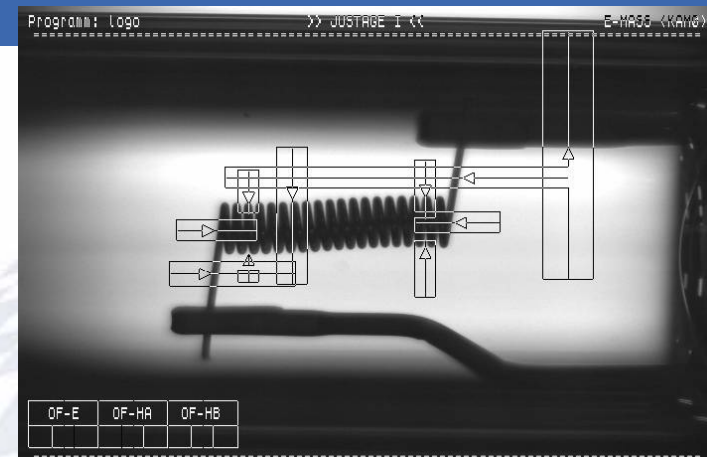


Maschinelles Sehen in Maschinenbau und Automatisierungstechnik

Messen mit Bildverarbeitung



Referent: Dipl.-Ing. Ingmar Jahr
Vision Academy
Erfurt

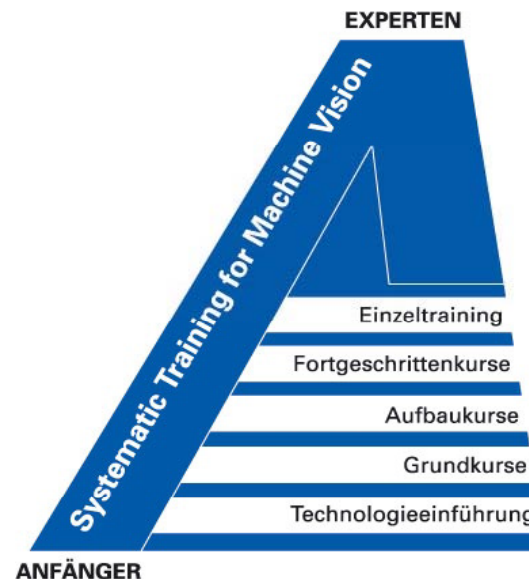
Inhalt

- Referent und Unternehmen
- Typische Aufgaben Industrieller Bildverarbeitung / Anwendungsbranchen
- Warum Messen mit Bildverarbeitung
- Besonderheiten beim Messen mit Bildverarbeitung
- Einflüsse in der Signalkette
- Erprobte Aufbauten und Prinzipien
- Beispiele

Vision Academy – die erste zertifizierte Aus- / Weiterbildungsstätte für Machine Vision!

Die Vision Academy - produktunabhängig und neutral zur praktischen Vermittlung von Machine Vision Know-How.

- Gründung 2001 in Weimar, seit 2006 in Erfurt
- 10-jährige Trainingserfahrung
- 1-tägige bis 4-wöchige Trainings
- ca. 400 Schulungsteilnehmer pro Jahr
- zwei Schulungsräume
- zwei Konferenzräume (50 / 150 Personen)
- hervorragende Infrastruktur
- ISO zertifiziert



Typische Aufgaben industrieller Bildverarbeitung

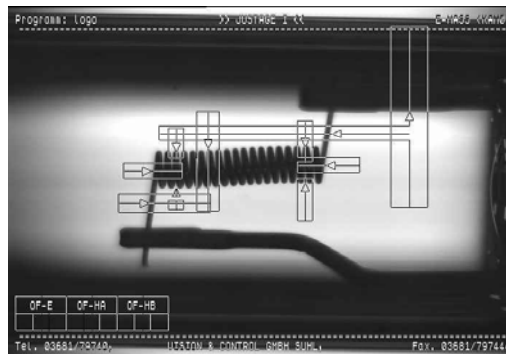
Prüfaufgabe

maßliches Prüfen (Messen)

Längen, Breiten, Höhen, Abstände
Winkel, Orientierung
Größen
Flächeninhalte, Schwerpunkte
Gerad-, Rundheiten
Formen, Konturen

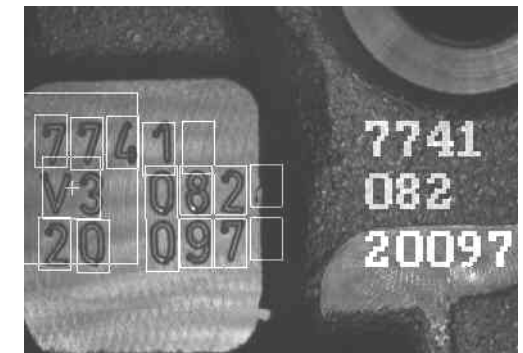
Helligkeiten
Farben

...



nichtmaßliches Prüfen (Lehren)

Lage- / Drehlageerkennung (Robot Vision)
Strukturen, Texturen erkennen / prüfen
Vollständigkeits- /Anwesenheitskontrolle
Farben- / Mustererkennung
Grad der Ausprägung
Zeichenerkennung / Schrift lesen
Objekterkennung / Teileidentifikation
Code-Erkennung
Attribute
Position
Oberflächeninspektion
Druckbildkontrolle



Messen mit Bildverarbeitung in der Industrie

- metallverarbeitende Industrie
- Automobilindustrie
- Maschinenbau
- elektrotechnische und Elektronikindustrie
- Kunststoffindustrie
- Lebensmittelindustrie
- Pharmazeutische Industrie
- Holzindustrie
- Fahrzeugbau (Schiff, Eisenbahn, Flugzeug)
- Feinmechanik, Optik
- Leder-, Textil-, Bekleidungsindustrie
- Entsorgung
- Keramikindustrie
- Druckindustrie
- Glasindustrie
- ...



