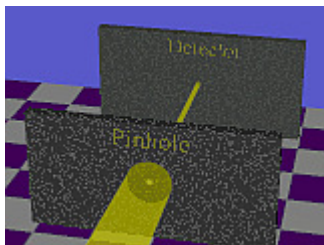
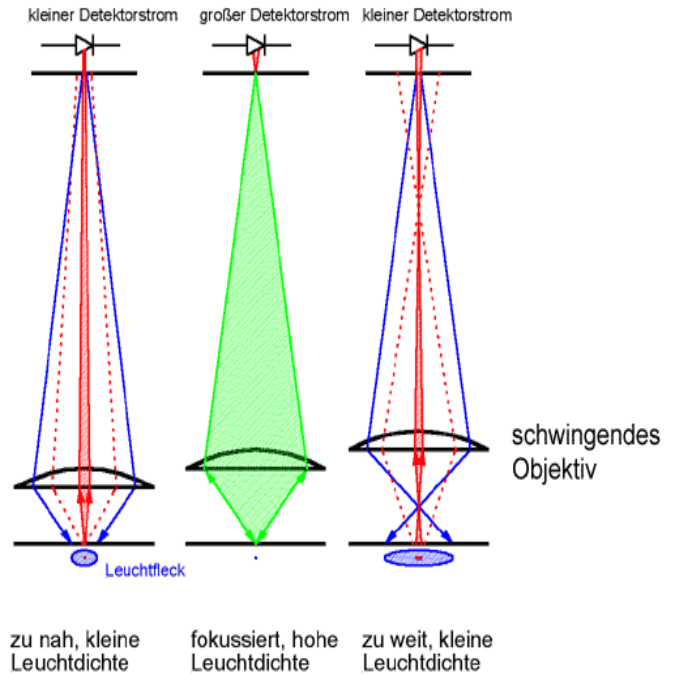


## Konfokalsensor

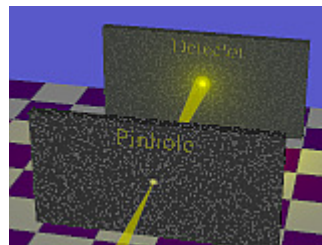
Eine punktförmige Lichtquelle wird über das Abtastobjektiv auf die Oberfläche der Probe abgebildet. Das reflektierte Licht wird vom selben Objektiv eingesammelt und auf den punktförmigen Detektor geleitet.

Wie aus der Skizze ersichtlich ist die Leuchtdichte auf der Oberfläche im Fokus maximal und fällt mit zunehmender Defokussierung rasch ab. Bei der Abbildung zurück wird die beleuchtete Fläche auf den Detektor abgebildet. Bei Defokussierung wird die Strahlung auf eine große Fläche verteilt, die Leuchtdichte auf dem Detektor ist gering. Auch diese Abbildung weist einen quadratischen Intensitätsabfall auf. Insgesamt ergibt sich ein scharf ausgeprägtes Intensitätsmaximum auf dem Detektor, sobald sich die Oberfläche im Fokus befindet.

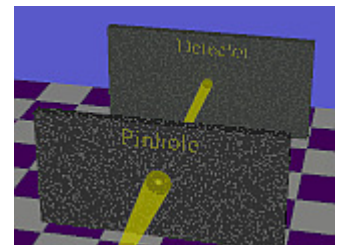
Bei den Konfokalsensoren führt das Abtastobjektiv eine harmonische Schwingung aus. Die Auswerteelektronik erfasst den Zeitpunkt des Signalmaximums und errechnet den zugehörigen Profilwert.



Zu nah, reflektiertes Licht gelangt hinter Blende zum Fokus.



Fokussiert, reflektiertes Licht gelangt innerhalb der Blende zum Fokus.



