeme
Autofokus



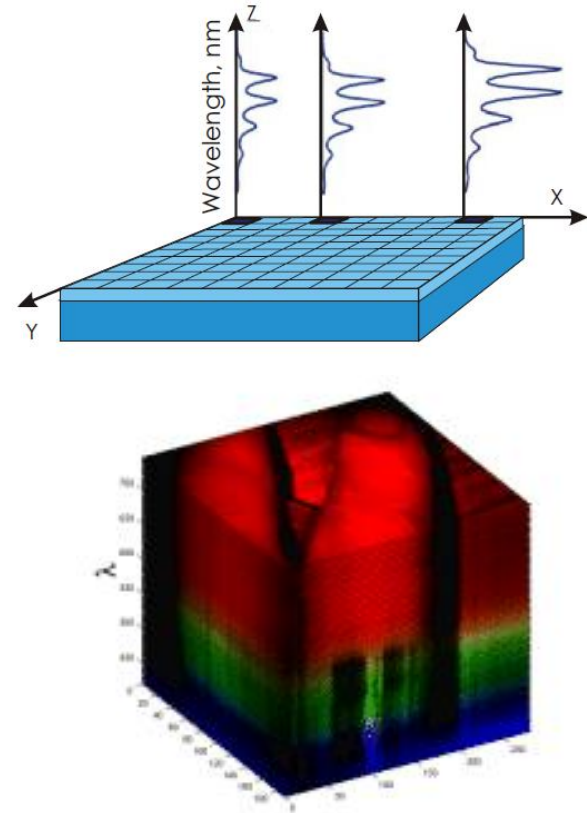
http://www.photonics.com/images/Web/Articles/2009/3/8/Figure2_4.jpg



Hyperspectral Imaging = Bild bei verschiedenen Frequenzen
(Abbildung + Spektrum)



Frühdiagnose von
Durchblutungsstörungen bei Diabetis



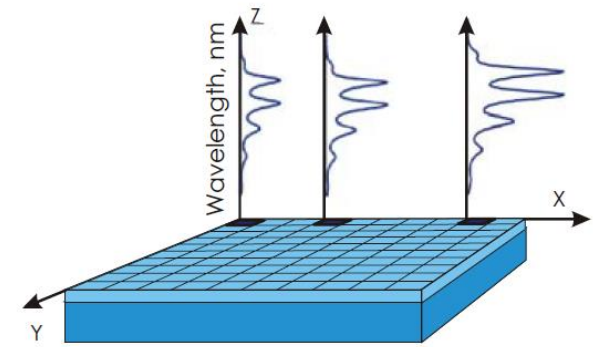
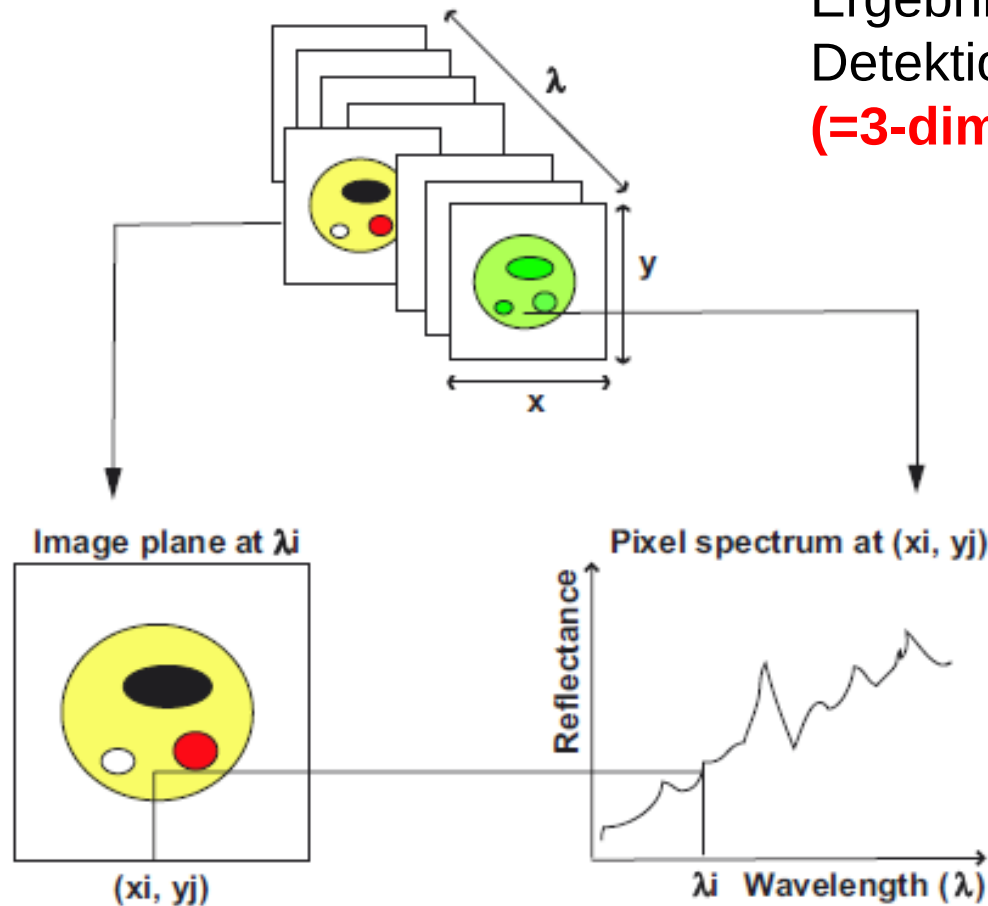
Bilder: <http://panaworks.com/lana/hyper/diabetes.htm>

Hyperspektrales Bild = Daten-Würfel



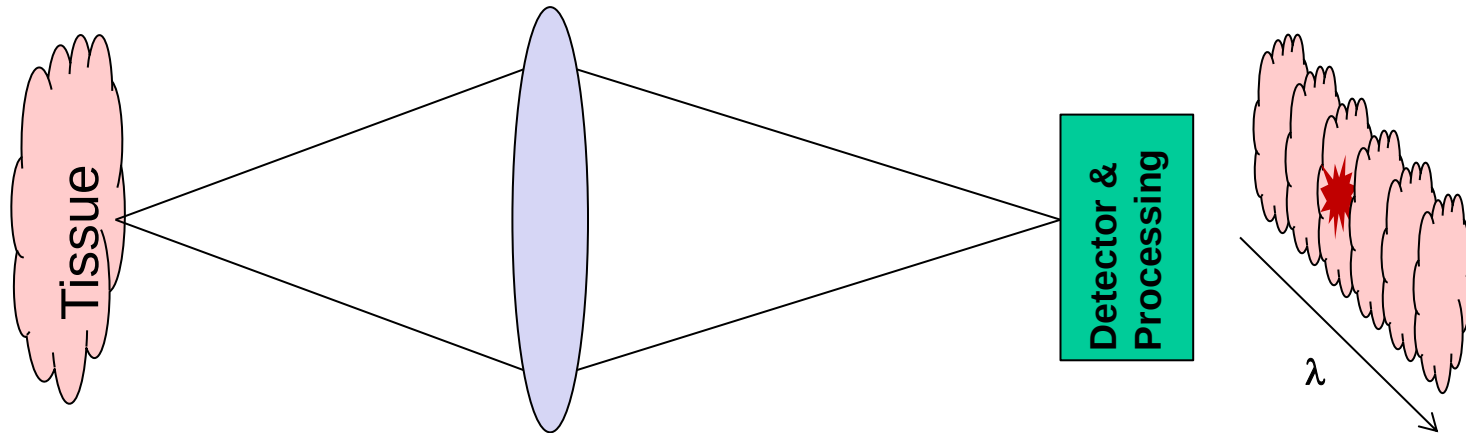
Ergebnis der hyperspektralen Detektion ist ein **Daten-Würfel**
(=3-dimensionale Matrix)

Datenwürfel, zeigt Relation zwischen lateralen und spektralen Dimensionen.

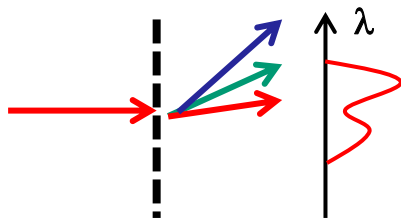


Quelle: A.A. Gowen et al. / Trends in Food Science & Technology 18 (2007) 590–598

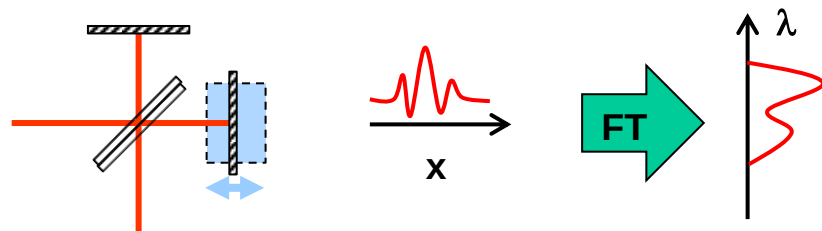
Prinzipiell zwei Varianten:



Hyperspectral Imaging
Spektrometer & Abbildungssystem



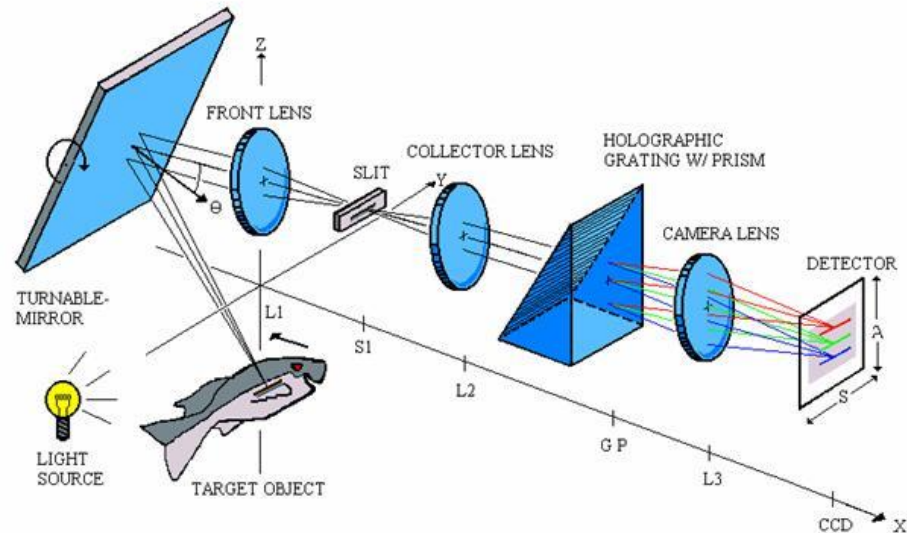
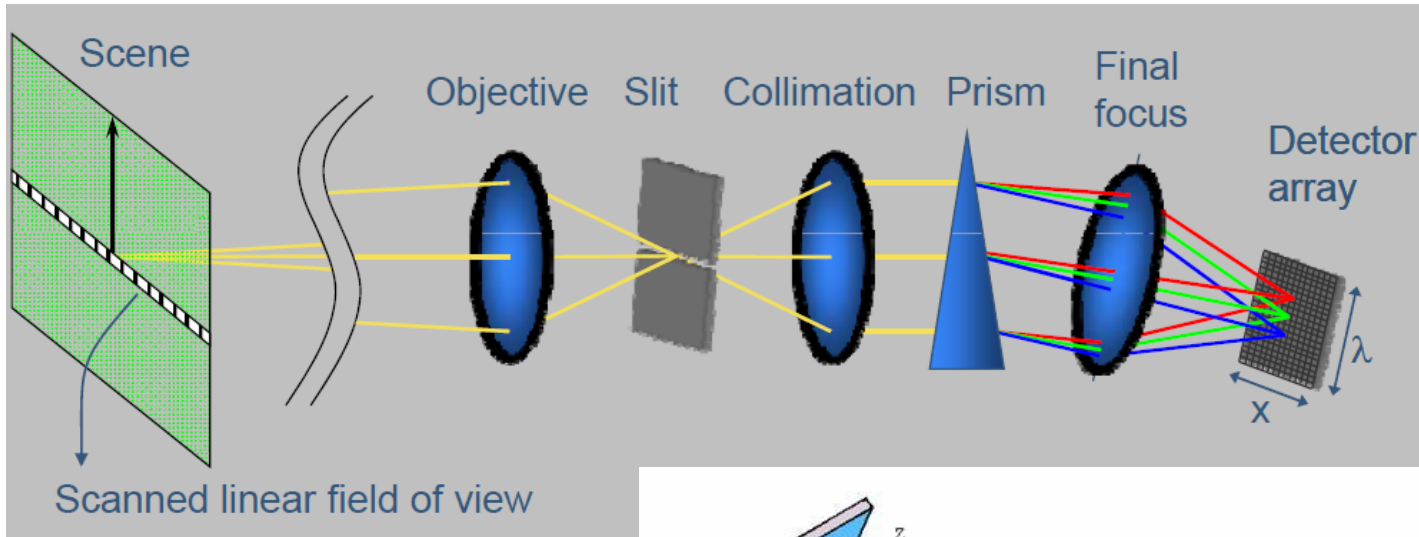
Imaging FT-spectroscopy
Interferometer & Abbildungssystem