Warum Messen mit Bildverarbeitung?

Motivation in der Fertigungsmesstechnik

- Produktion wird schneller, genauer, 0-Fehler und Objektivität gefordert
- Vielseitigkeit und Flexibilität erlauben Einsatz im gesamten Produktentstehungsprozess
- Parallelität und Schnelligkeit → Verfügbarkeit von 100% Prozessdaten, Regelung im Produktionsprozess
- Zuverlässigkeit, geringe Messunsicherheiten und Normenkonformität
- Berührungslosigkeit: zerstörungsfreies Messen bei empfindlichen, aggressiven, heißen Objekten
- Möglichkeit der Erfassung kleinster Strukturen

Grundsatz:

Was mit dem Auge nicht zu erkennen ist, ist meist für die Maschine auch nicht sichtbar.
(Ausnahmen: IR, UV, Geschwindigkeit, Kleinheit der Teile)

Warum Messen mit Bildverarbeitung?

Messen unter Produktionsbedingungen bedeutet:

- starker Einfluss von umgebenden Randbedingungen:
 - Mensch
 - Umwelt
 - Maschine (Abstände, Positionierung, Schwingungen)
 - Prozess (Schwankungen: jedes Teil sieht anders aus)

Folgerungen für die praktische Umsetzung:

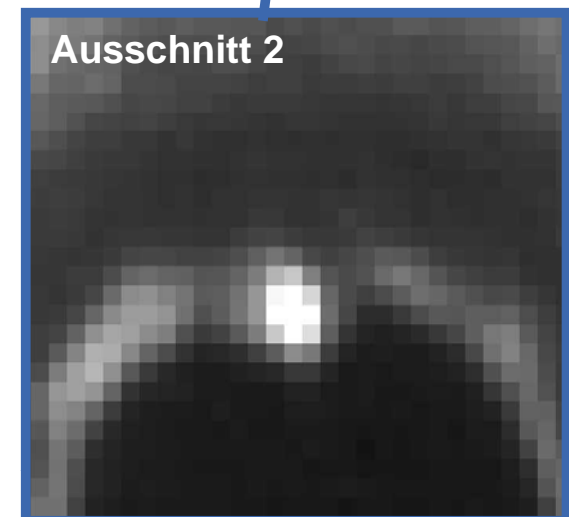
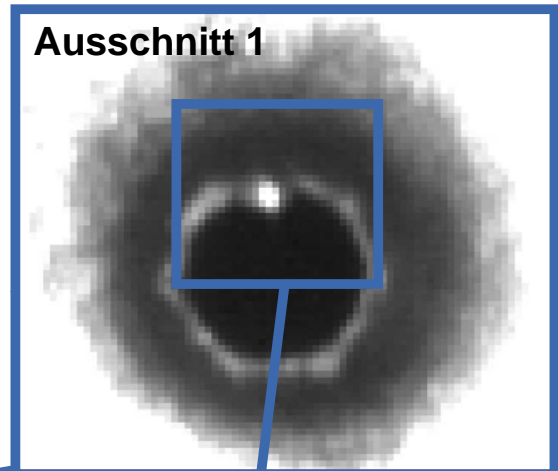
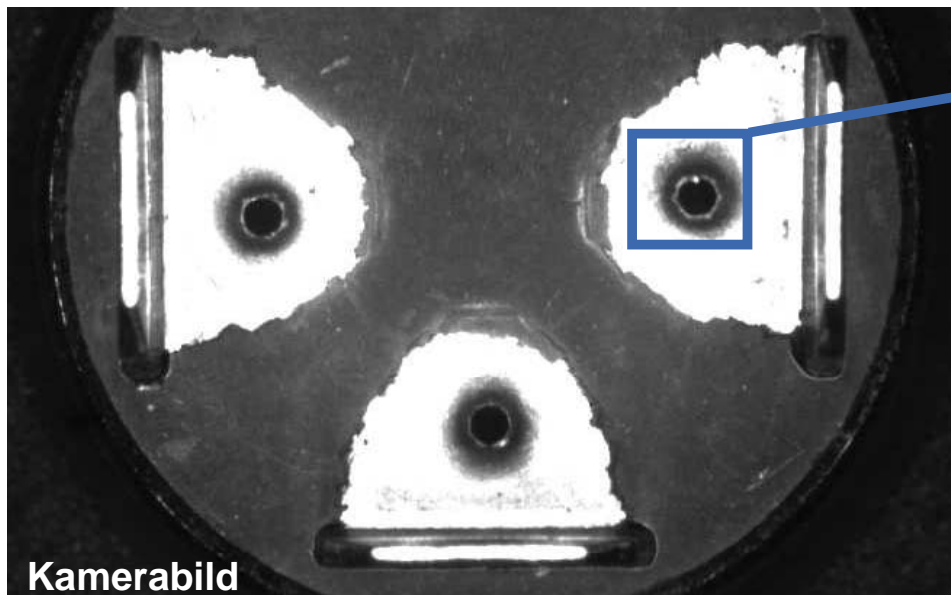
- robuster Aufbau (Mechanik, Klemmung, Justagemöglichkeiten)
- genaue Zuführung realisieren
- fehlerinvariante Aufbauten (Telezentrie, große Schärfentiefe, Beleuchtungsnachführung, Kontrast, Selbstkalibrierung)
- teileinvariante Aufbauten (Beleuchtungstechniken, Softwarealgorithmen, universelle Mechanik → Zusammenarbeit mit dem Mechaniker!)
- Grenzen der Auflösung beachten
- Wartungs-, Kalibrierintervalle vorsehen



Besonderheiten beim Messen mit Bildverarbeitung

Wie Messen mit Bildverarbeitung?