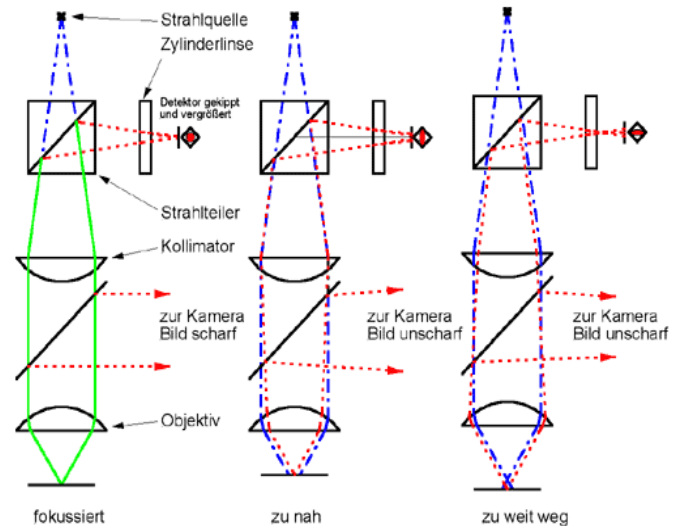
Zu weit, reflektiertes Licht gelangt vor Blende zum Fokus.

## Autofokussensor

Eine punktförmige Lichtquelle wird über das Abtastobjektiv auf die Oberfläche der Probe projiziert. Das reflektierte Licht wird vom selben Objektiv eingesammelt und vom Kollimator wieder zu einem Brennpunkt vereint.

Der zurücklaufende Lichtweg wird vom Strahlteiler ausgekoppelt. Unter dem Einfluß der Zylinderlinse wird der Brennpunkt in zwei zueinander orthogonale Brennlinien aufgespalten. Der Detektor ist mittig zwischen die nominale Position der Brennlinien positioniert. Befindet sich die Oberfläche exakt im Fokus, entsteht auf dem Detektor ein Kreis. Abweichungen von der Fokussierung ergeben eine Ellipse, deren Orientierung und Exzentrizität ein Maß für die Defokussierung nach Betrag und Richtung darstellt.

Die Formabweichung wird über die unterschiedliche Stromverteilung in den vier Quadranten der Photodiode ausgewertet und einem Regelkreis zugeführt. Der Regelkreis bewirkt mittels Verstellung der Objektivlinse die Nachführung des Fokus auf der Probenoberfläche. Die Nachführbewegung des Objektivs wird über einen Glasmaßstab ermittelt und als Meßwert ausgegeben.



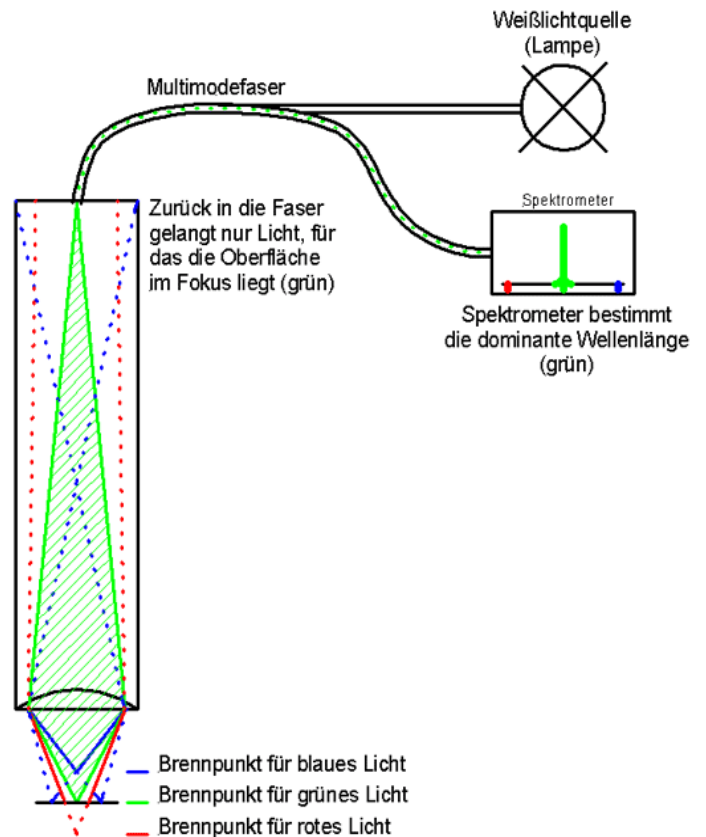
## Weißlichtsensor

Der Weißlichtsensor nutzt die (normalerweise unerwünschte) Abhängigkeit der Brennweite der Objektivlinse von der Wellenlänge des verwendeten Lichts (chromatische Aberration). Licht aus einer breitbandigen Quelle gelangt über den Lichtwellenleiter zum Sensor und wird von der Objektivlinse fokussiert. Die Brennweite der Objektivlinse hängt von der Wellenlänge (Farbe) des Lichts ab, blaues Licht wird stärker gebrochen und gelangt vor rotem Licht zum Fokus.