Linien-Scan-Verfahren (Pushbroom Scan)



Linien-Scan Verfahren – Pushbroom Scan → Spektrometer und Abbildung



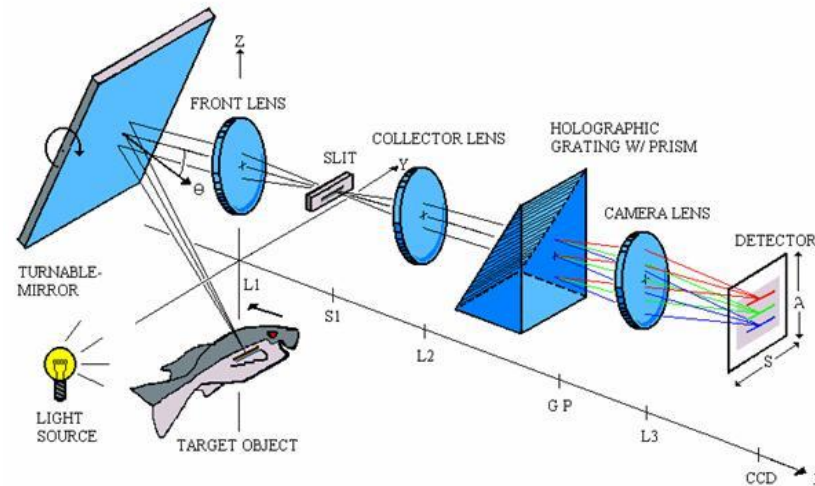
Linien-Scan-Verfahren (Pushbroom Scan)



Anforderung: Typischerweise muss hier Abbildungsqualität

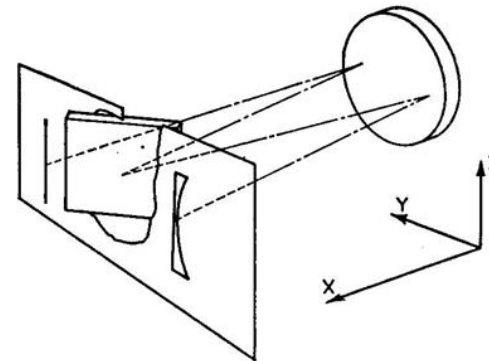
1.) Längs des Spaltes

2.) In spektraler Richtung (Beugungswinkel vom Prism / Gitter) korrigiert sein.



Typische Probleme:
Krümmung des Spaltbildes

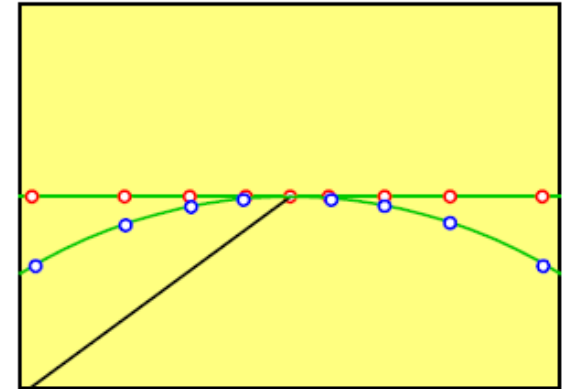
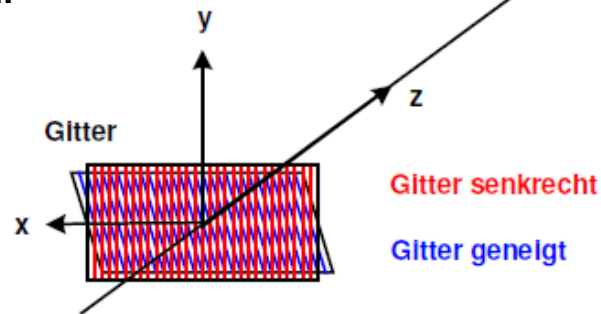
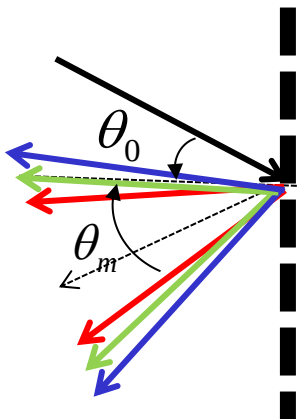
- durch Verzeichnung
- konische Beugung



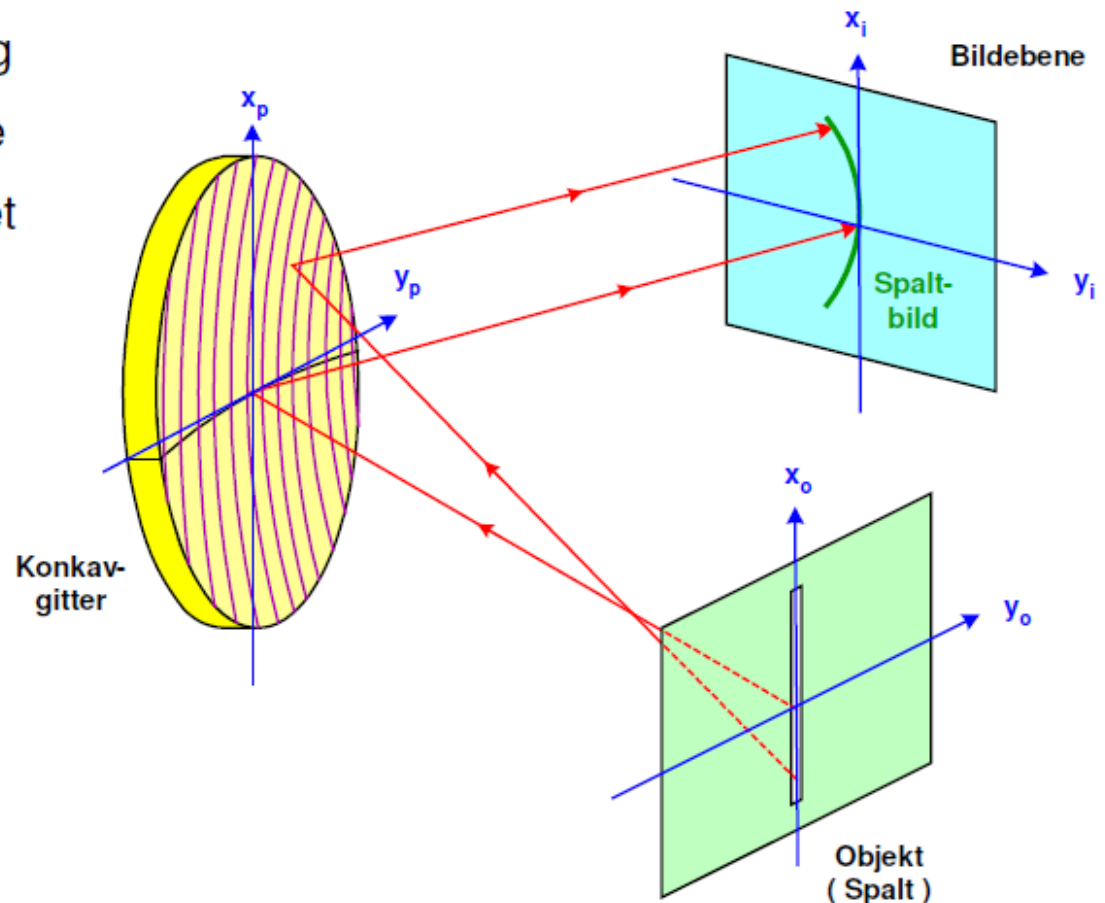
- Sehr kleine Gitterperiode und **nicht senkrechter Lichteinfall** auf ein Gitter : nicht-paraxiale konische Beugung
- Die **Ordnungen** liegen **nicht** mehr **äquidistant**
- Die Ordnungen liegen auf einem **Kegelmantel**

$$\sin \theta_m + \sin \theta_0 = m \cdot \frac{\lambda}{g \cdot \cos(\varepsilon)}$$

Winkel relativ zur Senkrechten

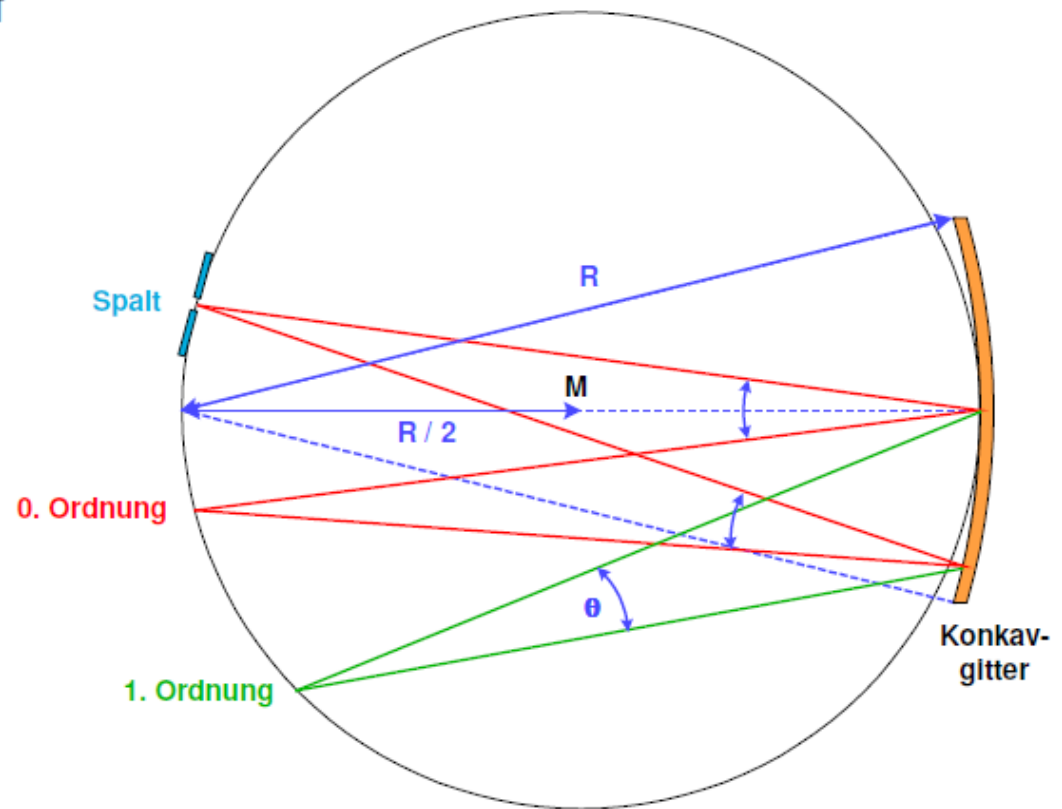


- Berechnung einer Abbildung :
Raytracing mit Gittergleichung
- Im allgemeinen 3D-Geometrie
- Meist wird ein Spalt abgebildet
- Astigmatismus und Koma treten meist auf
- Korrektur durch :
 1. gekrümmte Gitterlinien
 2. Speziell gekrümmte Träger
 3. Örtliche Variation der Furchendichte
- Spezielle Bedeutung :
Fokalkurven



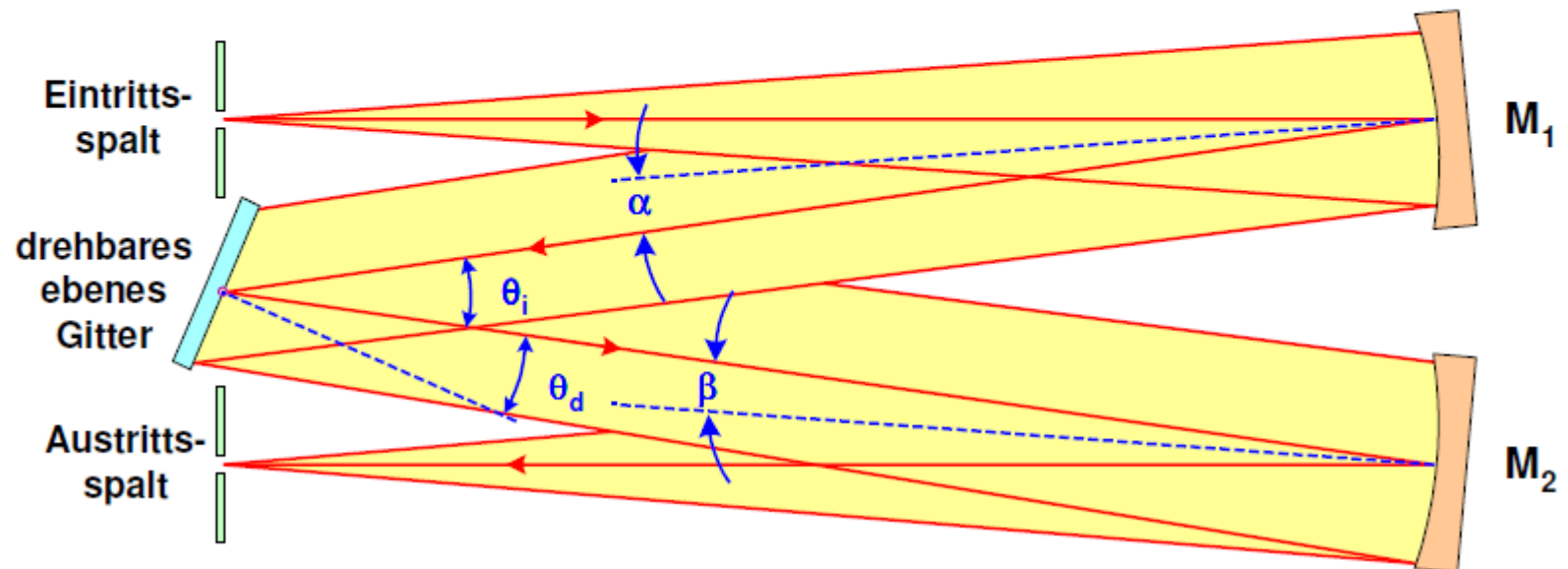
Rowland-Gitter

- Monochromator mit Eintrittsspalt :
Gekrümmtes Rowland-Gitter mit Radius R :
die **Spaltbilder** entstehen auf
einem **Kreis** mit Radius $R / 2$



