

Digitale Objekterfassung

Digital object acquisition/ digital object recording

Modul 3 / WS 1

Prof. Dr. Mona Hess und Dr.-Ing. Maria Chizhova

Kontakt: Mona.Hess@uni-bamberg.de

Twitter: [@Mona3Dimaging](https://twitter.com/Mona3Dimaging)



Institut für Archäologische
Wissenschaften,
Denkmalwissenschaften
und Kunstgeschichte



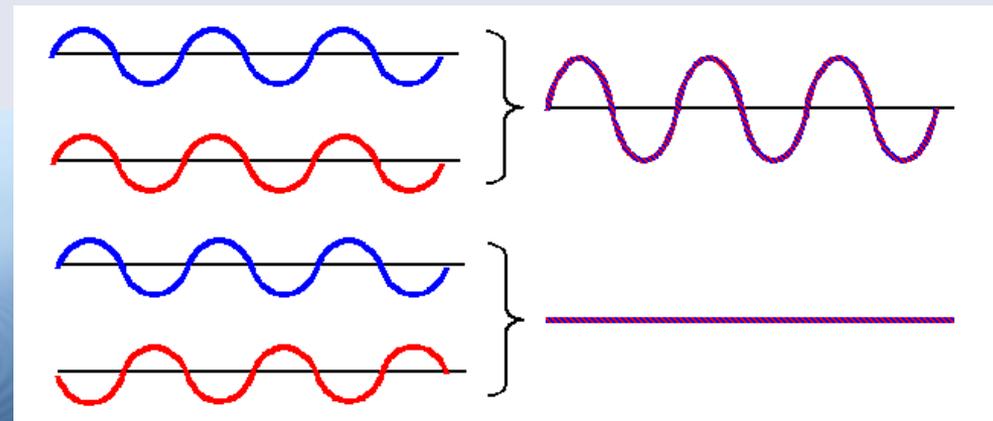
Inhalte dieser Vorlesung

- Interferometrie
- Lasertracking
- Kontakt-Scanning

Interferometrie

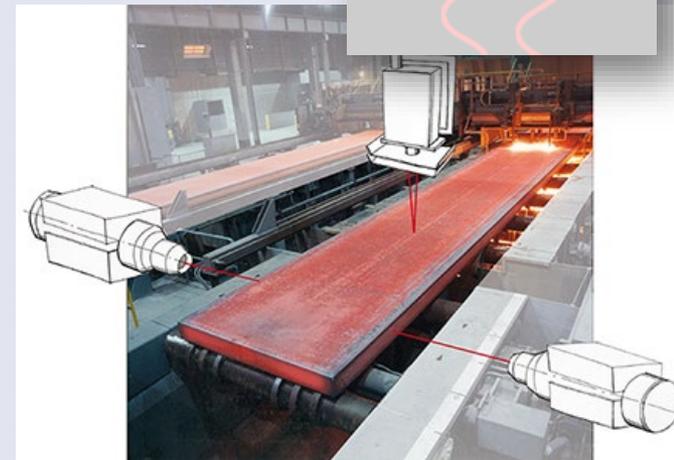
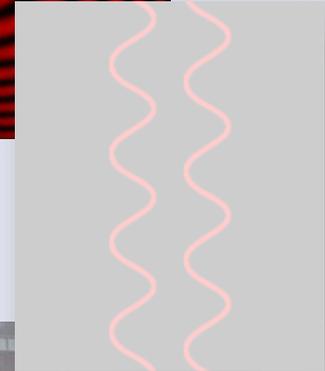
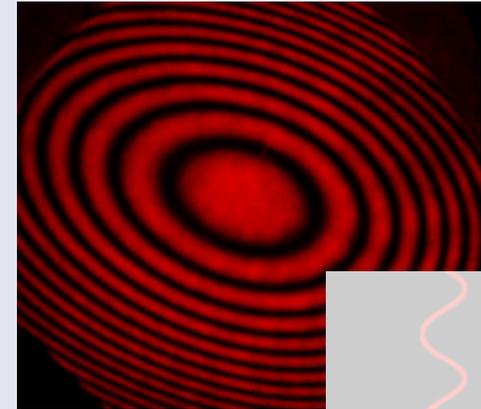
Interferenz

- Interferenz - Änderung der Amplitude bei der Überlagerung von zwei oder mehr Wellen
- Relevant für:
 - Elektromagnetische Wellen (Licht)
 - mechanischen Wellen (Schallwellen, Wasserwellen)
- Interferenzergebnis: Amplitudenmaximum oder Minimum



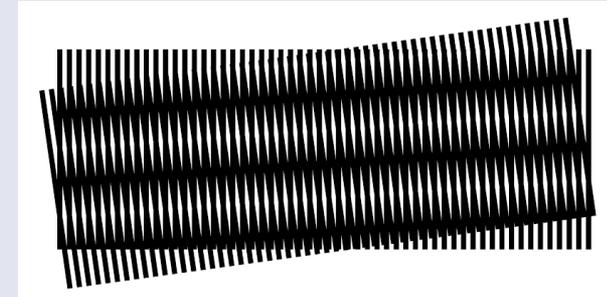
Interferometrie - Überblick

- **Interferometrie** - Messverfahren, welches allgemein auf der Interferenz von Wellen beruht.
- Interferenz - Änderung der Amplitude bei der Überlagerung von zwei oder mehr Wellen
- Eingesetzt:
 - hochgenaue Streckenvermessung (mit Verschiebung bis 50m)
 - Mikrostrukturvermessung (*nm*-Bereich)
 - Qualitätssicherung
 - Oberflächenvermessung
 - Spektroskopie (Strahlungszerlegung nach einer bestimmten Eigenschaft)
 - Geschwindigkeitsmessung

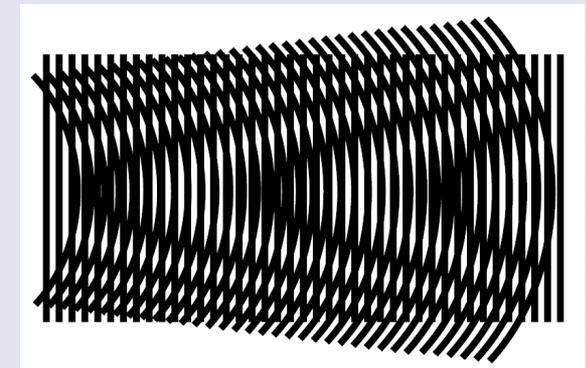


Analyse des Interferenzmusters

- Interferenzmuster ist die Abbildung der Lichtintensität auf dem Beobachtungsschirm (Sensor)
- Analysiert werden:
 - Lichtintensitätswerte (max, min)
 - Musterform (z.B. nach dem Wellenfront = max)
 - Phasenunterschied zweier Wellen
- In der Messtechnik wird kohärentes Licht (z.B. Laser verwendet), das
 - höhere Genauigkeit und
 - einfachere Berechnung nachweist



Interferenz zweier ebener Wellen

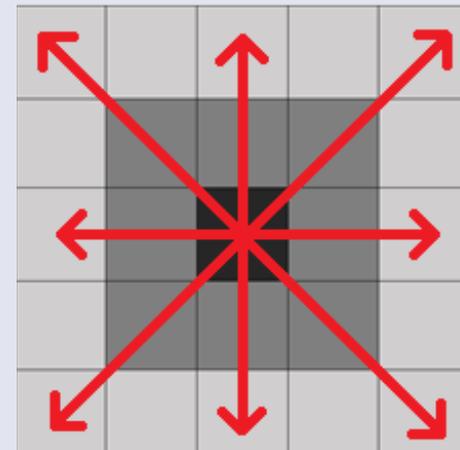
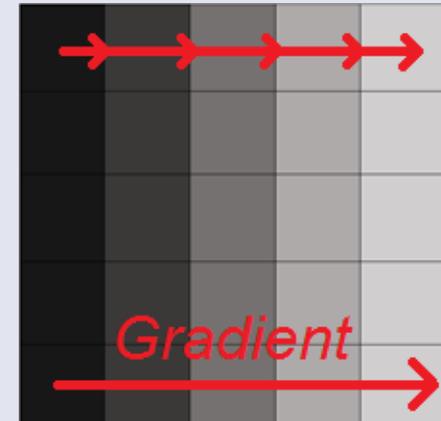


zwei Wellen mit ebener und gekrümmter Wellenfront

Welche Infos enthält Lichtmuster?