Befindet sich die Oberfläche innerhalb des Meßbereichs, wird bevorzugt Licht der Wellenlänge in den Lichtwellenleiter reflektiert, für das die Oberfläche im Brennpunkt liegt. Das reflektierte Licht gelangt über den Lichtleiter zum Spektrometer. Dort wird die dominante Wellenlänge bestimmt und in den zugehörigen Profilwert umgerechnet.

Im Gegensatz zu den Konfokalsensoren KF3 und Tele wird beim Weißlichtsensor der Tiefenscan durch die chromatische Längsaberration und ein Spektrometer realisiert.

Der Sensor ist rein passiv.



## Konfokalmikroskop mit rotierender Nipkowscheibe

Ein Konfokalmikroskop verwendet das gleiche Prinzip wie der Konfokalsensor. An Stelle des ortsfesten Einzelpinhole und punktförmigen Emitters tritt jetzt eine Nipkowscheibe, auf der etwa 200000 Pinholes in mehreren winkelversetzten Spiralen angeordnet sind.

Zum Verständnis der Funktion der Nipkowscheibe ist es am einfachsten, zunächst von der stehenden Scheibe auszugehen.

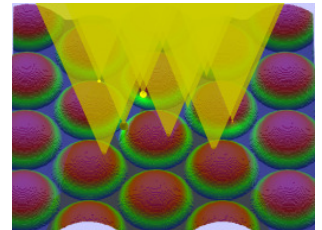
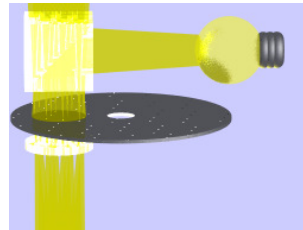
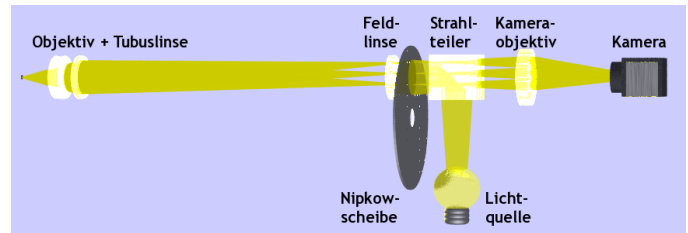
Ein kleiner Teil der Nipkowscheibe von etwa 20mm Durchmesser wird durch eine Lichtquelle beleuchtet. Das Licht tritt durch die beleuchteten Pinholes (etwa 7000 Pinholes gleichzeitig) zur Tubuslinse und Objektiv.

Das Objektiv fokussiert die Lichtkegel zu individuellen, mikroskopischen Punkten.

Alle Teile des Messobjekts, die sich im Fokus der Lichtkegel befinden, empfangen eine hohe Leuchtdichte und reflektieren die Strahlung teilweise zurück in das Objektiv. Das Objektiv fokussiert die Strahlung auf die Nipkowscheibe. Das Licht passiert die Nipkowscheibe durch das selbe Pinhole wie auf dem Weg zum Messobjekt.

Hinter der Nipkowscheibe befindet sich eine CCD-Kamera mit Objektiv, welches die Pinholes scharf auf dem Kamerachip abbildet, die Lichtempfindung eines Kamerapixels hängt vom Strahlungsdurchtritt durch das konjugierte Pinhole ab.

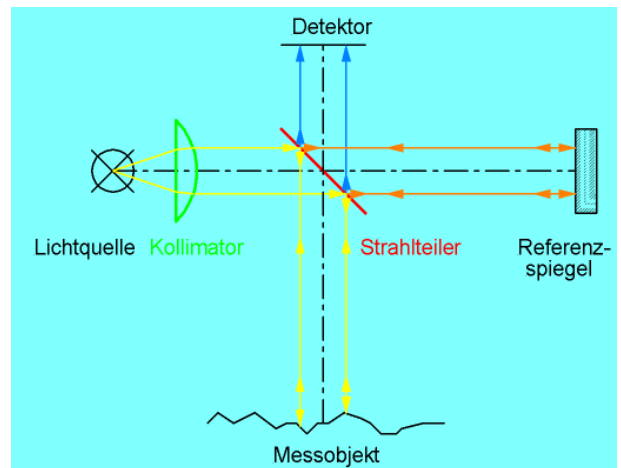
Durch die Drehung der Nipkowscheibe wird nacheinander jeder Teil des Messobjekts und der Kamera beleuchtet. Die Drehung der Nipkowscheibe und die Integrationszeit der Kamera sind synchronisiert, damit alle Pixel des Bildfelds die gleiche mittlere Leuchtdichte empfangen.