- nicht „greifbare“ Messwerte (berührungsloses Antasten)
- komplexe Zusammenhänge der beteiligten Technik-Disziplinen
- Auswertung der Helligkeiten von Pixeln
- Pixel des Bildaufnehmers sind Maßverkörperung (sind auf 100 nm genau!)



Besonderheiten beim Messen mit Bildverarbeitung

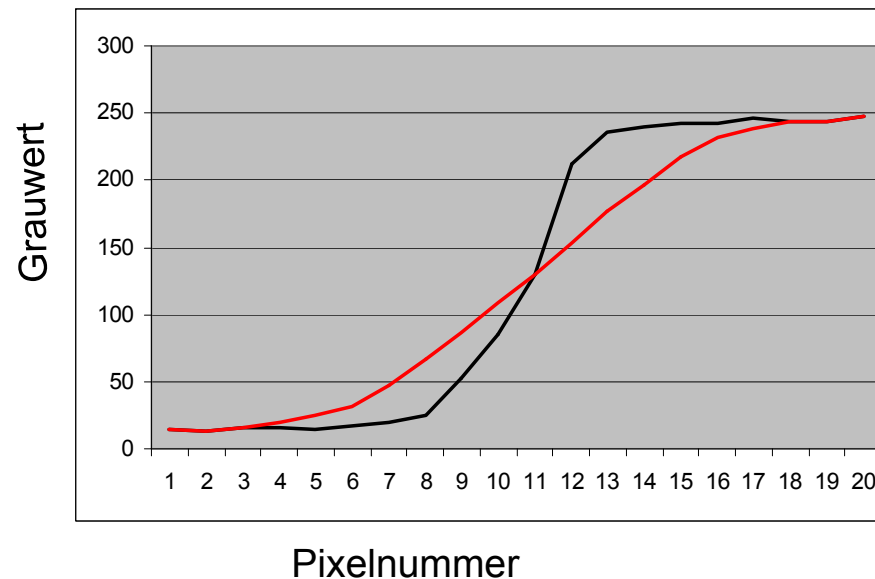
Grundfrage der Bildverarbeitung: Wo liegt die Kante?

Berührungsloses Antasten = Suche eines Helligkeitsüberganges entlang eines Suchstrahles mit bildverarbeitenden Verfahren. Kantenort ist dort, wo der Helligkeitsverlauf dem *Kantenortskriterium* entspricht (Unsicherheit).

Grauwertverlauf an realen Kanten.

Reale Kanten sind selten symmetrisch.

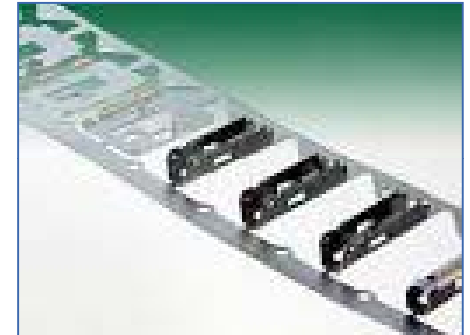
Normale und flache Kante.



Besonderheiten beim Messen mit Bildverarbeitung
Wo liegen die Grenzen heute?

Messen in Echtzeit:

- | | |
|--|----------------|
| ■ Kfz-Fertigung - Vermessung von Kfz-Karosserien | 0,01 Teile / s |
| ■ Glühlampenfertigung | 1 Teil / s |
| ■ Flascheninspektion | 5 Teile / s |
| ■ Fertigung Hygieneartikel | 30 Teile / s |
| ■ Stanzteillfertigung für Halbleiterindustrie | 50 Teile / s |



Erreichbare Genauigkeiten sind anwendungsabhängig:

	Auflösung	Abstand
Positionierung von Containern bei Schiffsverladung	20 cm	100 m
Positionierung bei Glasfasermontage	1 µm	50 mm



Wiederholgenauigkeiten in Industrieumgebung < 10 µm schwer zu beherrschen.

Besonderheiten beim Messen mit Bildverarbeitung

Wo liegen die Grenzen heute?

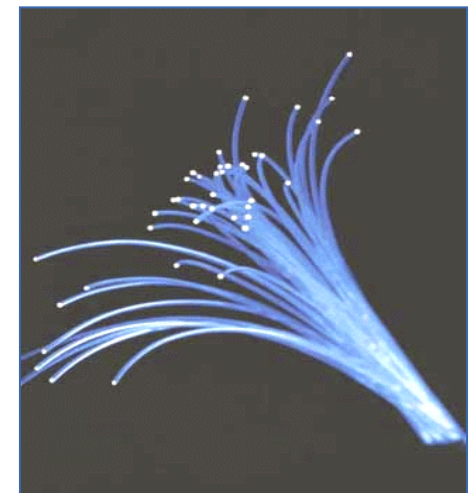
Messen ist begrenzt durch:

- Wellenlänge des Lichtes ($< 1 \mu\text{m}$ nur statistisch)
- Abbildungsmaßstab und Pixelgeometrie
- Abbildungsgüte der Optik
- Signalqualität der Elektronik
- Verfahren der Informatik

u.v.m.