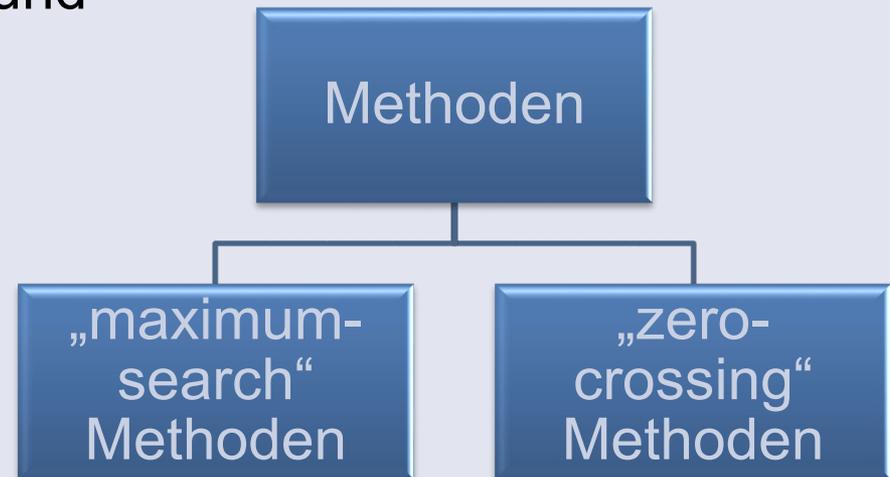
- **Intensität** - Leistung elektromagnetischer Strahlung
- **Helligkeit**
 - Stärke der Sensorwahrnehmung von sichtbarem Licht
 - Vergleichsfarbe von Referenzweiß zu Referenzschwarz
- **Grauwert** – Maß zur Helligkeits- oder Intensitätschätzung des Bildelementes
 - Grauwert = $0,299 \times \text{Rotanteil} + 0,587 \times \text{Grünanteil} + 0,114 \times \text{Blauanteil}$
- **Gradient** - zweidimensionaler Vektor, dessen Komponente die Helligkeitsableitungen in vertikaler und horizontaler Richtungen sind
- **Ableitung** - Quotient von den Steigungen der Pixelgrauwerte in y und x-Richtungen

$$dl = dy/dx$$



Kantenextraktion

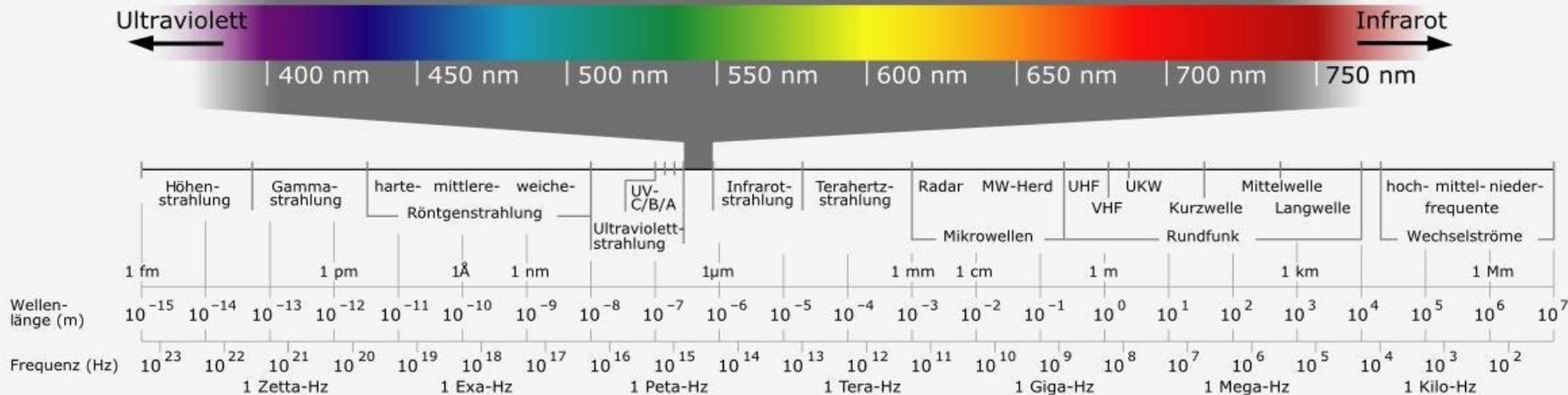
- Kante - Kurven und Geraden auf den Bildern, die entlang heftige Veränderung der Helligkeit und anderer Ungleichartigkeiten passiert:
- Faktoren:
 - Helligkeit
 - Farbe
 - Szenentiefe
 - Oberflächenorientierung



Funktionsbereich

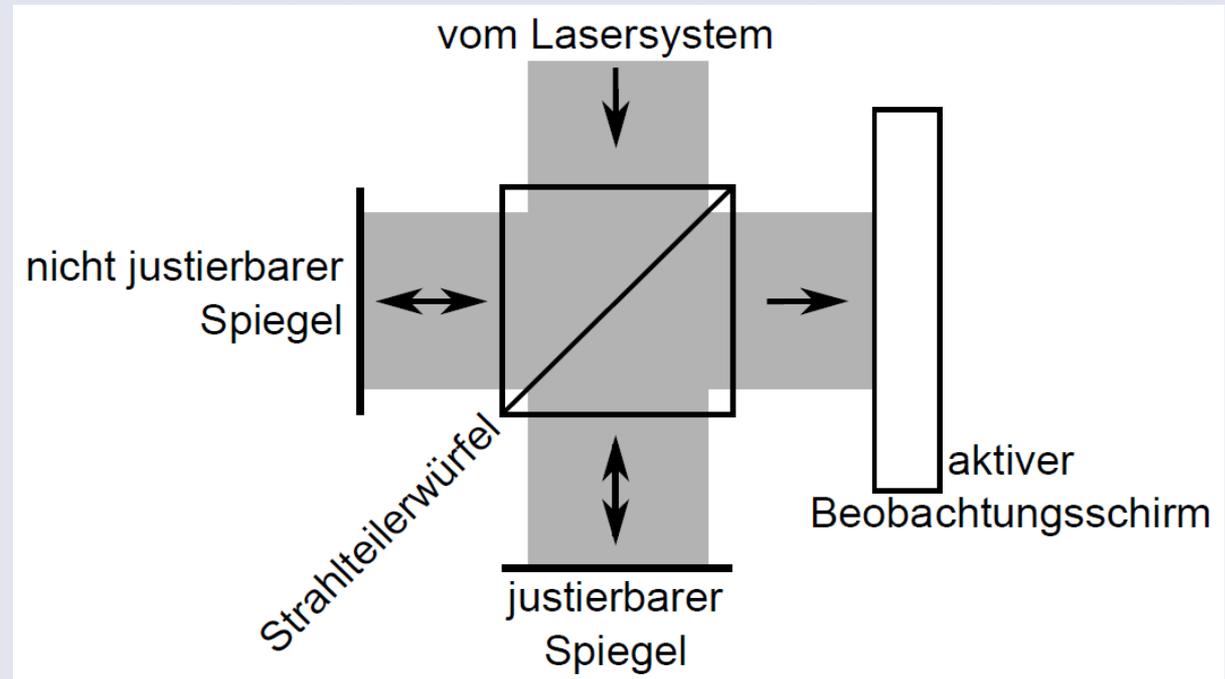
- Wellenlänge:
 - Sichtbarer Bereich (380 nm → 760 nm)
 - Radiowelleninterferometrie (Bestimmung der Radioquellen)
 - Neutroneninterferometrie (Messung von Streuamplituden)

Das für den Menschen sichtbare Spektrum (Licht)



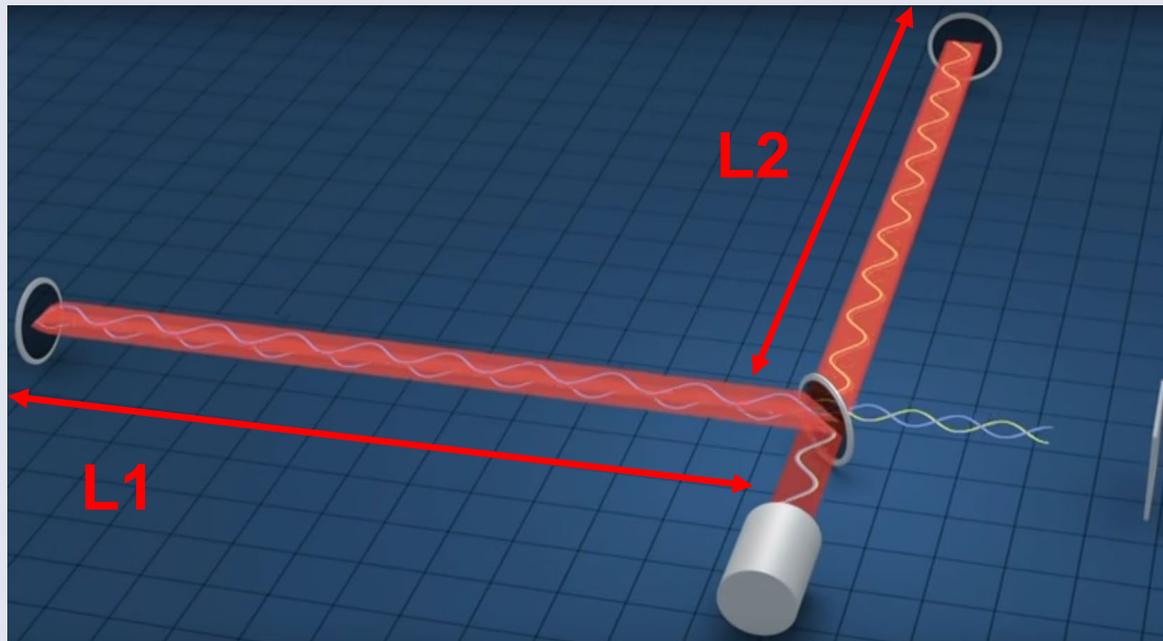
Michelson–Interferometer als Standard

- Aufbau
- Laser
- 2 Spiegel
- Sensor



Interferometrische Längenmessung

- Zweistrahl-Interferometerprinzip (s. Michelson-Prinzip)
- Strahl → durch optischen Strahlteiler verteilt
- Reflektierte → Strahlbündel Detektor