## Interferometer

Ein Interferometer besteht im einfachsten Fall aus einer Optik zur Abbildung der Lichtquelle auf die Probenoberfläche und zurück auf den Detektor. Zusätzlich wird aus dem Lichtweg ein Teil der Strahlung als Referenzwelle ausgekoppelt, verzögert, und mit dem von der Probe zurücklaufenden Licht zusammengeführt. Die optische Weglänge von Beobachtungs- und Referenzwelle ist bei scharfer Abbildung der Oberfläche identisch.

Vergößert sich der Abstand zur Probenoberfläche um einen kleinen Wert  $\delta$ , so verlängert sich die Weglänge des Beobachtungsstrahlengangs um  $2\delta$ . Die Weglänge des Referenzstrahlengangs bleibt unverändert. Entsprechend der Wellenlänge  $\lambda$  des verwendeten Lichts bewirkt dies eine Phasenverschiebung von  $4 \cdot \pi \cdot \delta / \lambda$ .



Klassischer Interferometeraufbau

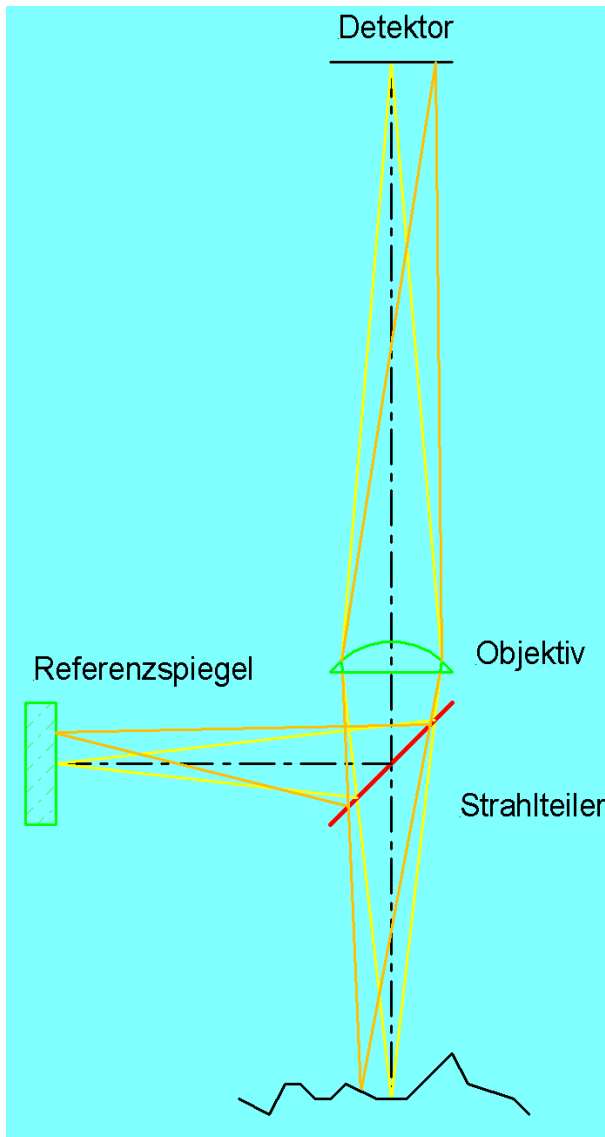
Auf dem Kamerachip überlagern sich die Wellenfronten der Beobachtungs- und Referenzwelle. Entsprechend der Phasenverschiebung addieren oder subtrahieren sich punktweise die Intensitäten der beiden Wellen und führen zu einer sinusförmigen Intensitätsvariation beim Durchfahren des Meßbereichs. Aus der Korrelation zwischen der Sinuswelle und Objektivposition wird die Objekthöhe berechnet.