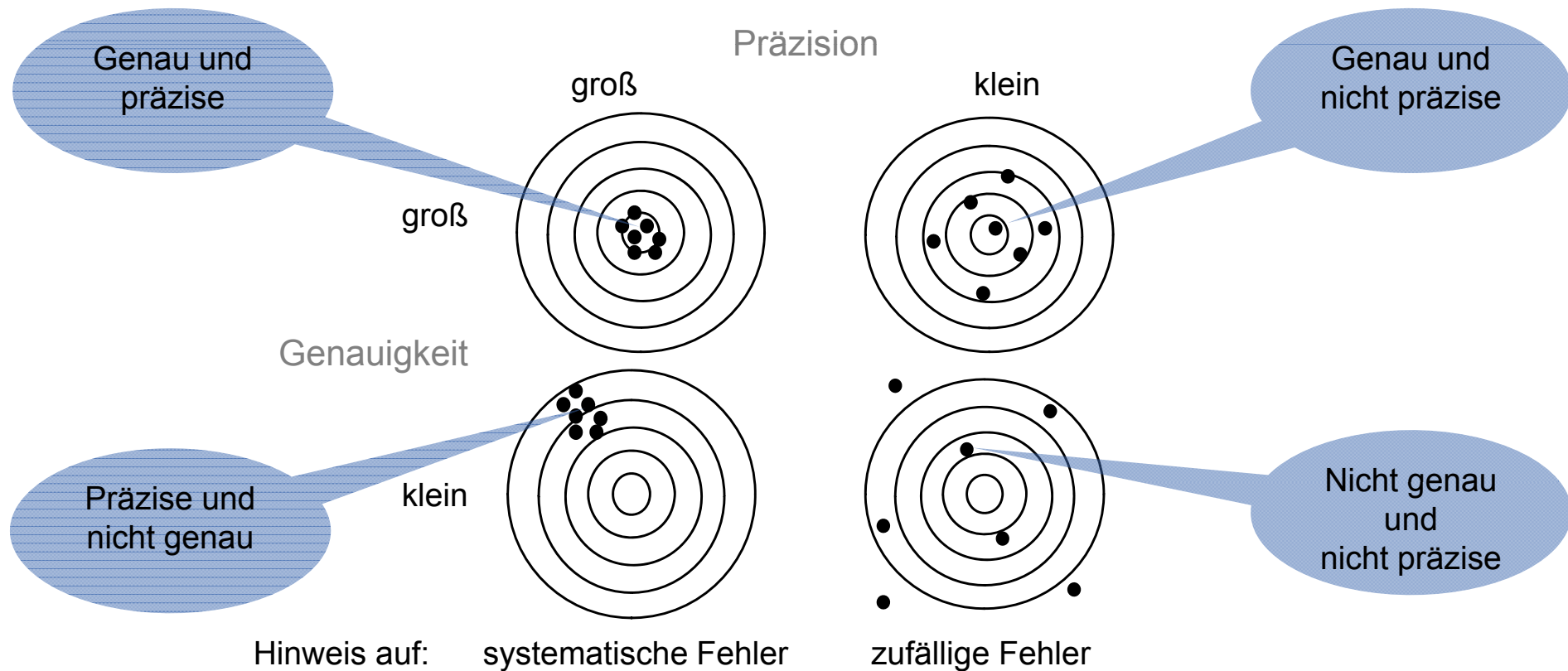


Die Auflösung des menschlichen Auges reicht bei vielen industriellen Prozessen nicht aus.