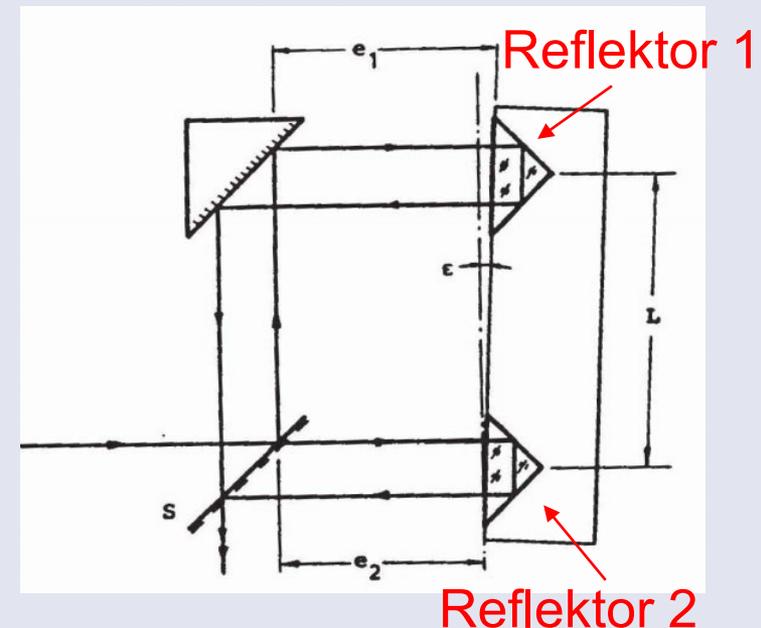
Interferometrische Winkelmessung

- Winkeländerungen bewirken in einer interferometrischen Anordnung eine optische Wegänderung (L) zwischen den beiden Reflektoren.
- Der optische Wegunterschied ist

$$e_1 - e_2$$

- Der Winkel berechnet man:

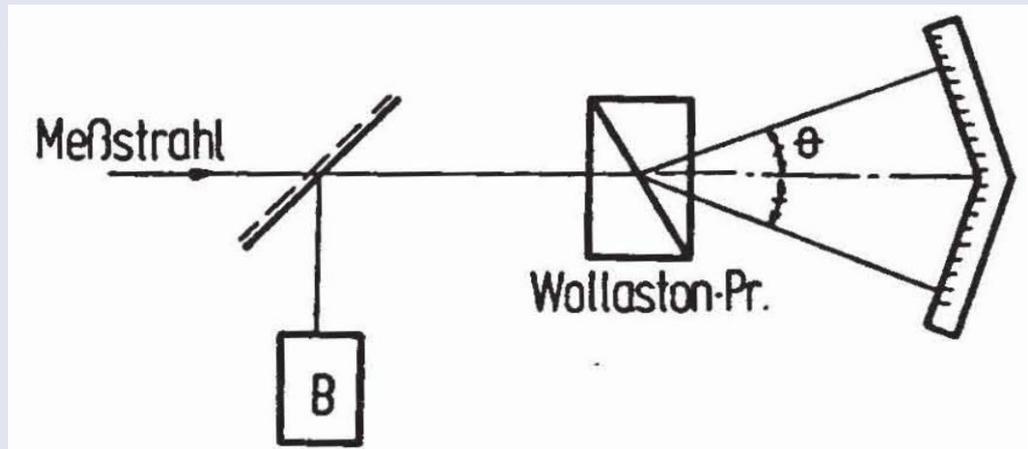
$$\tan \varepsilon = \frac{e_1 - e_2}{L}$$



Interferometrische Geradeheitsprüfung

- Aufgaben industrieller Prüfungen:

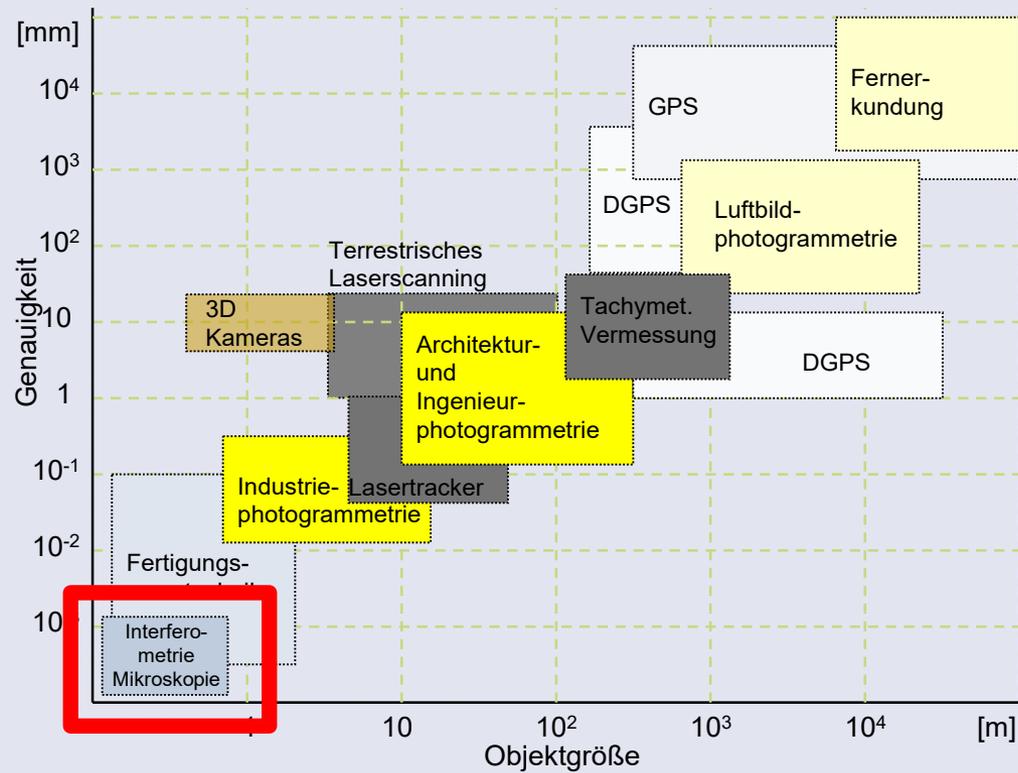
- Geradheit
- Abstandsgleichheit
- Rundlauf
- Ebenheit
- Fluchtung
- Parallelität
- Rechtwinkligkeit



- Geradeheitsinterferometer:

Zwei-Frequenzen-Interferometers mit externer Interferenzoptik

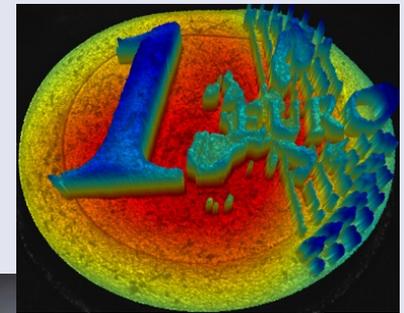
Genauigkeit von 3D-Messverfahren



messverf1.ppt

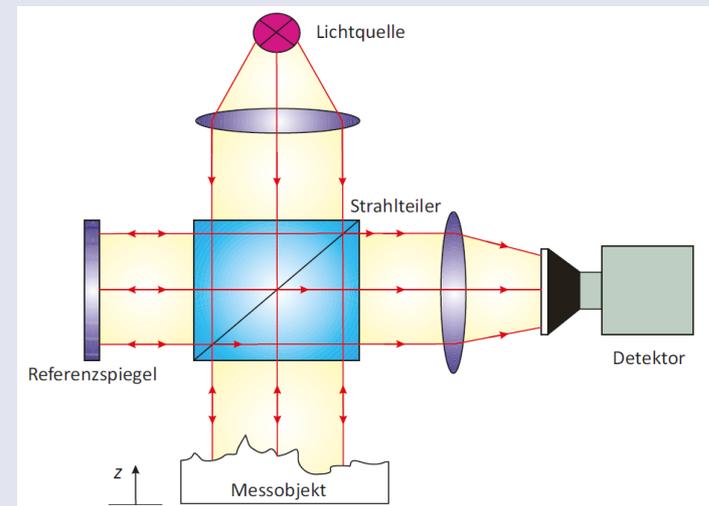
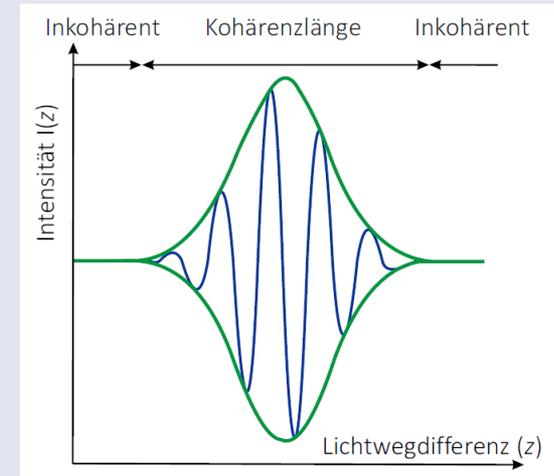
Weißlichtinterferometrie