Czerny-Turner-Spektrometer

- Ebenes Gitter
- Komakorrektion durch Symmetrie
- Astigmatismus der Spiegel wirkt begrenzend

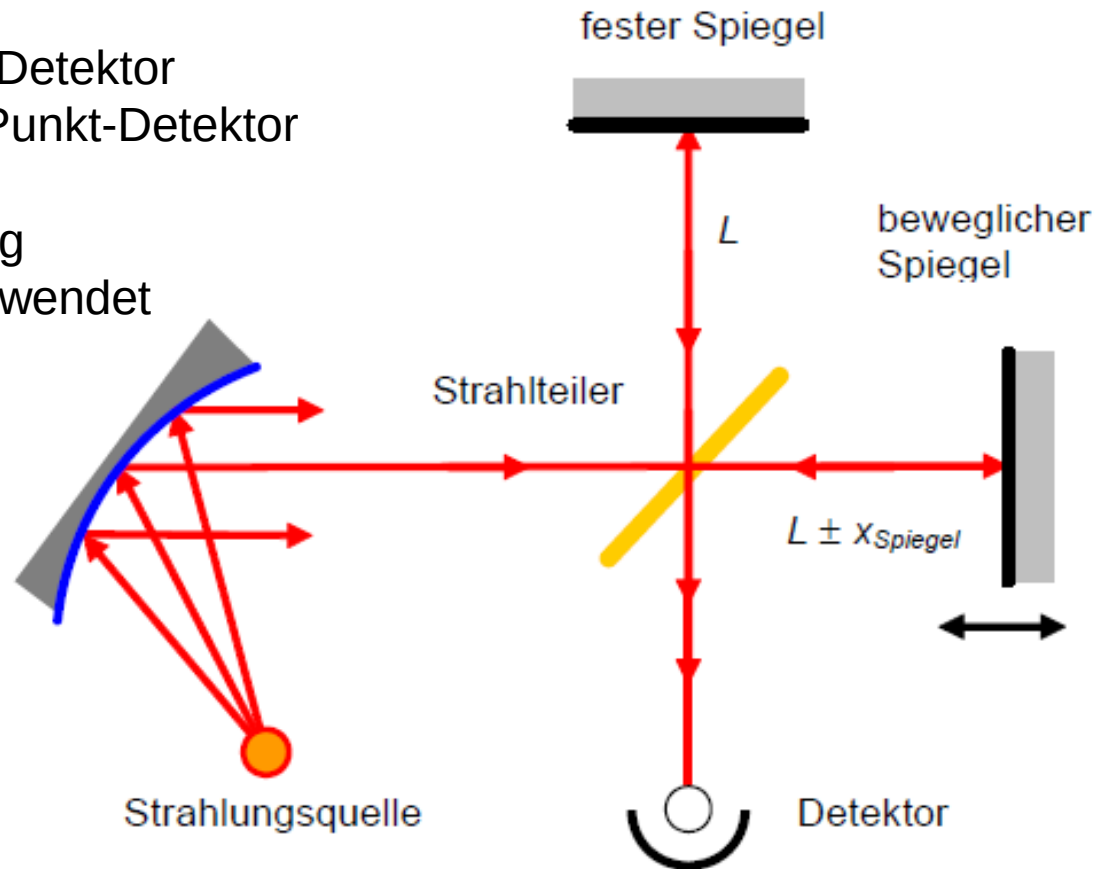


Fourier-Transform-Spektrometer

→ basiert auf einem Interferometer

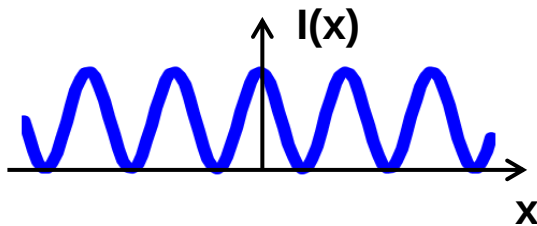
Vorteil: Es ist kein Linien-Detektor
sondern nur ein Punkt-Detektor
zur Analyse nötig

- kein Scan nötig
- CCD kann verwendet werden

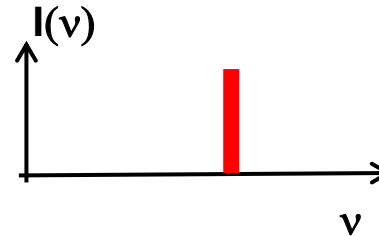


Monochromatisches Licht

→ Detektorsignal

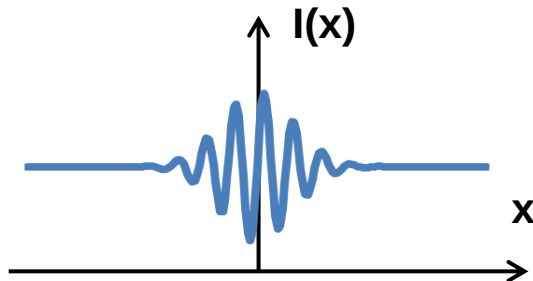


→ Fourier-Transformierte

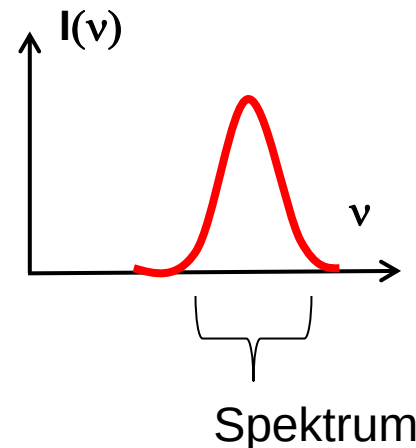


Polychromatisches Licht

→ Detektorsignal



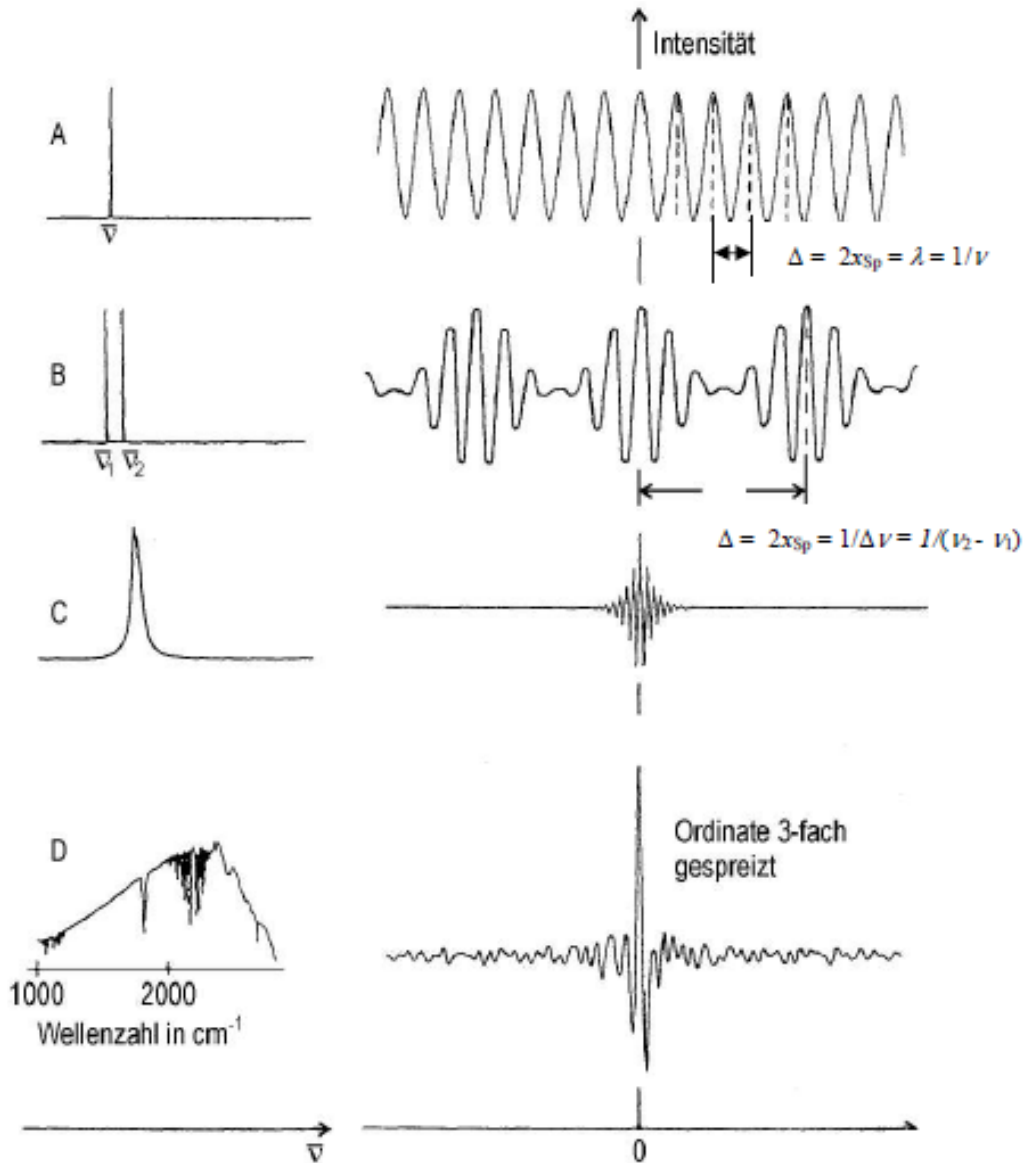
→ Fourier-Transformierte



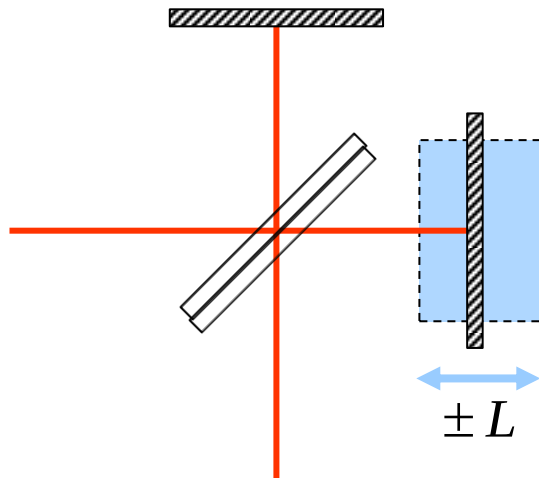
Fourier-Transform Spektrometer



Spektren und
entsprechende
Detektorsignale am
FT-Spektrometer



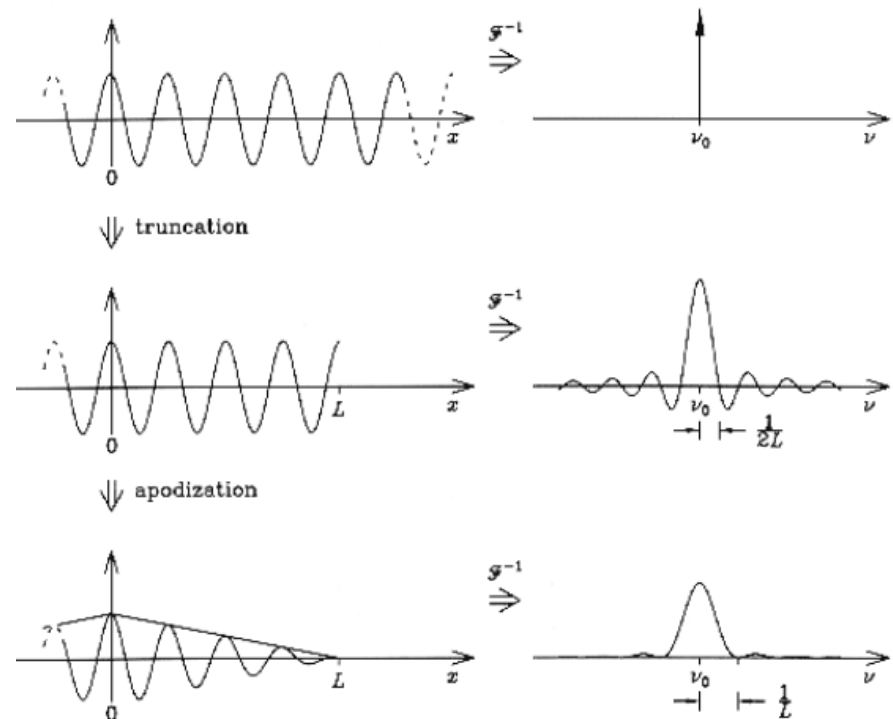
Die **Auflösung der FT-Spektrometers** hängt von der maximalen Weglängendifferenz des Interferometers zusammen:



$$\Delta \tilde{\nu} \approx \frac{1}{2L}$$

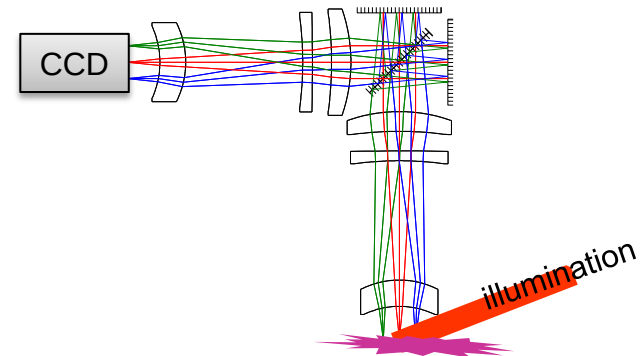
(10.11)

Monochromatisches Licht

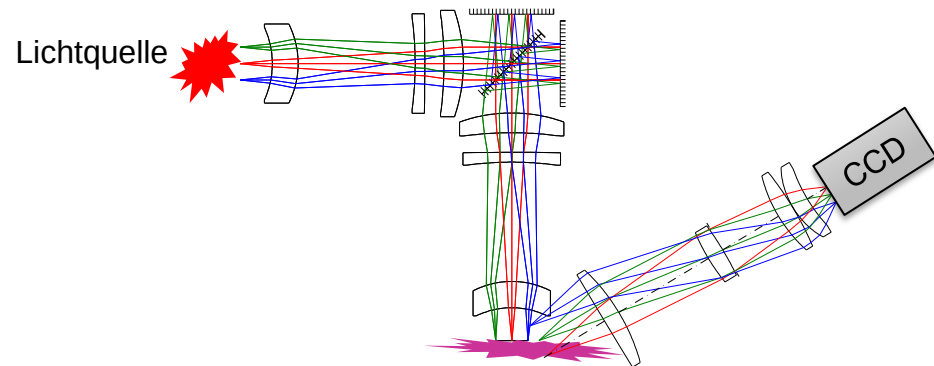


Prinzipiell kann das Interferometer im Abbildungs- oder Beleuchtungspfad sitzen

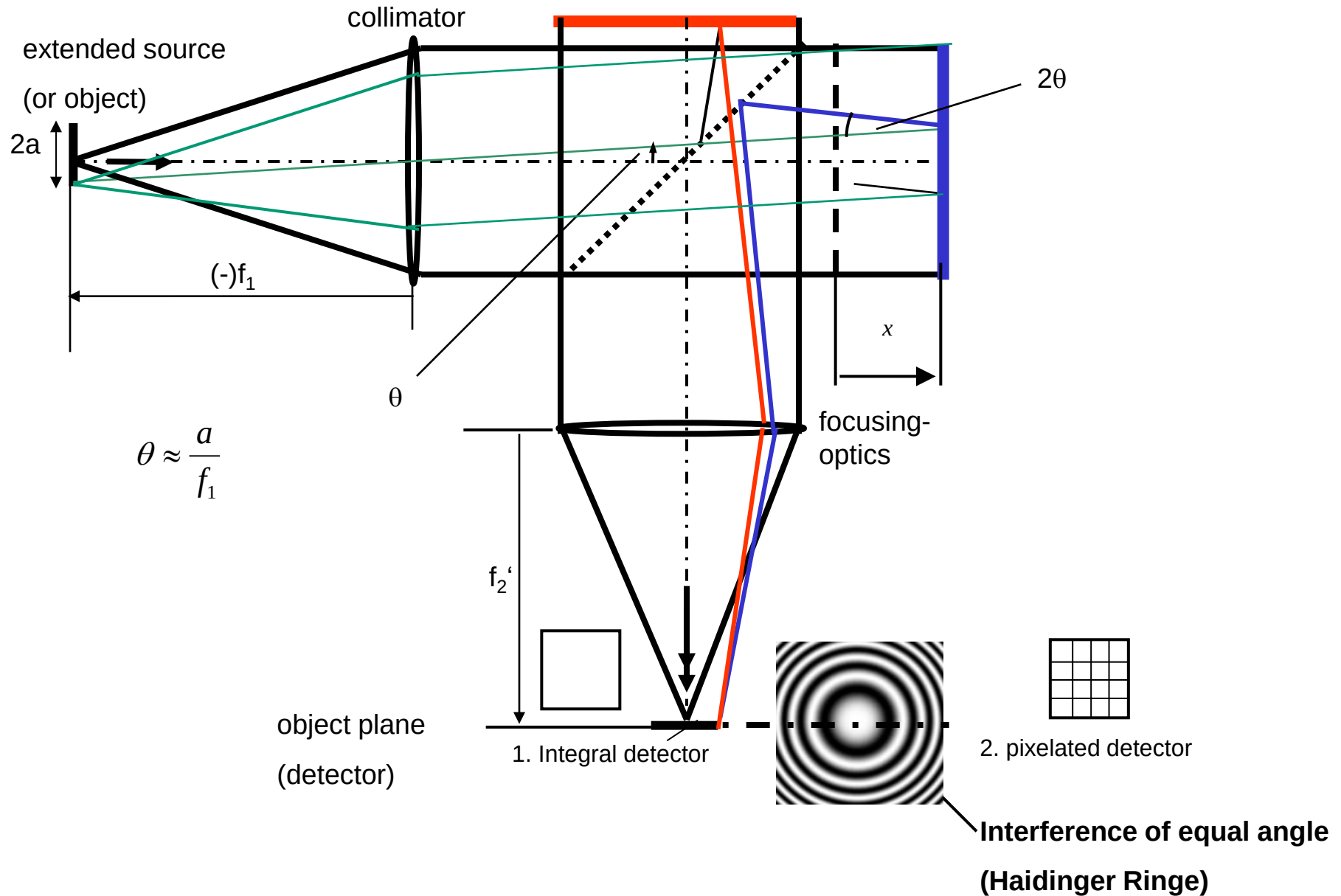
A) Abbildung durch das Interferometer



B) Beleuchtung durch das Interferometer



Probleme: Interferometer und Feldwinkel

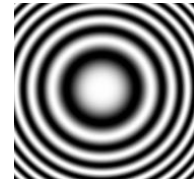


Lösungsmöglichkeiten:

1.) Benutzung außerhalb des 1. Haidinger Rings

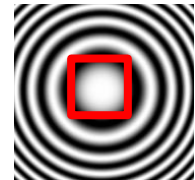
Abbildungsoptik muss Haidinger-Muster abbilden

Kalibrierung des FT-Algorithmus ist notwendig (Pixel-abhängig)



2.) Benutzung innerhalb des 1. Haidinger Rings

- Nur kleines Feld / Quelle sind erlaubt
- Nur geringe Kollektionswinkel
- Ansonsten weniger Anforderungen und einfacher also oben



In der Regel bedürfen alle anspruchsvolleren bildgebenden Systeme einer Möglichkeit schnell und automatisch zu fokussieren.

Autofokus – Konzepte:

Passiver Autofokus

- Kantenkontrastmessung
- Phasenvergleich/Schnittbildverfahren

Aktiver Autofokus

- Ultraschall
- AF-Hilfslicht
- Spezielle Objektbeleuchtung
- Technische Autofokus-Sensoren (Konfokal, Weißlicht, etc.)

Autofokus-Prinzipien im Kamerabereich:

Verfahren	Phasenvergleich	Kontrastverfahren	Laufzeitmessung
Jahr der Einführung	1977	ca. 1985	1979
Geschwindigkeit	schnell	langsam	mittel
Kosten	zusätzliches Bauteil benötigt	günstig	zusätzliches Bauteil benötigt
Zuverlässigkeit ¹	hoch	mittel	mittel
Präzision ²	hoch	hoch	gering
Messfelder im Bild ³	mehrere	mehrere	eines (mittig)

¹⁾ Rate der scharfen Bilder auch unter schwierigen Bedingungen

²⁾ Genauigkeit der Scharfstellung / Vermeidung von Restunschärfe

³⁾ Anzahl der möglichen Sensoren / Messpunkte in der Kamera / über die Bildfläche verteilt

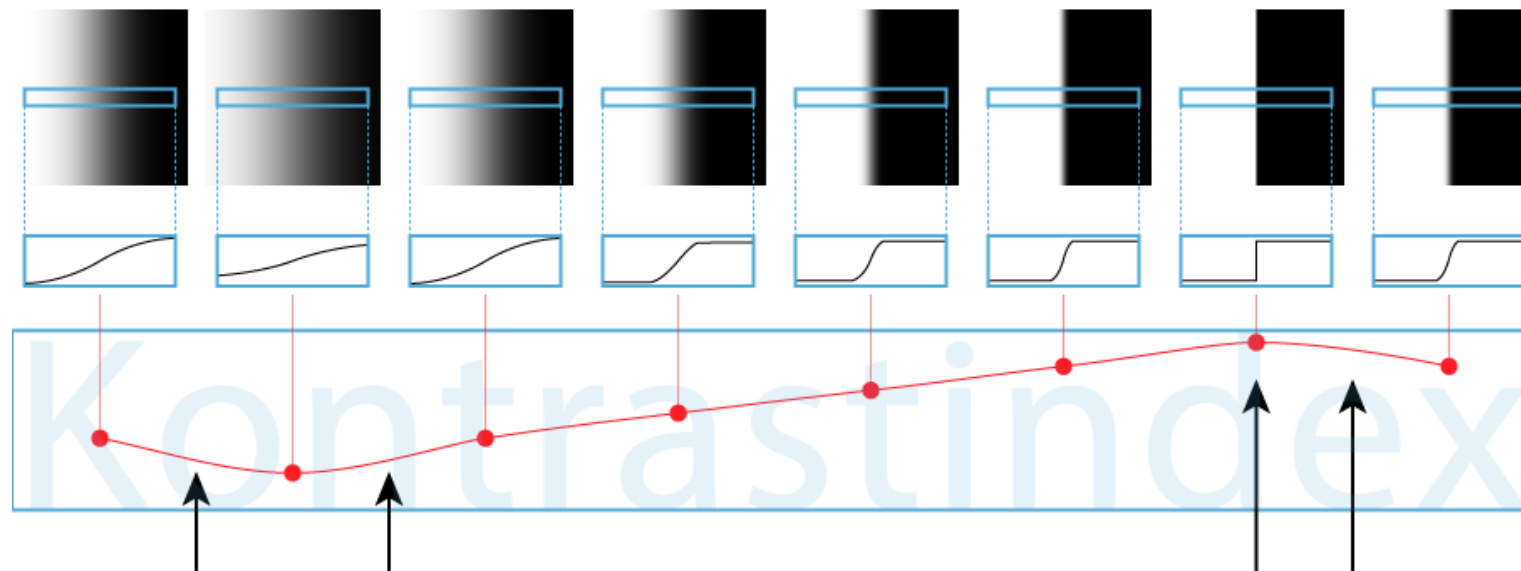
Quelle: C. Keith, TU Kaisersautern, „Low Cost – High Tech“

Kantenkontrastmessung:

Auswertung von Hell/Dunkel-Kanten per Bildverarbeitung

Vorteil: Keine Zusatzoptik / Lichtquelle

Nachteil: Bild muss vorliegen



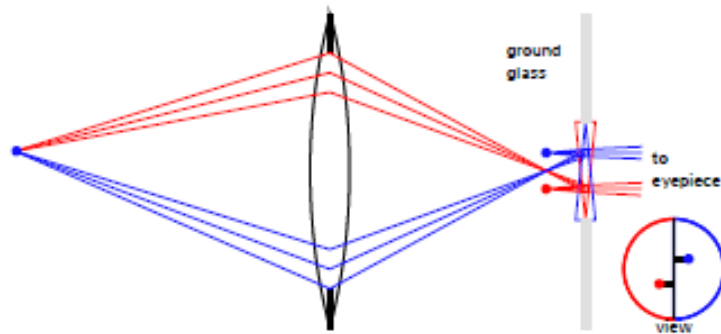
Die abnehmende Kontraststeigung signalisiert eine falsche Fokusrichtung. Durch Umkehr der Objektivbewegung nimmt die Kontraststeigung zu. Nun wird in die richtige Richtung fokussiert.