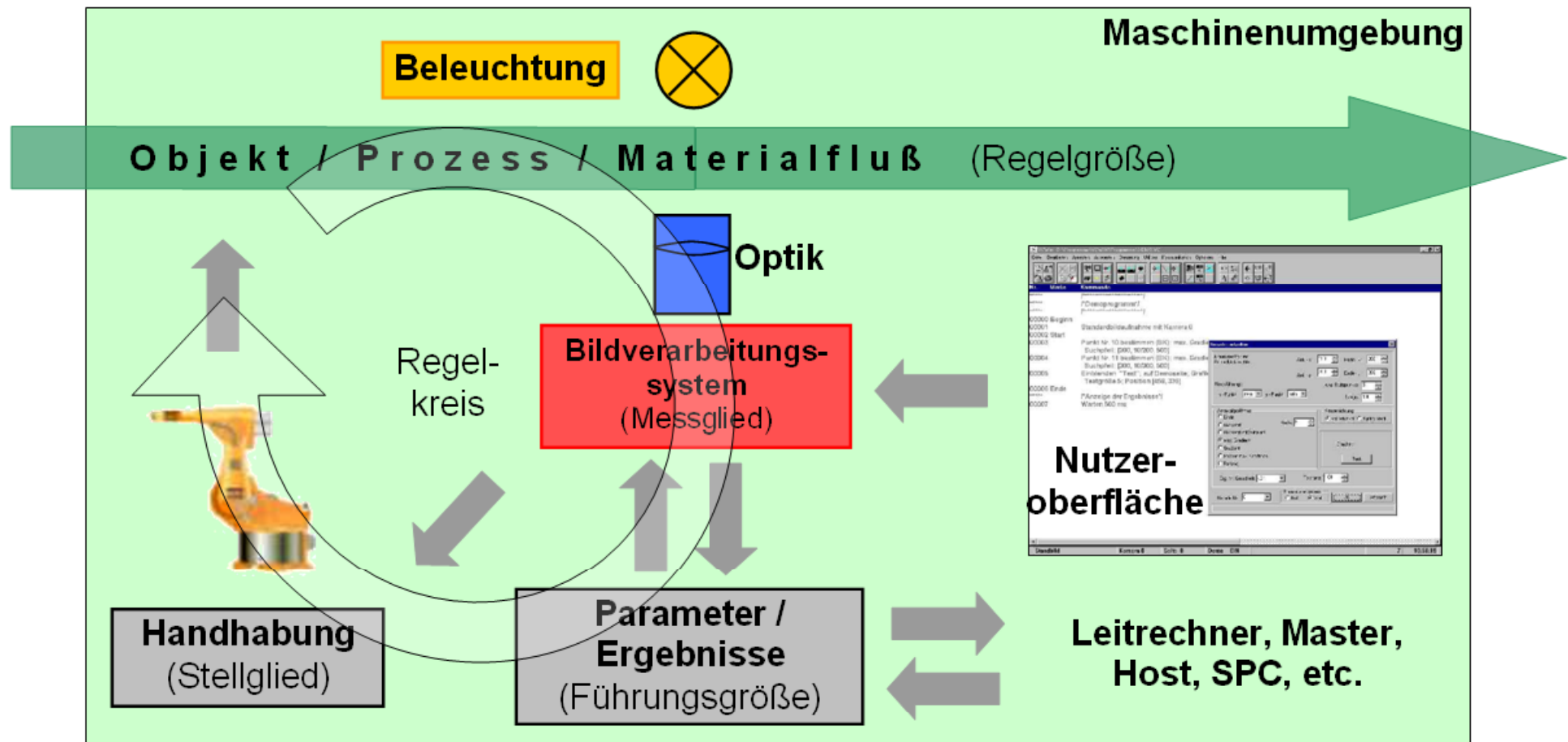


Ziel: Präzise und genaue Messungen

Präzision = möglichst genau am wahren Wert sein
Genauigkeit = Beherrschung des Prozesses



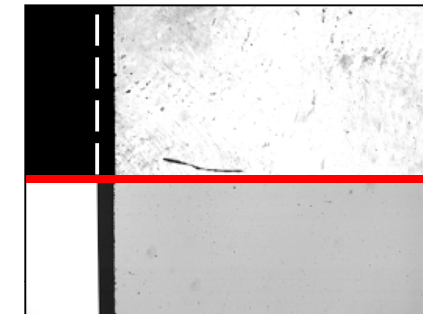
Die gesamte Signalkette beeinflusst Präzision und Genauigkeit



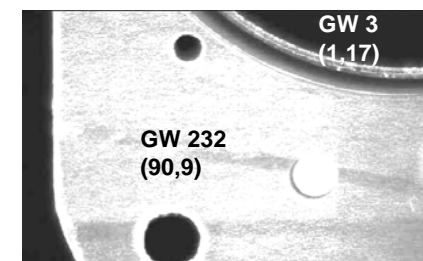
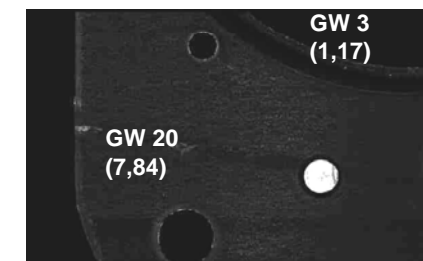
Einfluss der Signalkette der Bildverarbeitung

Beleuchtung

- Beleuchtungstechnik
- örtliche / zeitliche Homogenität
- Beleuchtungswellenlänge
- Kontrast erreichen
- schlechter Kontrast:
 - verlängert Rechenzeit
 - reduziert erreichbare Genauigkeit
 - reduziert Zuverlässigkeit, Details zu erkennen



Auflicht (obere Hälfte)
Durchlicht (untere Hälfte)



Kontrast 97% (oben)
Kontrast 74% (unten)

Einfluss der Signalkette der Bildverarbeitung

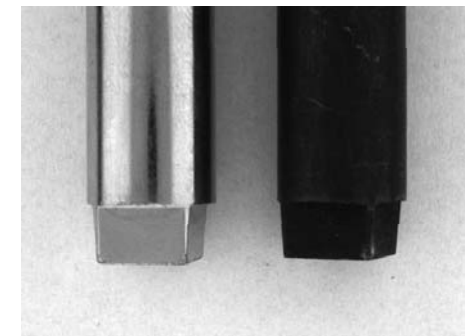
Prüfobjekt

Größter Unsicherheitsfaktor durch nicht vorauszusehende optische, geometrische, chemische Variationen:

- Form: Wechselwirkungen mit Beleuchtung
flach, parallelwandig, zylindrisch, Freiformflächen, ...
- Oberfläche: Reflexionseigenschaften
poliert, geschliffen, sandgestrahlt, korrodiert, ...
- Oberflächenbehandlung: Öl, Wachs, Galvanisierung, ...
- Kantenform: Wechselwirkungen mit Beleuchtung
geschnitten, gefräst, gedreht, gerissen, schmutzig, ...
- Farbe: Wechselwirkungen mit Beleuchtung
unterschiedliche Absorption führt zu verschiedenem Kontrast, ...

Umwelt

Hitze: Luftflimmern, Temperatur: Längenausdehnung, Schwingungen, Übersprechen, Transienten, EMV, Staub, Ölnebel, Kühlemulsion, ...