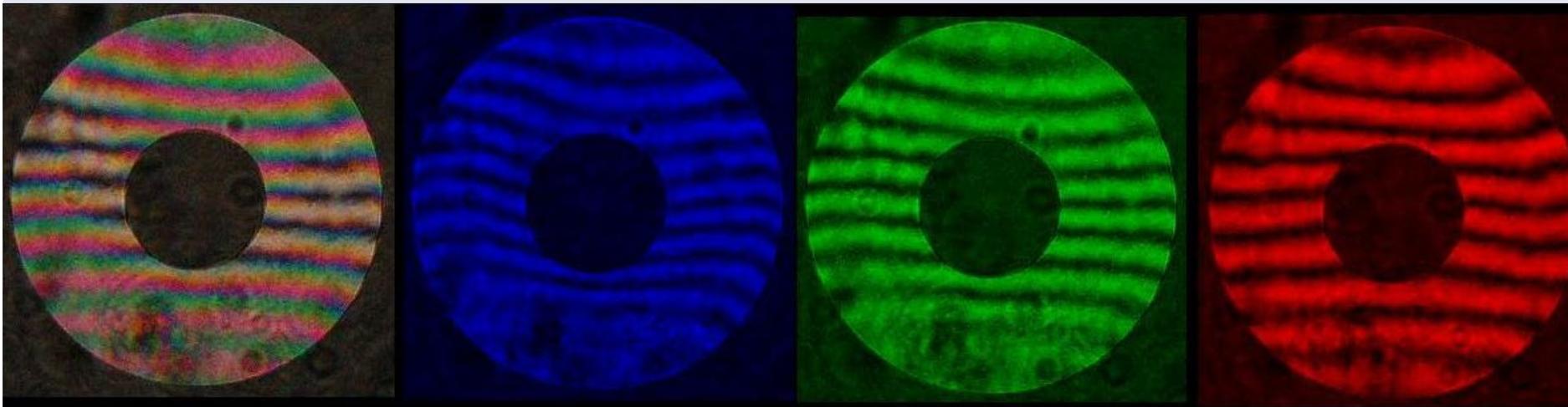
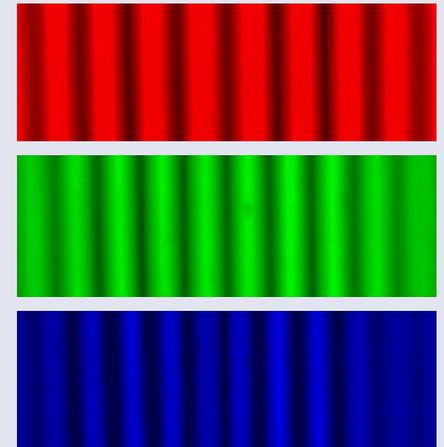
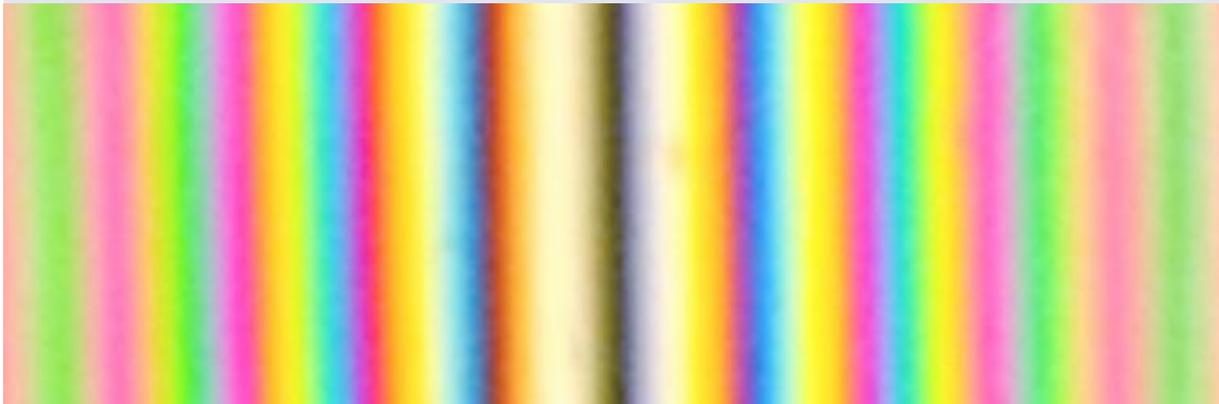
- Verwendet wird Weißlicht (Licht aus einer Mischung unterschiedlicher Farben, z.B. Tageslicht)
- Lichtwellen: zeitlich und räumlich kohärent
- Lichtquellen (mit extrem kurzer Kohärenzzeit):
 - Halogen-,
 - Entladungslampen,
 - LEDs
- lateraler Messbereich:
0,3 mm² und 50 mm²
- vertikaler Messbereich:
nm bis zu 40 mm.



Messprinzip

- Parallel geführter Lichtstrahl → in zwei Wege aufgespalten.
 - Mit dem 1. Strahl → Beleuchtung der Objektoberfläche
 - Der 2. Strahl → zum Referenzspiegel abgelenkt
- Nach der Reflexion (vom Referenzspiegel+ Objektoberfläche) → beide Strahlen werden
 - überlagert und
 - zum Detektor geleitet
- Für jedes Pixel im Detektor (Sensor) → Interferogramm (Intensitätswert)
- Intensitätswerte → Höheninformationen → Oberfläche



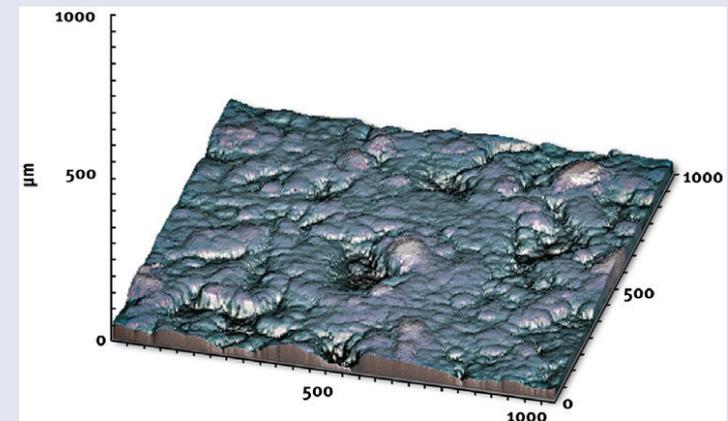
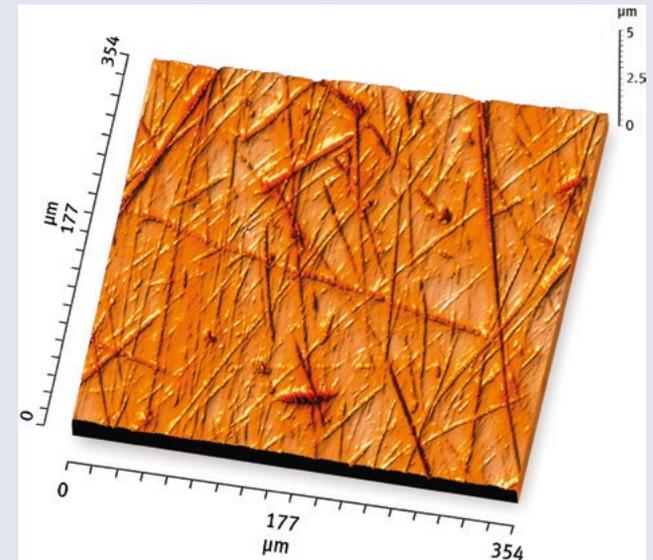
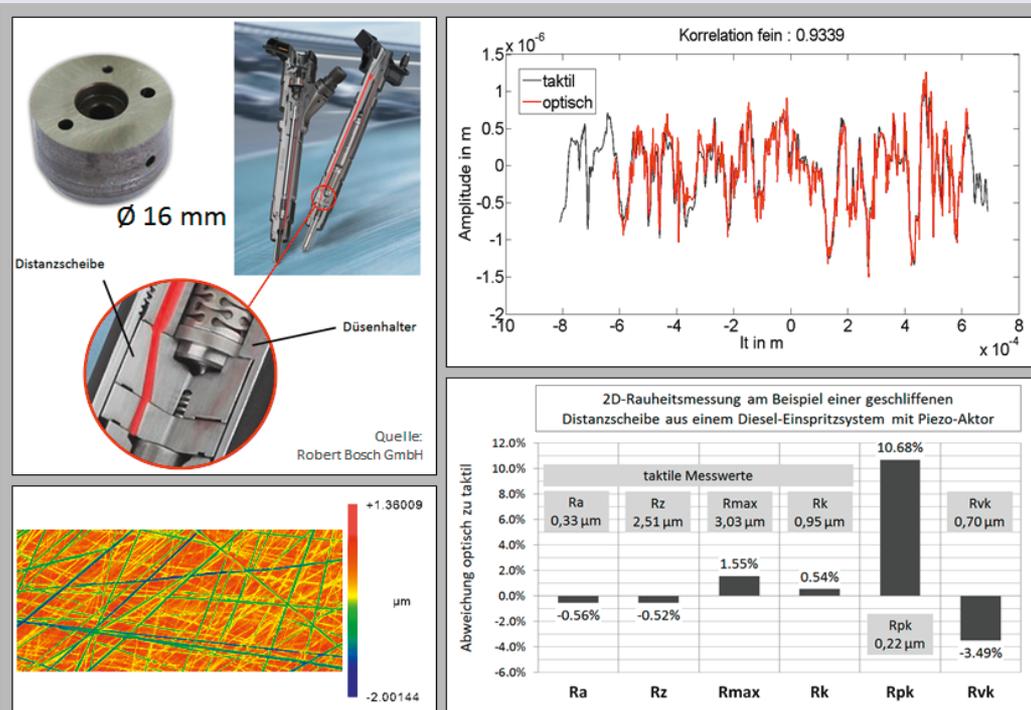