Das Maximum und damit die vermeintlich korrekte Fokusebene wird erkennbar, sobald die Kontraststeigung wieder abnimmt. Die Fokussierung wird gestoppt und auf das gemessene Maximum zurückgefahren.

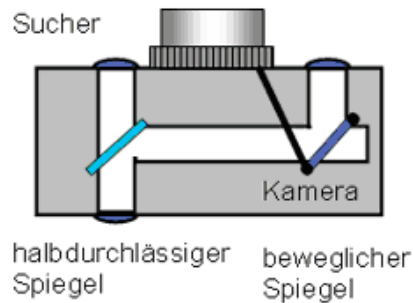
www.onzesi.de

Phasenvergleich:

Betrachtung des Bildes aus zwei Blickwinkeln (Prinzip Triangulation)



Falsche Fokussierung

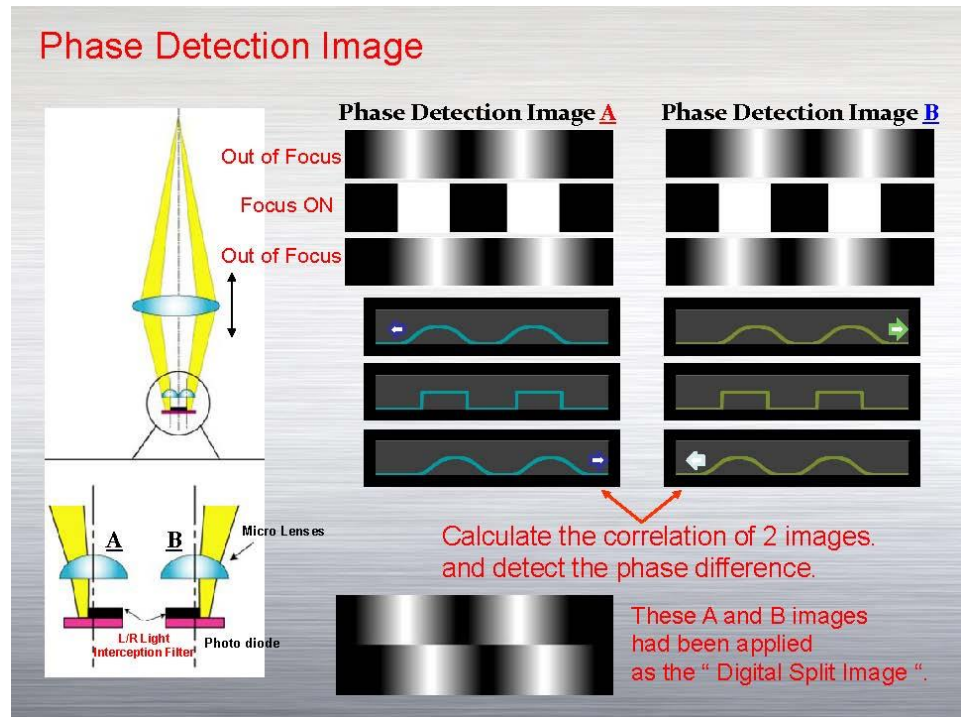
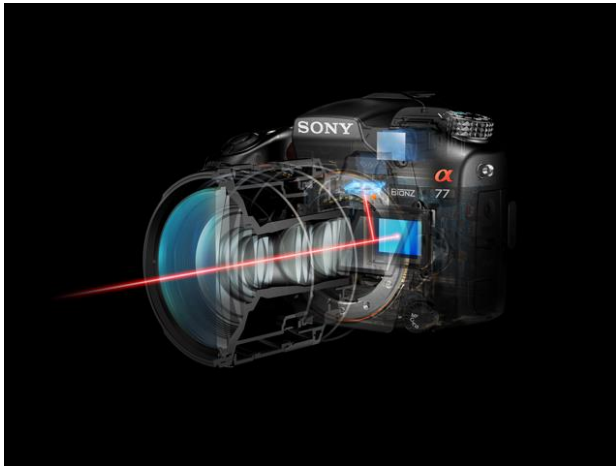


Korrekte Fokussierung

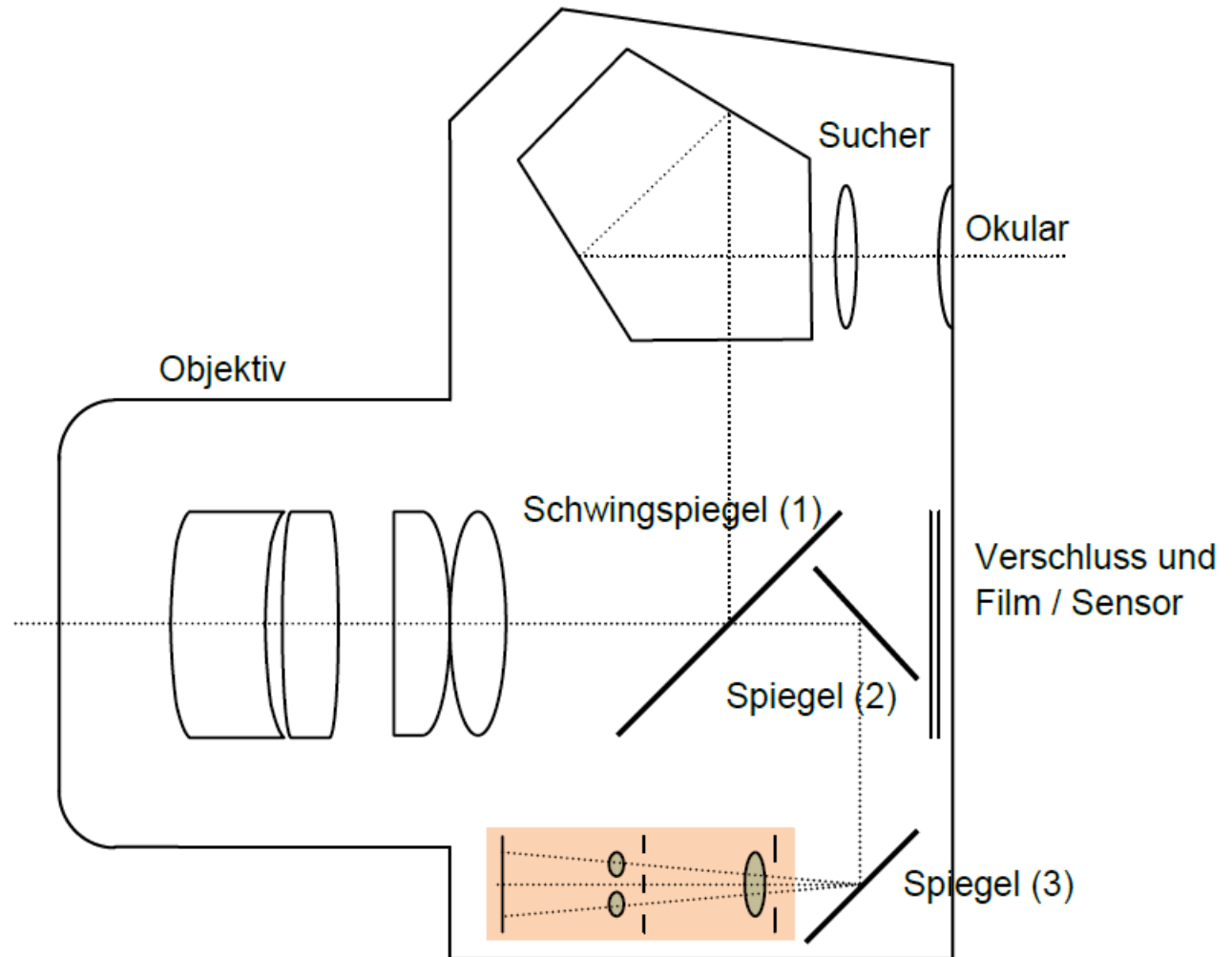


Phasenvergleich in der Spiegelreflex-Kamera:

- Auskopplung eines Teilbildes über teildurchlässigen Spiegel
- Verwendung von modifizierten Bildpixeln

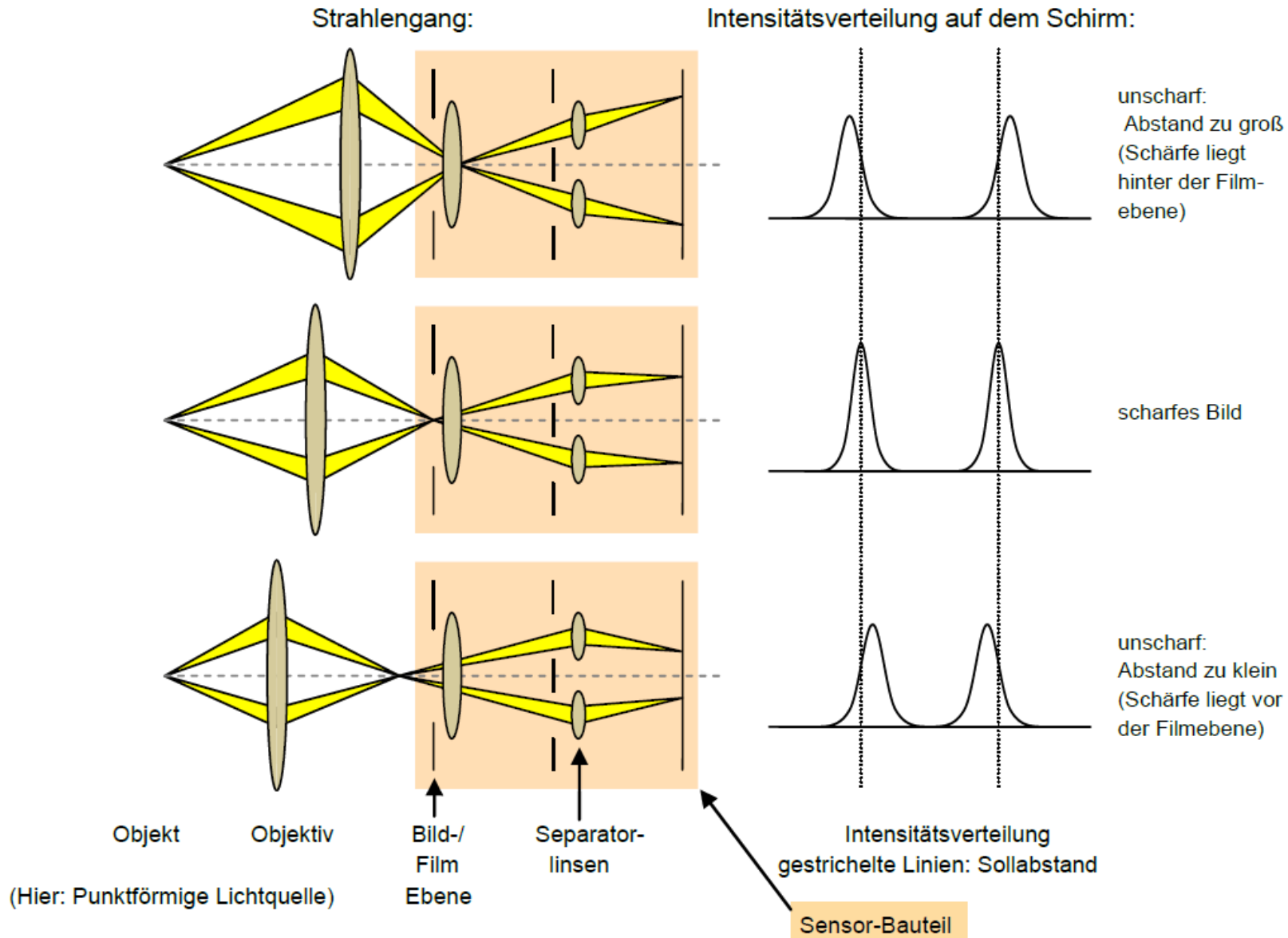


Passiver Autofokus in der Spiegelreflexkamera



Quelle: C. Keith, TU Kaiserslautern, „Low Cost – High Tech“

Passiver Autofokus in der Spiegelreflexkamera

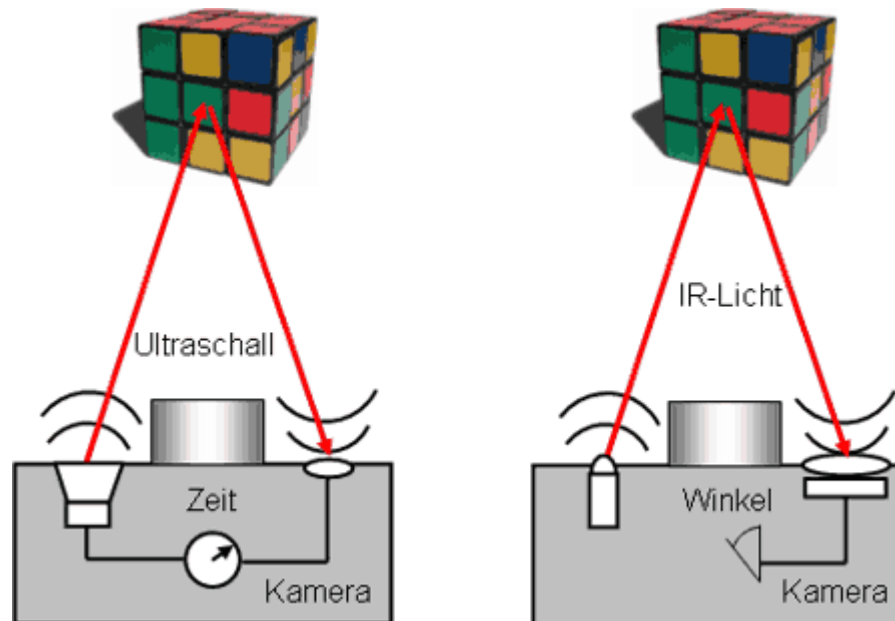


Quelle: C. Keith, TU Kaiserslautern, „Low Cost – High Tech“

Aktive Autofokus-Systeme verwenden eine eigene Lichtquelle:

- Ultraschall
- Infrarot

Die Entfernungsmessung erfolgt über Messung der Laufzeit oder über Messung des Winkels (klassische Triangulation)



http://www.puchner.org/Fotografie/technik/die_kamera/fokus_06.gif

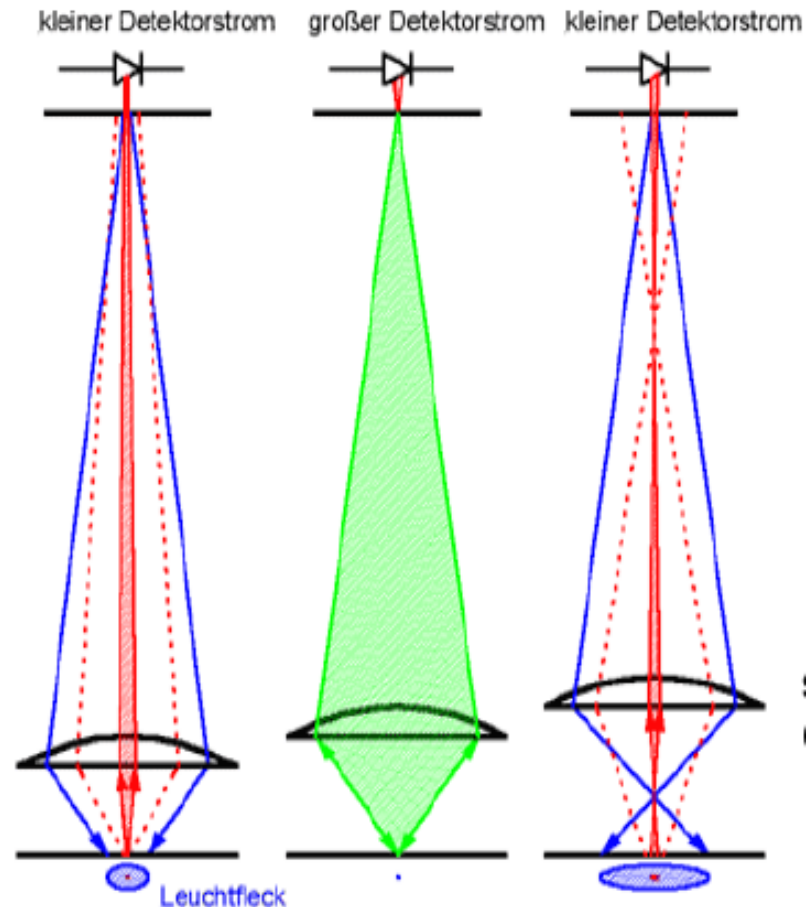
Autofokus-Systeme in technischen Optiksysteimen basieren noch auf anderen (z.T. komplexen) Prinzipien,

Konfokalsensor:

Eine Punktlichtquelle wird auf das Objekt abgebildet.
Das reflektierte Licht wird von demselben Objektiv eingesammelt und auf einen punktförmigen Detektor geleitet (konfokales Prinzip).

➔ Nur im Fokus ergibt sich ein maximales Signal

➔ Nachteil:
Oberhalb und unterhalb kann nicht unterschieden werden



Quadrantendetektor:

Ähnlicher konfokaler Aufbau.

Allerdings wird über Zylinderlinsen ein Astigmatismus im AF-Strahlengang erzeugt.



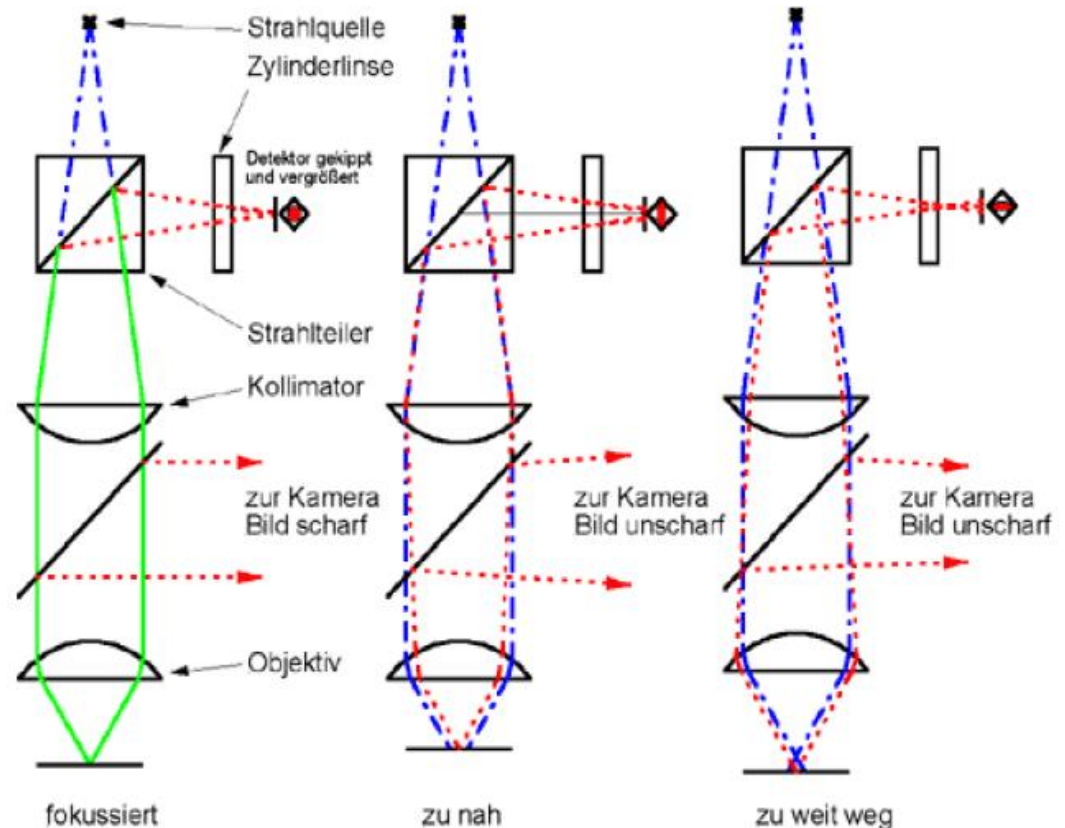
Im Fokus: runder Spot

Oberhalb: hor. Linie

Unterhalb: vert. Linie

Detektion

Quadrantendetektor



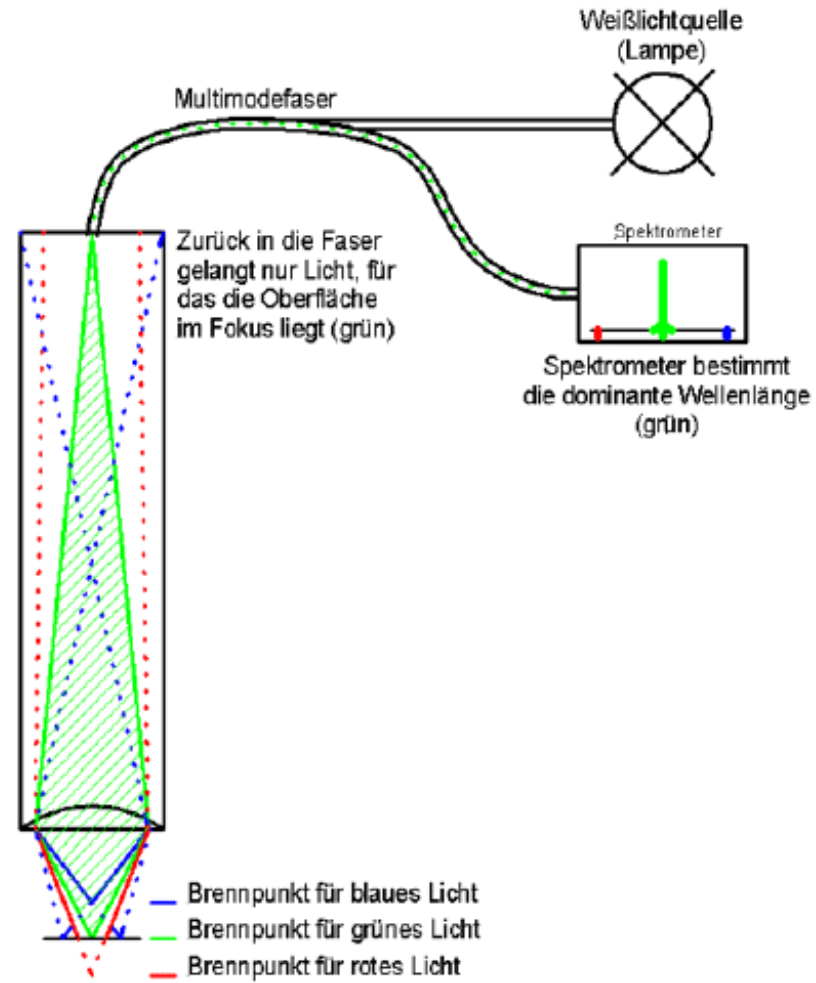
Weißlicht-Sensor:

Nutzung der Farbblänsgefehlers
der Fokuslinse.

Durch den konfokalen
Aufbau wird hauptsächlich
Licht einer Wellenlänge
in das System rückreflektiert.

→ Spektralinformation
liefert Aussage über
Abstand.

(Vergleiche:
Chromatisch konfokales
Mikroskop)

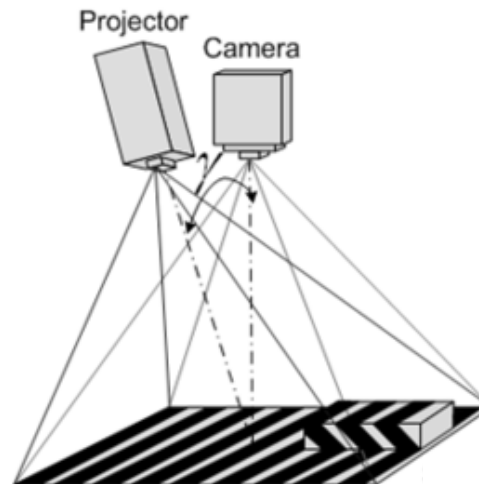
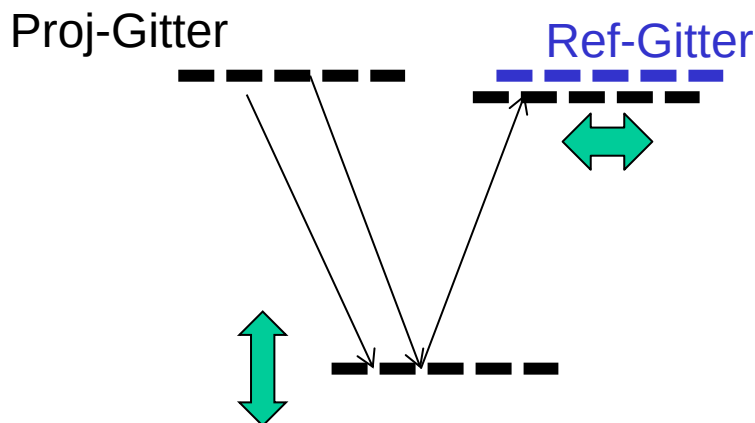


Flächige AF-Sensoren:

Obige Systeme haben den Nachteil, dass nur ein Punkt detektiert wird – oftmals ist aber eine flächige Detektion nötig.