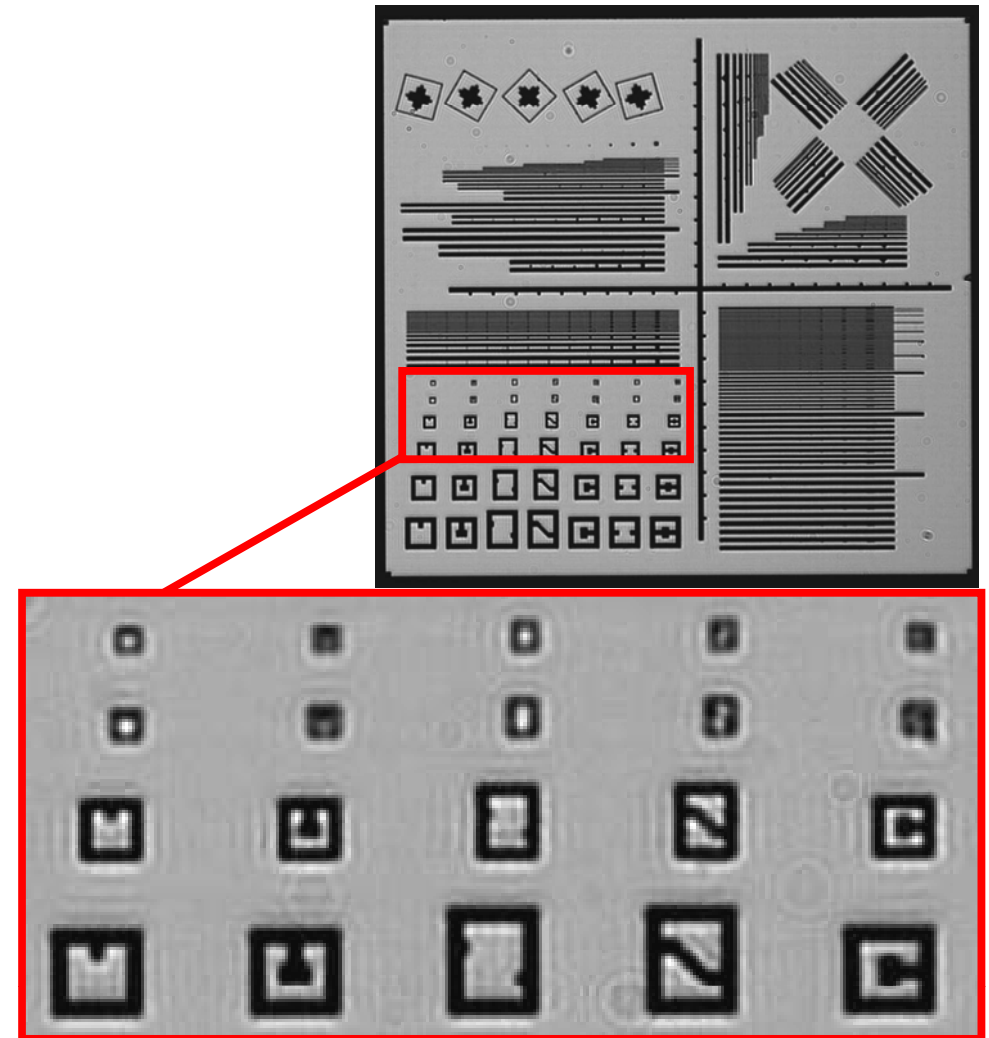
Glänzender und matter Bolzen gleichen Durchmessers.

Einfluss der Signalkette der Bildverarbeitung

Optik

- Perspektivwirkung von Objektiven
- Abbildungsmaßstab (Gesichtsfeldgröße)
- Abbildungsfehler (Verzeichnung!)
- optische Auflösung / Kontrastübertragung (MTF)
- Schärfe der Abbildung
- Schärfentiefe der Abbildung
- Beugung an Objektivteilen / Beugungsbegrenzung
- natürliche Vignettierung

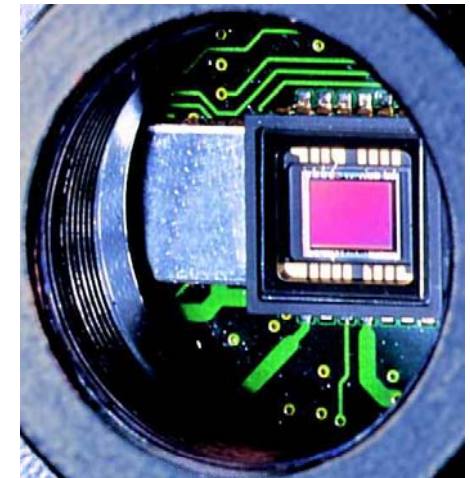
Testchart für fotolithografische Optiken,
Gesamtgröße: 1 x 1 mm²
Begrenzte Auflösung durch Beugung.



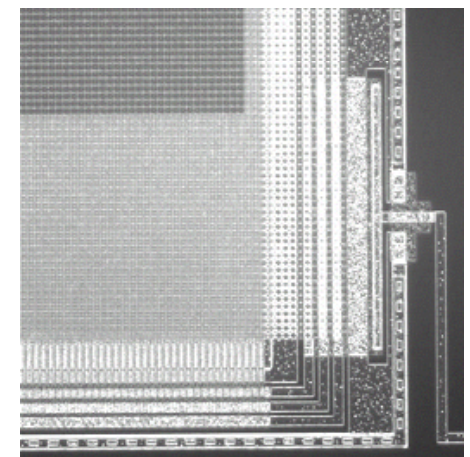
Einfluss der Signalkette der Bildverarbeitung

Kamera / Bildaufnehmer

- Bildpunktauflösung
- Art des Bildaufnehmers (CCD, CMOS)
- Mechanismen von Ladungserzeugung und -transport
- Sättigung
- Dynamikumfang
- Blooming
- pixel non uniformity (Helligkeit, Größe)
- Rauschen (Sensor, Verstärkung)
- Temperaturverhalten
- Übertragungsverhalten der analogen Elektronik
- Sample & Hold-Schaltung
- Linearität der Verstärkung
- Kameramechanik (Abstände, Winkel)



Kameramechanik und Pixelstruktur auf CCD-Bildaufnehmer.