Interferometertypen

- Bath-Interferometer
- Mach-Zehnder-Interferometer
- Twyman-Green-Interferometer
- Rayleigh-Interferometer
- Sagnac-Interferometer
- Interferometric Synthetic Aperture Radar
- Fabry-Pérot-Interferometer
- Fizeau-Interferometer

Anwendungsbeispiele

- Oberflächenuntersuchungen
- Qualitätskontrolle



Features

Vorteile

- Keine Abschattungen
- extrem hohe Genauigkeit
kleiner Messfleck
- Rauheitsuntersuchungen
möglich
- kompakt (leicht transportabel)
- keine gefährliche Strahlung

Nachteile

- Keine absolute Messung
- Messung automatisierbar
großflächige Vermessung nicht
wirtschaftlich
- nicht für alle Oberflächen
(diffus streuend)
- kleiner Abstand zum
Messobjekt
- Schwingungsisolierung
erforderlich

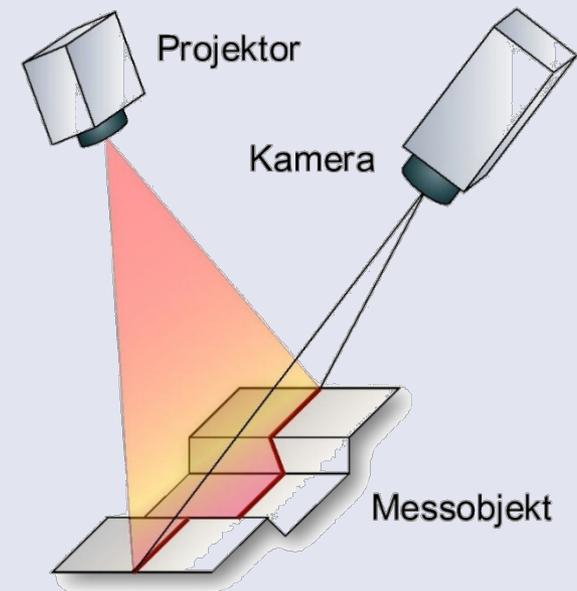
Lasertracking

Tracking

- Optisches Tracking durch Kameras: Mobile CMM (Coordinate Measurement Machine)
- Mechanisches tracking
 1. CMM Arm mit sechs Graden der Freiheit (6DOF or robotic)
 2. Goniometrisch bewegter Spiegel (evtl Zusammen mit Drehtisch)
 3. Translation stages / Verschiebungsmotor (vertikal / horizontal / Drehung)
- Selbst-platzierende Aufnahme durch Messpunkte (Self-locating scan head through irregularly placed targets on the surface of the object)

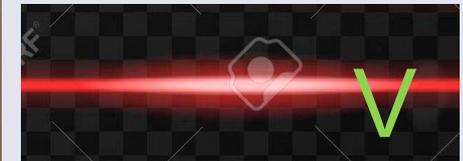
Lichtschnittverfahren

- Das Lichtschnitt-Verfahren (auch Laserscanning-Verfahren) beruht auf dem Triangulationsprinzip.
- Lichtvorhang durch Aufweitung des Laserstrahls mittels einer speziellen Zylinderlinse oder durch einen oszillierenden Spiegel erzeugt.
- Beim Lichtschnitt-Verfahren wird der von der Punkt-triangulation bekannte Zeilensensor durch einen Matrixsensor ersetzt.
- Mit Hilfe von Bildverarbeitungsalgorithmen wird die Lage der diffus vom Messobjekt rückgestreuten Lichtlinie auf dem Matrixsensor ermittelt.
- Die Berechnung des Abstands von Laserlichtschnittsensor zur Messobjektoberfläche erfolgt analog zum Punkttriangulations-Verfahren mit der Erweiterung von der punktuellen zur Linien-Auswertung.



Generierung des Lichtmusters (I): Laserinterferenzverfahren

- Laserinterferenzverfahren
 - Emission von 2 planaren Laserstrahlen
 - Schätzung der Interferenzergebnisse eines regulären Linienmusters.
- Winkel zwischen Laserstrahlen ändern = unterschiedliche Mustergrößen

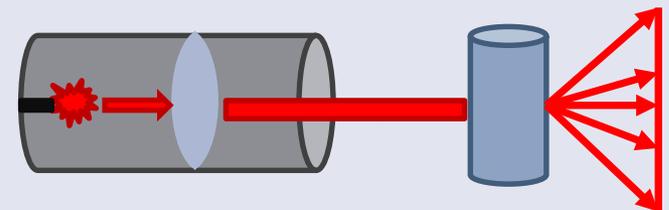


Vorteile

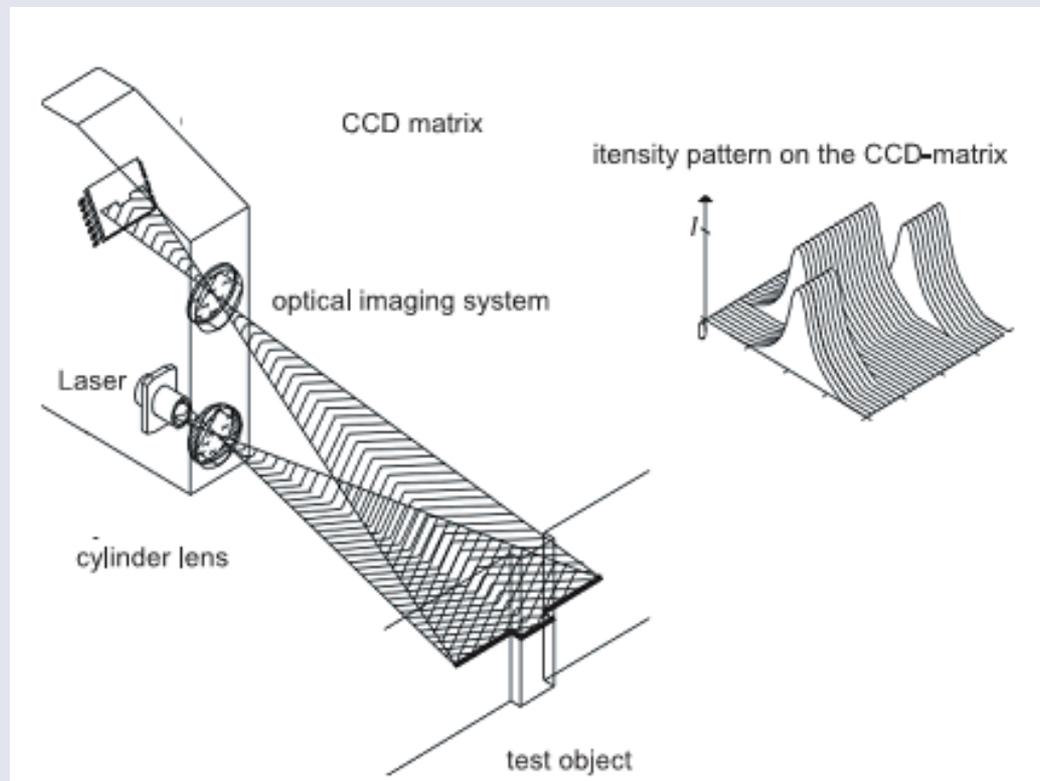
- Unbegrenzte Schärfe
- Genauigkeit

Nachteile

- Laserrauschen
- Keine ideale Strahlgeometrie
- Teuer



Laser scanning durch Triangulation



- Abschnitt 3.2.1, Verband deutscher Ingenieure. VDI/VDE 2617- Blatt 6.2:2007 - Genauigkeit von Koordinatenmessgeräten. Kenngrößen und deren Prüfung. Leitfaden zur Anwendung von DIN EN ISO 10360 für Koordinatenmessgeräte mit optischen Abstandssensoren. 2007.