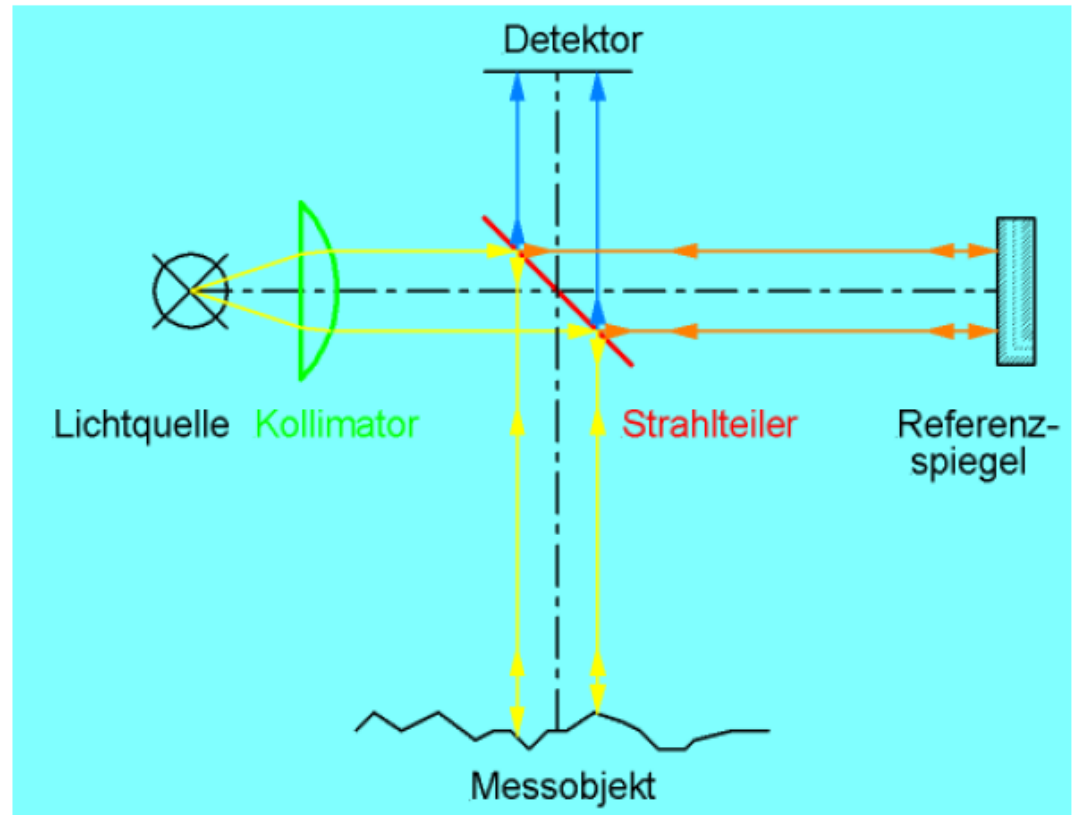
Lösungen:

- Mehrere Punktdetektoren
- Abbildung von Gittern (z.B. bei anderer Wellenlänge)
- Abbildung von Gittern unter unterschiedlichen Winkeln (ähnlich Streifenprojektion)



Für hochgenaue Positionsbestimmung werden auch interferometrische Sensoren eingesetzt.

- ➔ Für Monochromatisches Licht ist Detektionssignal periodisch in $\lambda/2$.
- ➔ Hohe Genauigkeit aber nur relative Position

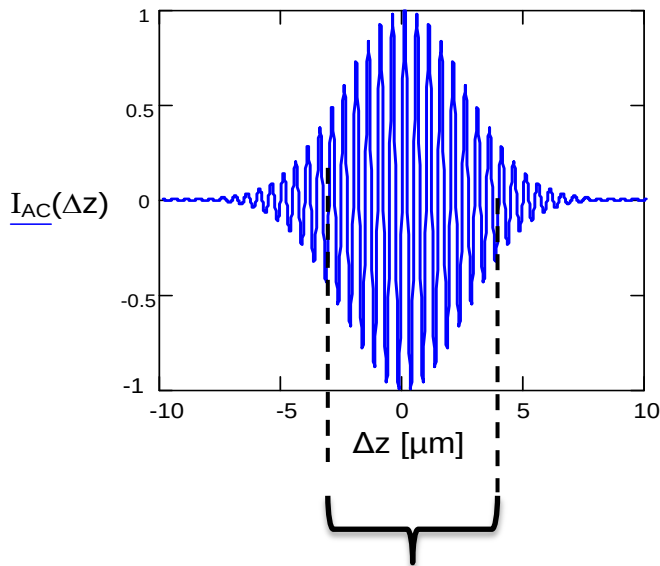


Klassischer Interferometeraufbau

Weißlicht-Interferometer

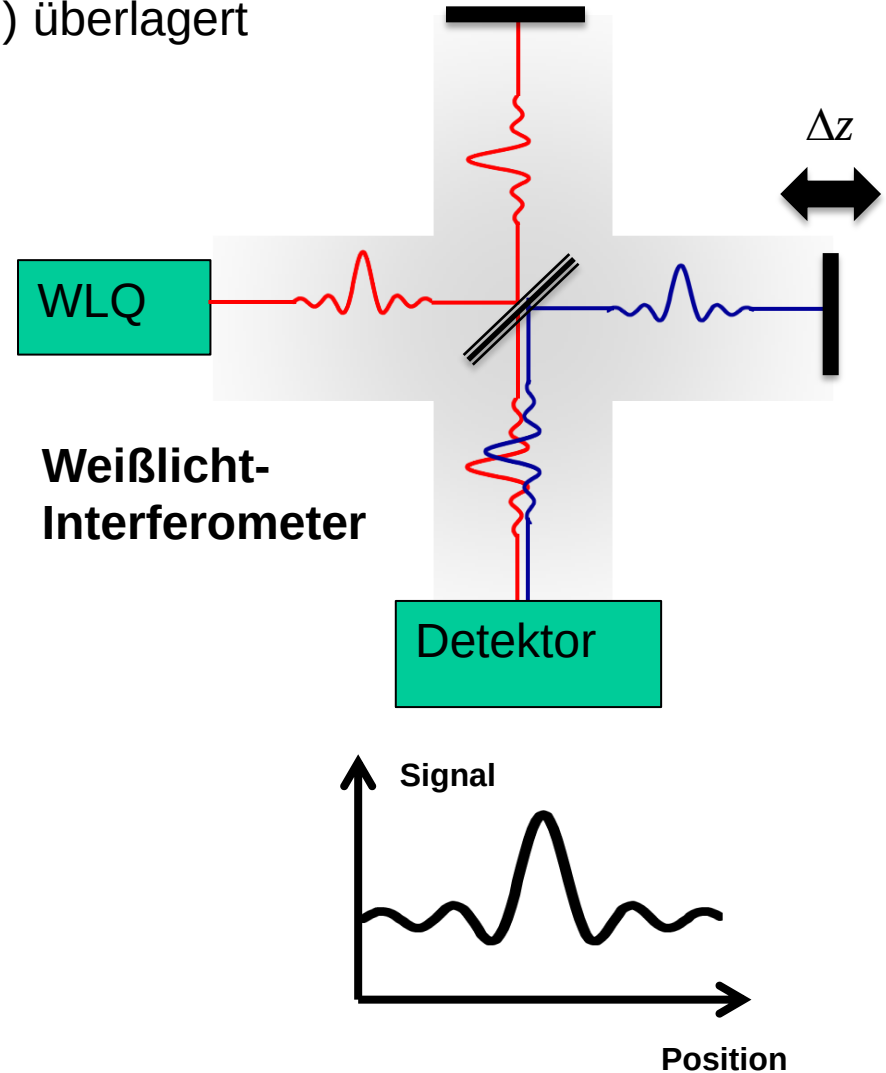


Für breitbandiges (kurzkohärentes) Licht werden
verschiedene Frequenzen (Wellenlängen) überlagert
➔ Absolute Positionsinformation



Axiale Auflösung
(Kohärenzlänge)

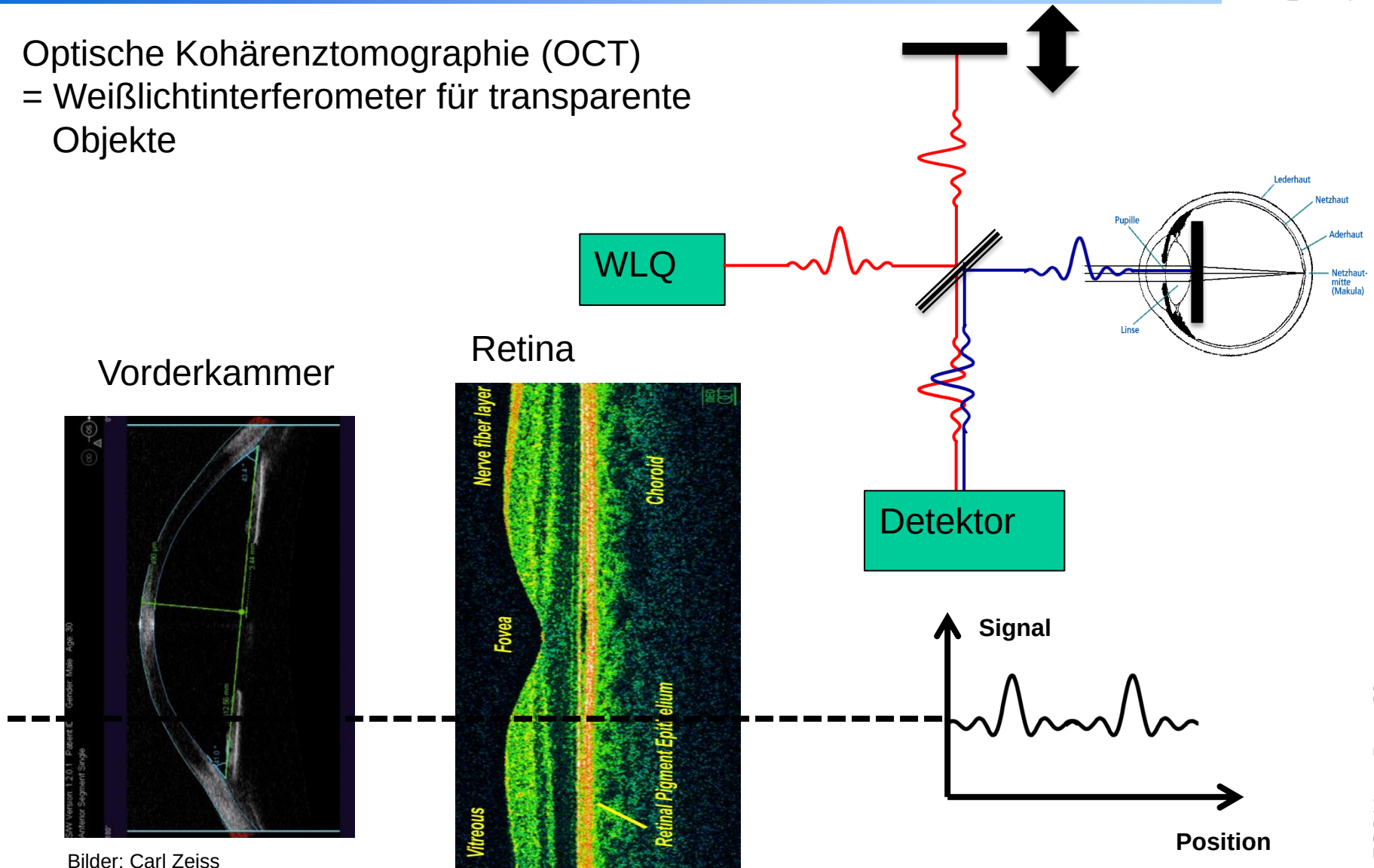
$$l_c \approx \frac{2\pi \cdot c}{\Delta\omega} \approx \frac{\lambda^2}{\Delta\lambda}$$



OCT - Systeme



Optische Kohärenztomographie (OCT)
= Weißlichtinterferometer für transparente
Objekte