Bei klassischer Interferometrie wird eine monochromatische Lichtquelle verwendet, Interferenzeffekte treten in einem weiten Bereich um den Bereich scharfer Abbildung auf. Aufgrund der periodischen Eigenschaft der Intensitätsvariation kann die axiale Position eines einzelnen Oberflächenpunkts nur modulo  $\lambda/2$  berechnet werden. Unter Annahme einer Höhenvariation kleiner  $\lambda/4$  zwischen benachbarten Pixeln läßt sich mittels stetiger Fortsetzung (phase unwrapping) das gesamte Oberflächenprofil rekonstruieren. Da sich die Phase sehr rasch mit der Objektivbewegung verändert, ergibt sich eine sehr hohe Auflösung in z-Richtung.

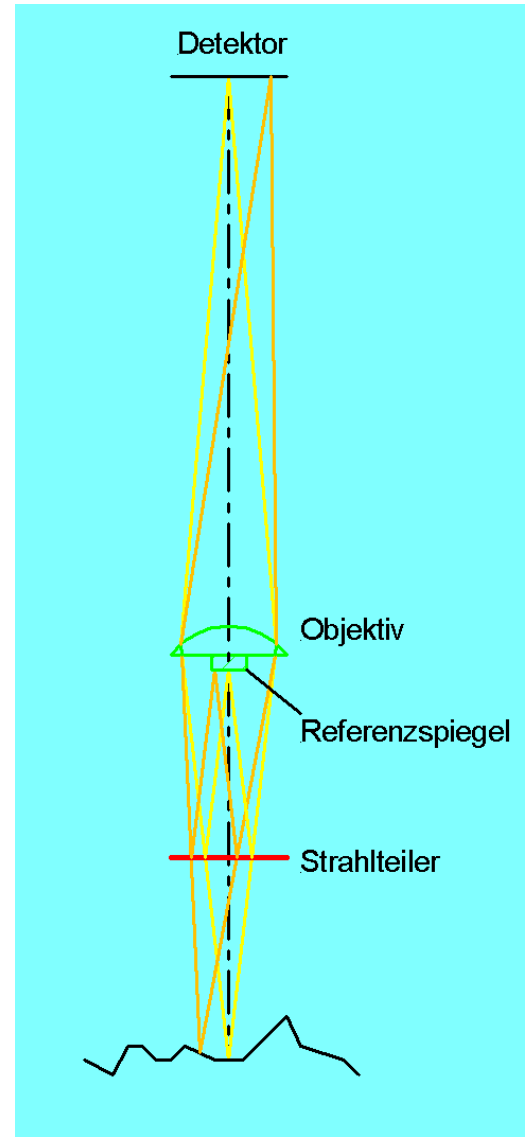
Mit zunehmender Bandbreite der Lichtquelle wird der interferenzfähige Bereich immer schmaler, es entsteht ein Intensitätsverlauf als Multiplikation einer gaußförmigen Einhüllenden und der Sinusschwingung. In unmittelbarer Fokusumgebung weist die Sinusschwingung maximale Amplitude auf und fällt danach je nach Bandbreite der Beleuchtung mehr oder minder schnell ab. Aus der Einhüllenden kann ohne die Eindeutigkeitsprobleme der klassischen Interferometrie die Profilhöhe bestimmt werden. Für eine hohe axiale Auflösung ist ein schmaler Verlauf der gaußförmigen Einhüllenden vorteilhaft. Bei entsprechend breitbandiger Beleuchtung (Glühlampenlicht) ist der interferenzfähige Bereich nur einige  $\mu\text{m}$  weit. Dieses Verfahren wird als kurzkohärente Interferometrie oder Weißlichtinterferometrie bezeichnet.

Durch Kombination der Algorithmen von klassischer und kurzkohärenter Interferometrie können die Vorteile hoher Auflösung und Eindeutigkeit der Profilrekonstruktion miteinander verbunden werden.

Bei unseren Interferometern führt das Objektiv oder das Meßgerät eine lineare Bewegung durch den Messbereich aus. Die Auswerteelektronik erfaßt für jedes Pixel den Intensitätsverlauf und errechnet daraus den zugehörigen Profilverwert und Interferenzkontrast.



Michelson-Objektiv



Mirau-Objektiv

Der Kern des Interferometers, die Abspaltung und Kombination der Referenzwelle, wird im austauschbaren Objektiv realisiert. Dabei kommen zwei Anordnungen zum Einsatz. Beim 2.5x und 5x Objektiv wird ein Michelson-Aufbau verwendet, bei höheren Vergrößerungen eine Anordnung nach Mirau.