Zusammenfassung Systemkomponenten und Spezifikationen

- Systemkomponenten:
 - handgeführter Scankopf basieren auf Triangulationssystem mit Linienscannen mit optimalen Abstandshalter zum Objekt (Linie zu Punkt)
 - Verbunden durch Kabel zum Terminal und Laptop (Strom und Daten)
 - Verbunden zur mobilen Koordinatenmessmaschine durch LED tracking, Ihrerseits Triangulationsbasiert , Stromverbindung
 - Kann aber muss nicht Touchprobe haben

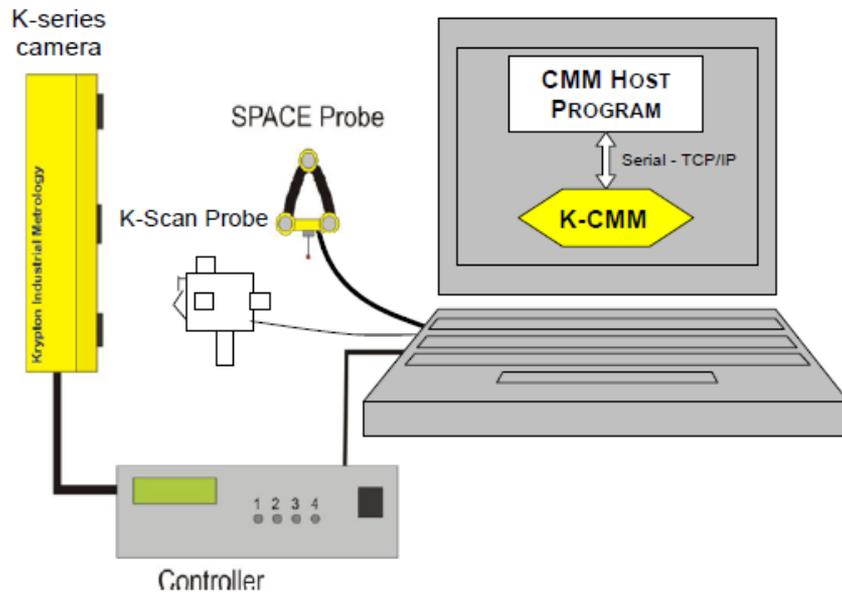


figure 1: Lay-out 'Measurement system - K-CMM - CMM host program'

Bild: Nikon Metrology MMDx and K-CMM Manual, 2006

T-Scan

Leica



Steinbichler , jetzt Zeiss



Arbeitsablauf 3D Laserscanning/Triangulation

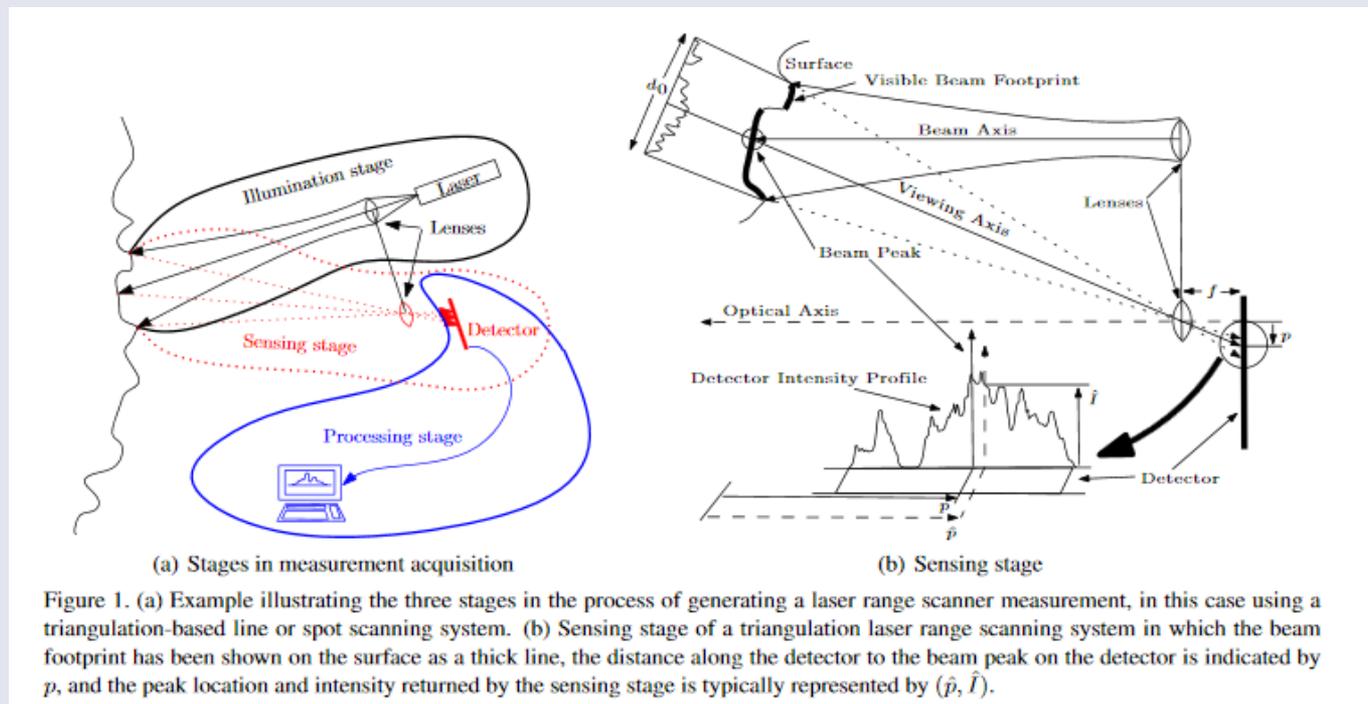
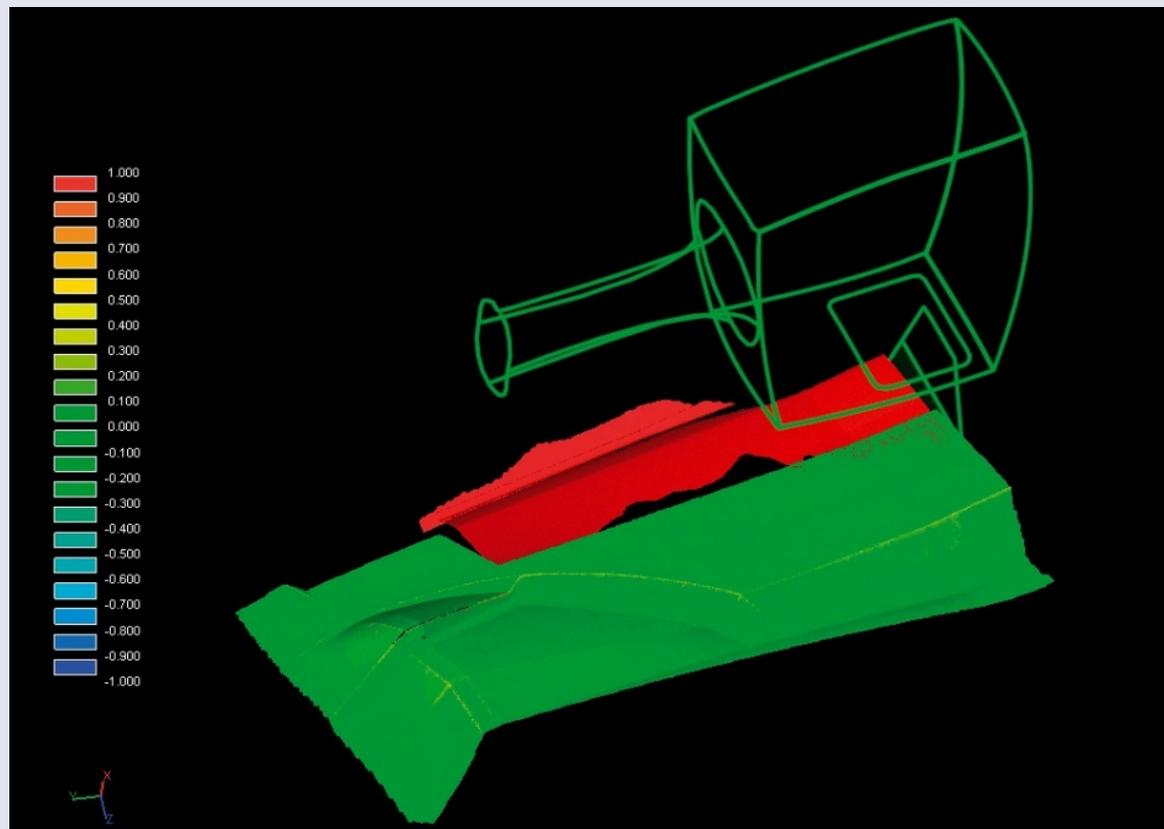