Bilder: Carl Zeiss
& Medizinische Universität Wien

Vorteil OCT-Methoden:
Axiale Auflösung ist entkoppelt von
Lateraler Auflösung

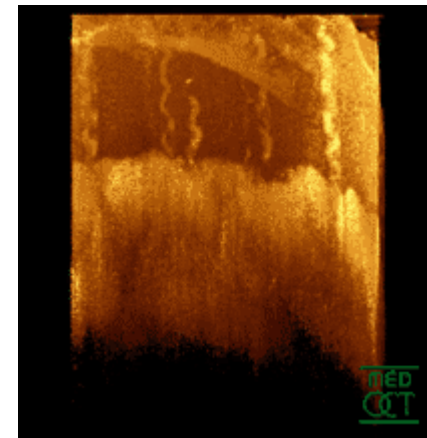
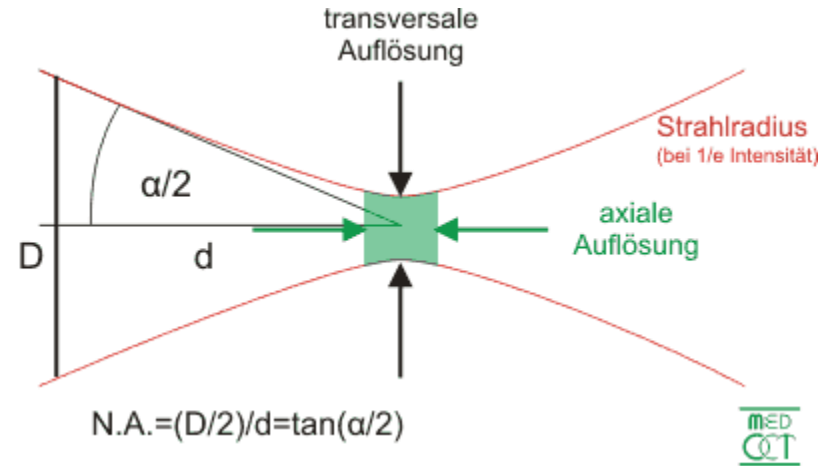
Axiale Auflösung (Köhärenzlänge)

$$l_c \approx \frac{2\pi \cdot c}{\Delta\omega} \approx \frac{\lambda^2}{\Delta\lambda}$$

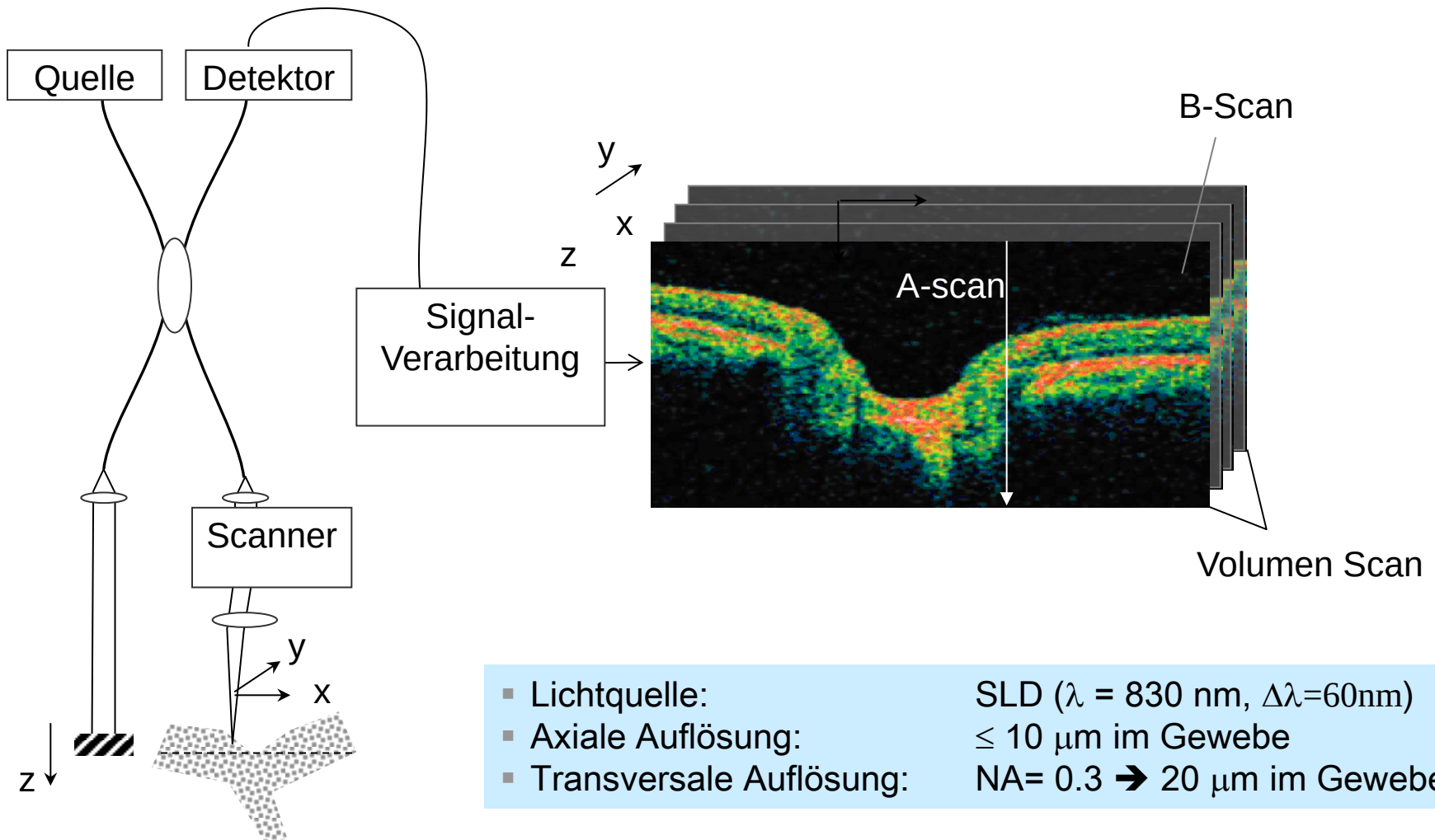
Laterale Auflösung (Beugungsgrenze)

$$\Delta x \approx \frac{\lambda}{NA}$$

→ 3 dimensionaler
“Scan” des Objektes
möglich

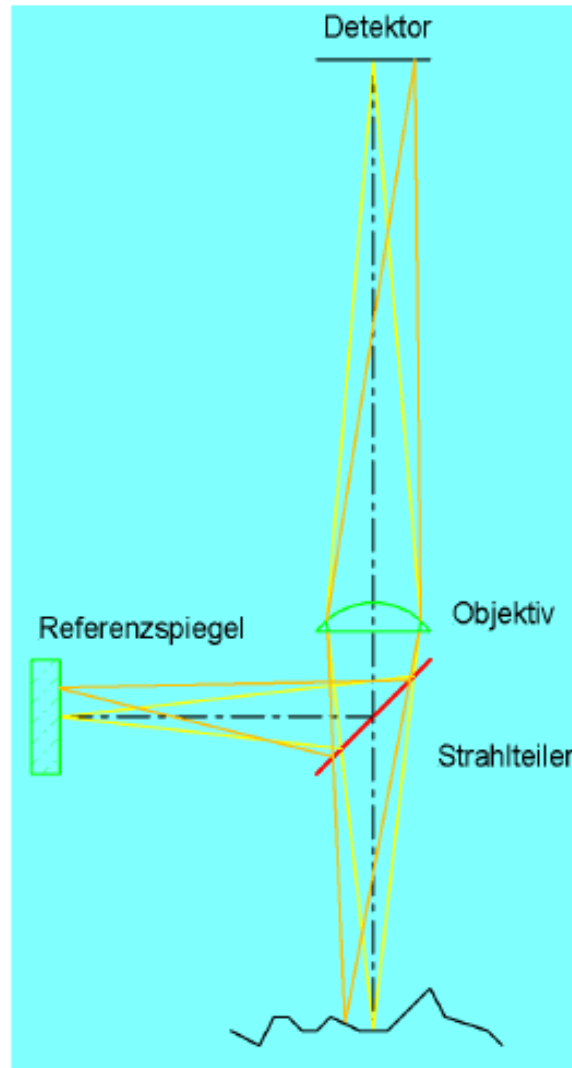


Bilder: Medizinische Universität Wien
<http://www.meduniwien.ac.at/homepage/>

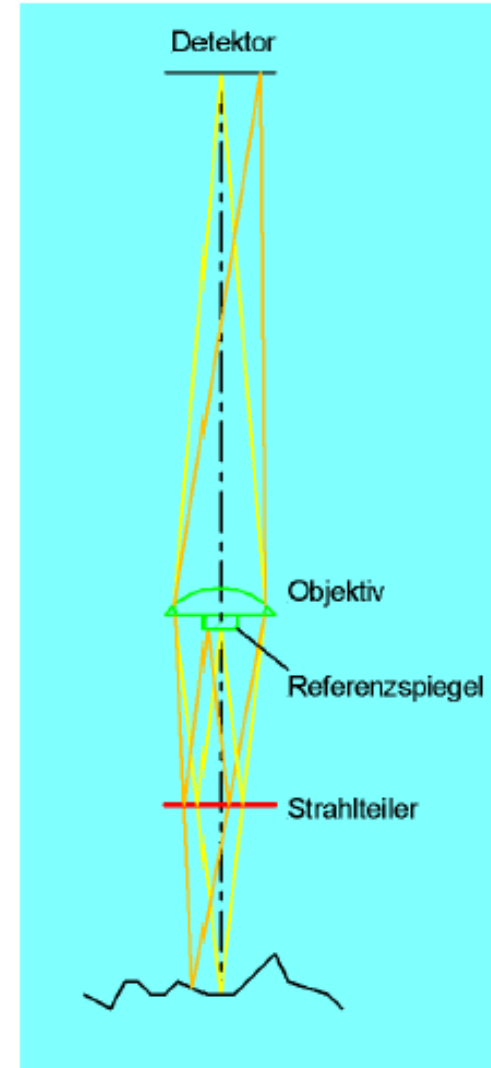


Problem:
Bedingt durch den
Längen getrennten
Pfad in der
Michelson-Anordnung
sehr störanfällig

Verbesserung:
Mirau-Objektiv
(Interferometer
im Objektiv)

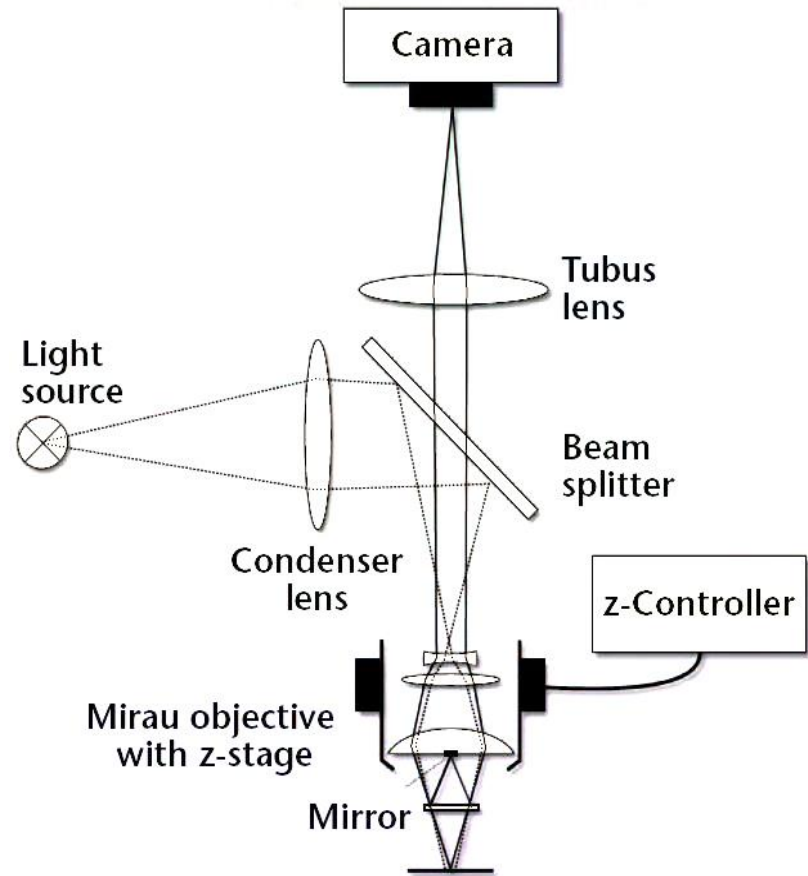
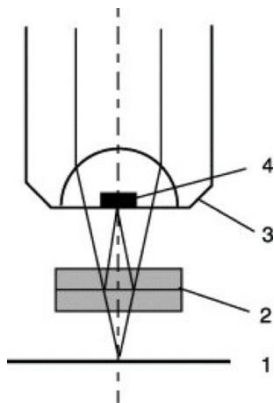


Michelson-Objektiv



Mirau-Objektiv

Aufbau von Mirau –Systemen und Objektiven



Typen und Eigenheiten von Spektralen Bildgebungssystemen

- Hyperspektral: Abbildung & Spektrometer
 - Hier muss die Abbildung des Gitter-Spaltes gut korrigiert sein
- FT-Spektrometer: Abbildung & Interferometer (& Fouriertrafo)
 - Die Wirkung der Feldwinkel im Interferometer muss beachtet werden (Haidinger –Ringe)

Autofokus-Prinzipien:

- Aktiv: Kantenschärfe , Phasenvergleich
- Passiv: Laufzeitmessung, Winkelmessung
- Technische Sensoren: Konfokal, Weißlicht, Quadrantendetektor

Interferometrische Verfahren:

- Zur hochgenauen Abstandsmessung
- Weißlicht-Interferometer/OCT zur absoluten Positionsmessung
- Mirau-Anordnung bietet Vorteile durch Stabilität