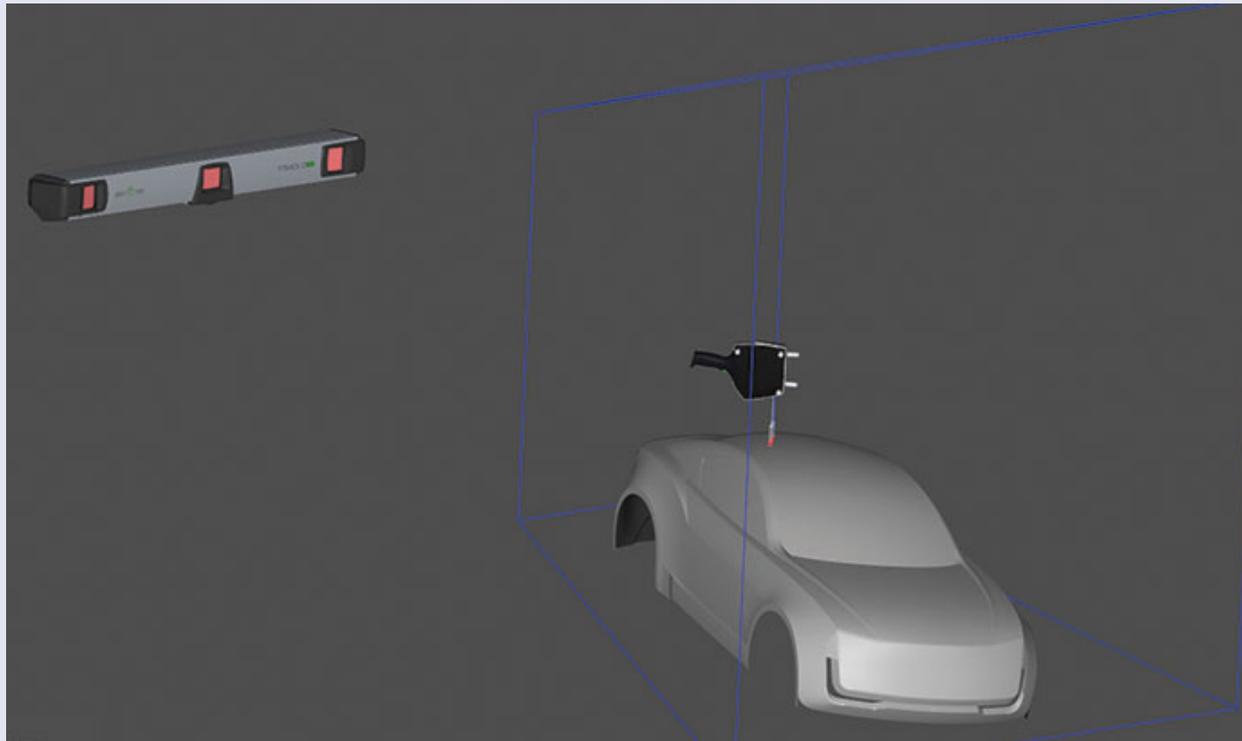
Figure 1. (a) Example illustrating the three stages in the process of generating a laser range scanner measurement, in this case using a triangulation-based line or spot scanning system. (b) Sensing stage of a triangulation laser range scanning system in which the beam footprint has been shown on the surface as a thick line, the distance along the detector to the beam peak on the detector is indicated by p , and the peak location and intensity returned by the sensing stage is typically represented by (\hat{p}, \hat{I}) .

Beraldin J-A, MacKinnon D, Cournoyer L, Blais F. Evaluating laser spot range scanner lateral resolution in 3D metrology. In: 21st Annual IS&T/SPIE Symposium on Electronic Imaging. San Jose, USA; 2008.

Messverfahren T-Scan: Streifen über die Oberfläche in Real-time



Mobile Koordinaten Messmaschine: Messbereich – LED tracking



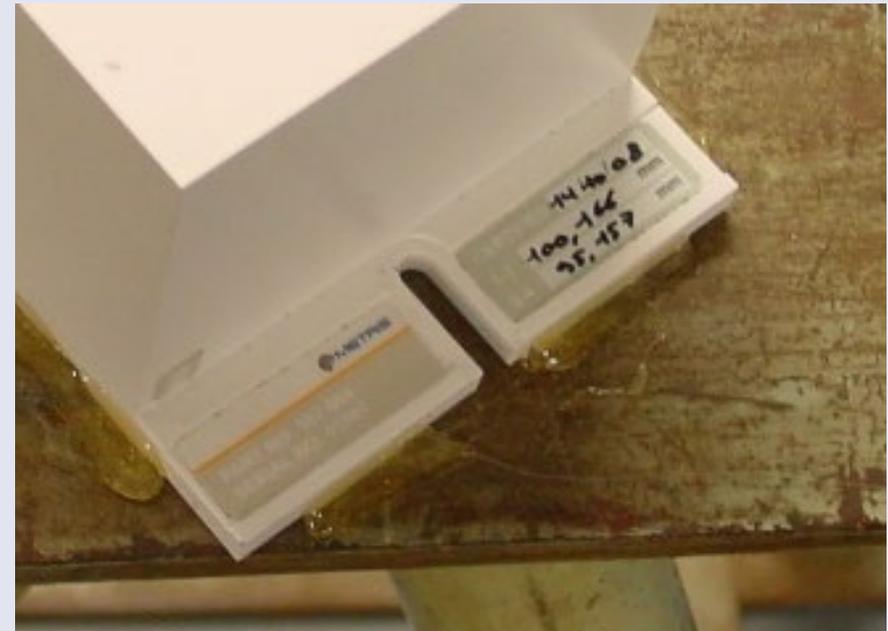
<http://optotechnik.zeiss.com/produkte/3d-digitalisierung/laserscanner-t-scan-cs>

Kalibration Handheld 3D laser scanning, tracked

Prüfkörper



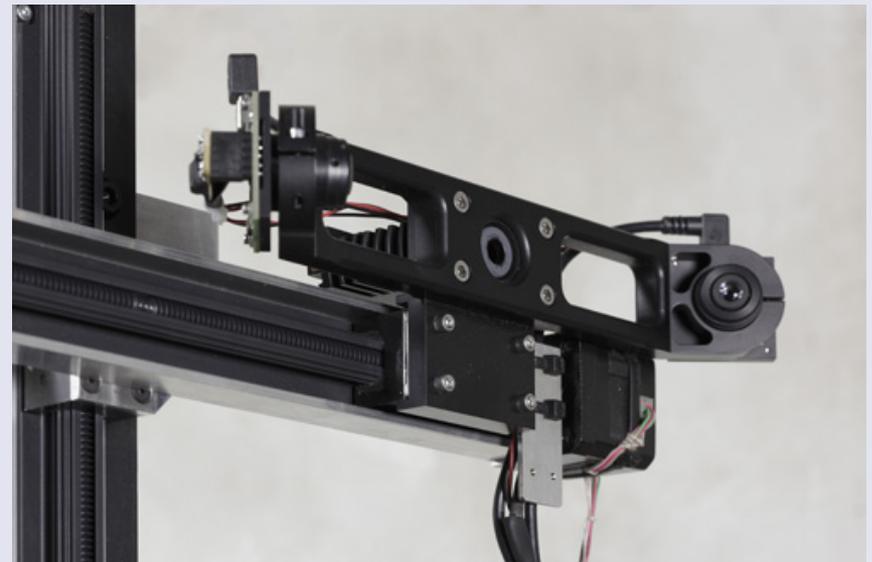
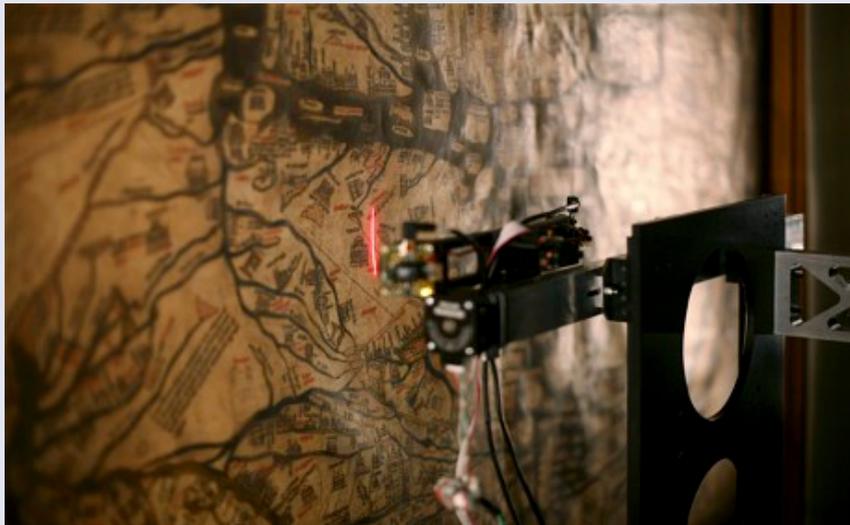
Abgenommene Kalibration



Mechanisches Tracking (translation stage/Verschiebepöühne)

Example for a laser line scanner with movement via a translation stage.

Left: 3D surface scanning of the Hereford Mappa. Right: Lucida scanner, laser line and two cameras, achieving 50microns point spacing aimed at conservation (Factum Arte and Frangelo, 2015). Image: FactumArte.



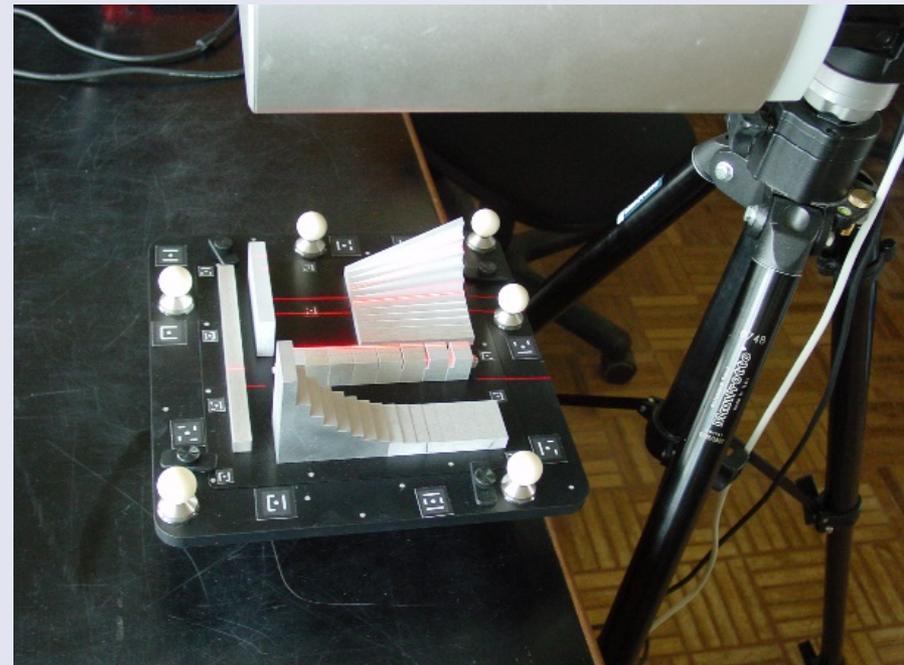
Mechanisches Tracking (arm-basiert)

Example for arm based orientation for the 3D laser line scanner (Zephyr). Arm-CMM is a model Baces. Professional metrology lab. Testobject by Dr Mona Hess.



Mechanisch: Bewegter Spiegel der die Laserlinie über das Objekt führt , hier in Kombi mit Drehtisch

Laser line scanner with mechanical orientation, mirror movement of laser line over the object. Model: Medium priced Nextengine laser scanner. Test object by Dr Mona Hess.



Handgeführt und optisch getrackt: Anwendungsbeispiel im Museum: British Museum War Canoe

Example for the use of an optically tracked 3D laser triangulation scanner. The handheld Nikon MMDx handheld sensor with a Krypton K-Scan mobile CMM is used on the 12 metre long British Museum war canoe. Left: Scan head, right: mobile CMM tracking the scan head.



Nikon MMDx am Scanarm (7-achs , 7DOF)



<http://cmmquarterly.blogspot.de/2012/09/nikon-metrology-introduces-premium.html>

Handgeführt und optisch getrackt: Anwendungsbeispiele in der Denkmalpflege: Bamberger Reiter

FORMAT  PLUS



Video. Beispiel für die Anwendung



Video. Beispiel für die Anwendung

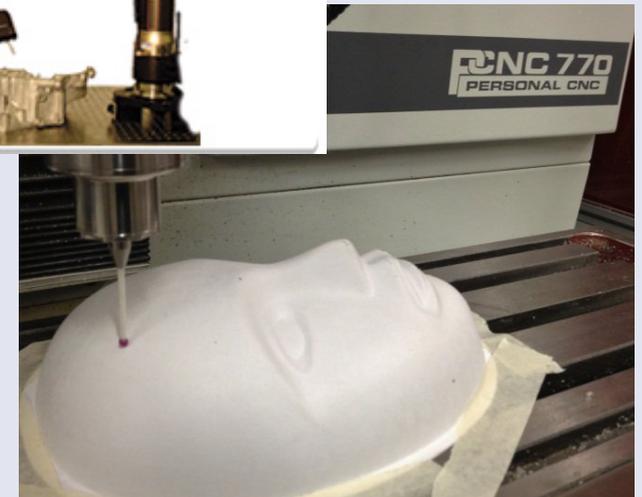


https://www.youtube.com/watch?v=_k5-GyAkrNg

Kontakt-Scanning

Kontakt-Scanner

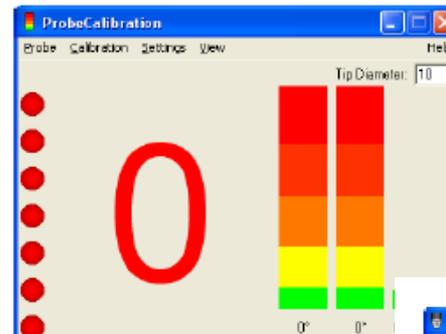
- Ein Kontakt-Scanner tastet **physisch** die Punkte (*point-of-interest*) der Objektoberfläche
- Ist statisch aufgebaut
- Der abgetastete Objekt wird auf einer unbeweglicher/beweglicher Plattform
- Genauigkeit – bis **7 μm**



Kalibration Koordinatenmessmaschine

Kalibrierter Länge Und Tochprobe

When *ProbeCalibration* is started, you'll see the following window



K-Reference Bar

To be able to calibrate the camera, you need tripod.



figure 7: The K-Reference Bar + tripod

Measured Position	Length (mm)	Deviation (mm)
Z	1549.495	0.176

Current Measurement

Nominal Length: 1549.319

in position Z

Take Point 1/2

Change Camera Orientation

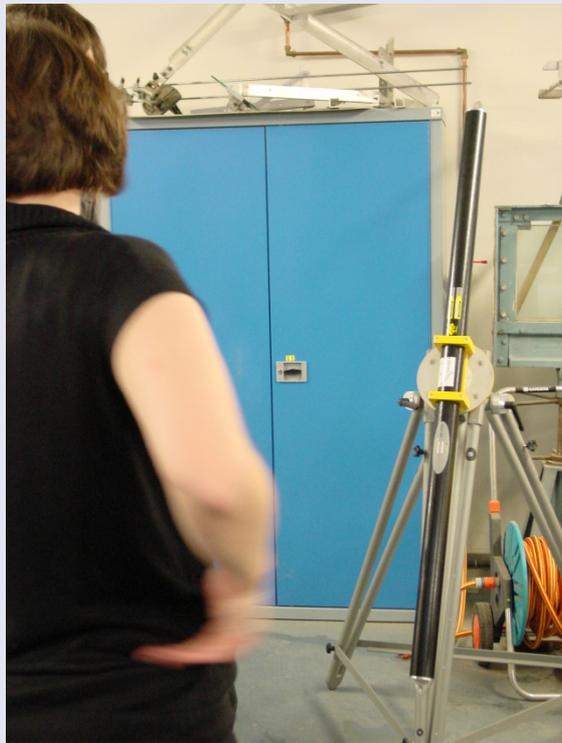
< Back Next >

Delete position Cancel OK

figure 37: Current measurement result

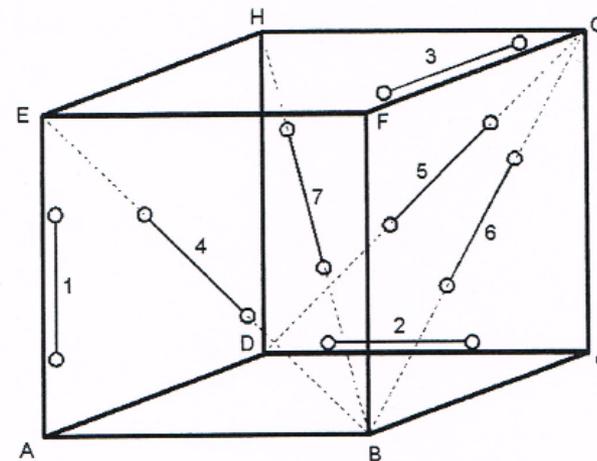
figure 34: K-Reference main window

Deutscher Titel: Optische 3D-Messsysteme - Systeme mit flächenhafter Antastung, VDI2634 Blatt 2



VDI/VDE 2634 Blatt 2 / Part 2

All rights reserved © Verein Deutscher Ingenieure, Düsseldorf 2002



Anwendungsbeispiel Touch-probe