Einfluss der Signalkette der Bildverarbeitung

Framegrabber

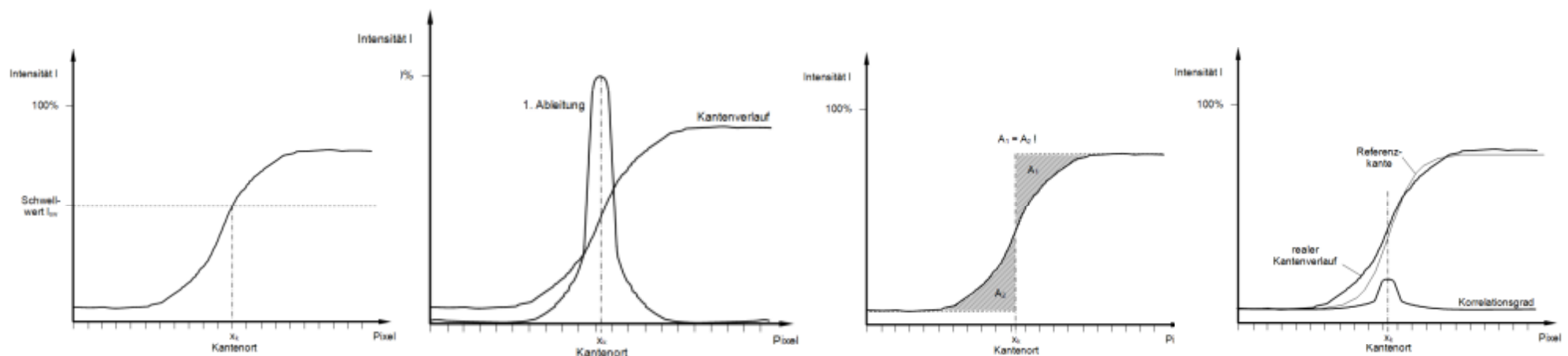
- Art der Synchronisierung (frei laufend, pixelsynchron, pixelidentisch)
- Qualität der look-up-Tabellen
- Quantisierungsfehler ADU
- Linearität der Digitalisierung
- Übersprechen
- Zeitverhalten



Einfluss der Signalkette der Bildverarbeitung

Software

- verwendeter Algorithmus
- Auflösung / subpixeling
- Kantensymmetrie und -form
- Kantenbreite
- Helligkeitsverlauf an der Kante
- Kalibrierung
- Lage- / Drehlagenachführung
- Interpolation bis 10-fach möglich



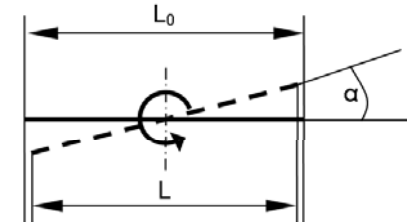
Einfluss der Signalkette der Bildverarbeitung

Mechanik

- Justierung
- Positioniergenauigkeit (Auflösung von Aktoren)
- Verkippung (Projektion, Reflexion an Wandungen)

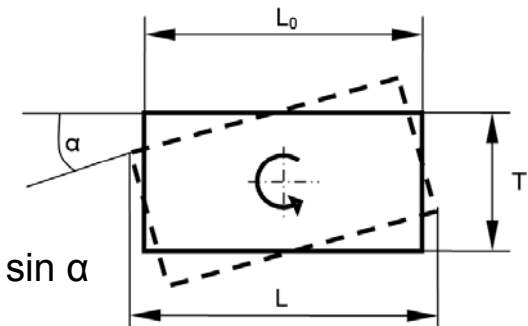
flache Teile: Fehler 2. Ordnung:

$$L = L_0 - [L_0 * (1 - \cos \alpha)]$$



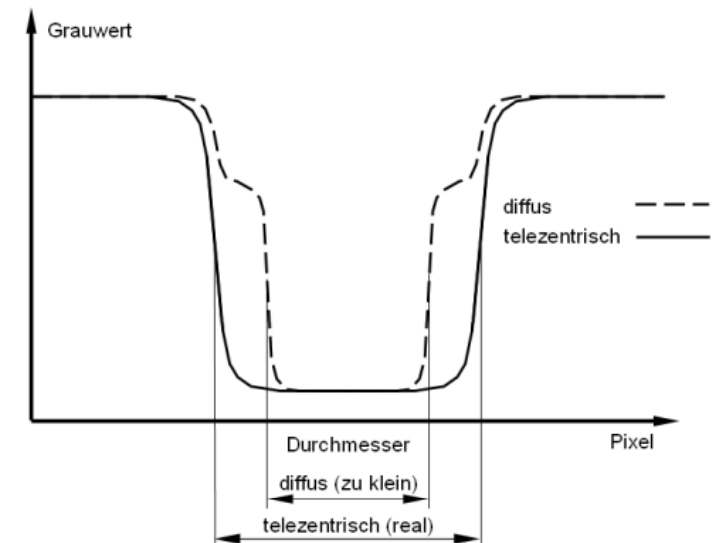
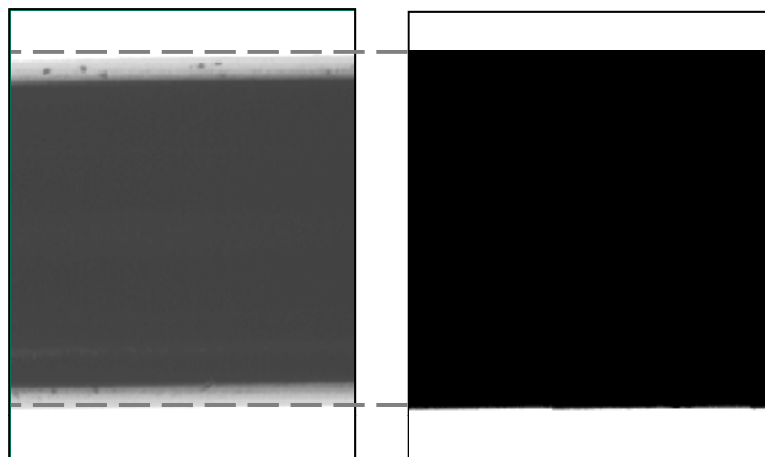
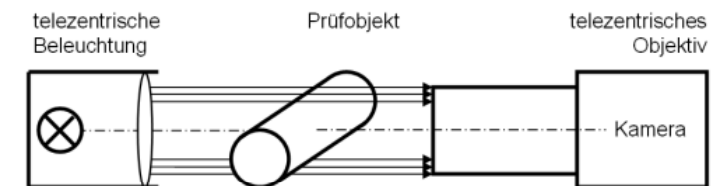
tiefe Teile: Fehler 1. Ordnung:

$$L = L_0 - [L_0 * (1 - \cos \alpha)] + T * \sin \alpha$$



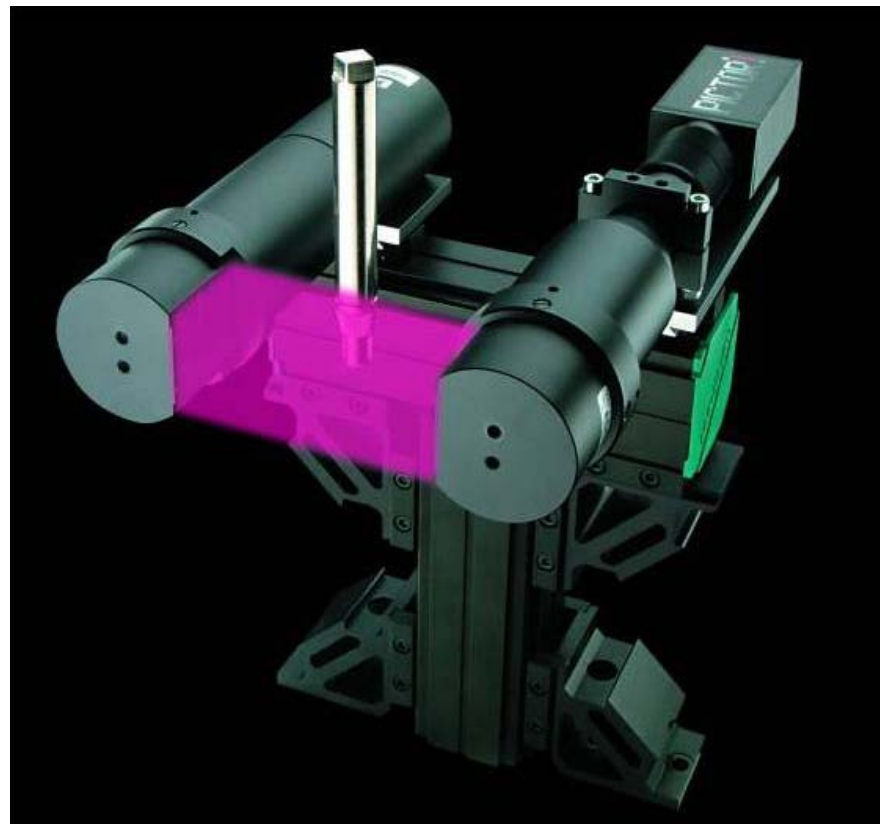
Erprobte Verfahren / Aufbauten für bestmögliche Messergebnisse

- Messen im Durchlicht, möglichst telezentrisch
- (kooperative), Prüfobjekte mit annähernd gleichen Eigenschaften
- moderate Umweltbedingungen
- Verwendung telezentrischer Objektive
- hochauflösende, empfindliche Kamera mit pixelsynchronem Bildeinzug
- Framegrabber mit präzisiertem Zeitverhalten
- robuste, aber genaue Algorithmen
- präzise Mechanik

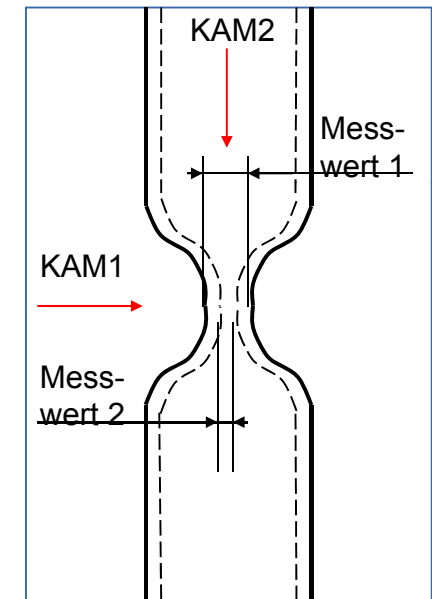


Erprobte Verfahren / Aufbauten für bestmögliche Messergebnisse

Telezentrischer Messaufbau



Beispiel: 3D-Messung von Glaskolben



Beispiel: Längenmessung von Rohren im Prozess

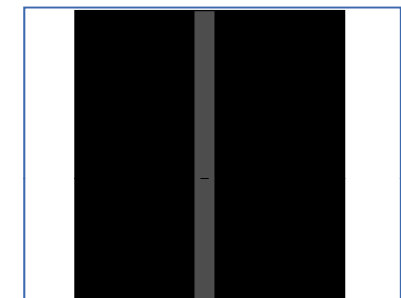
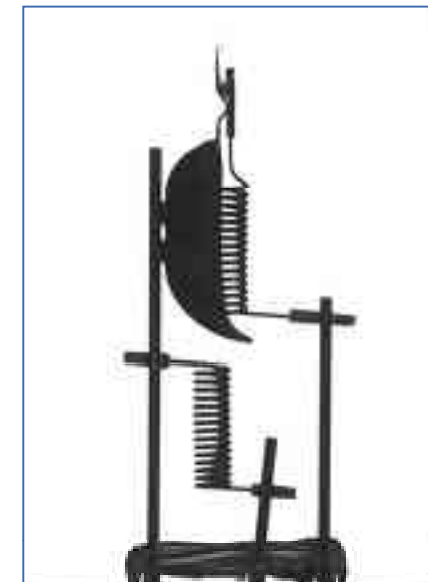
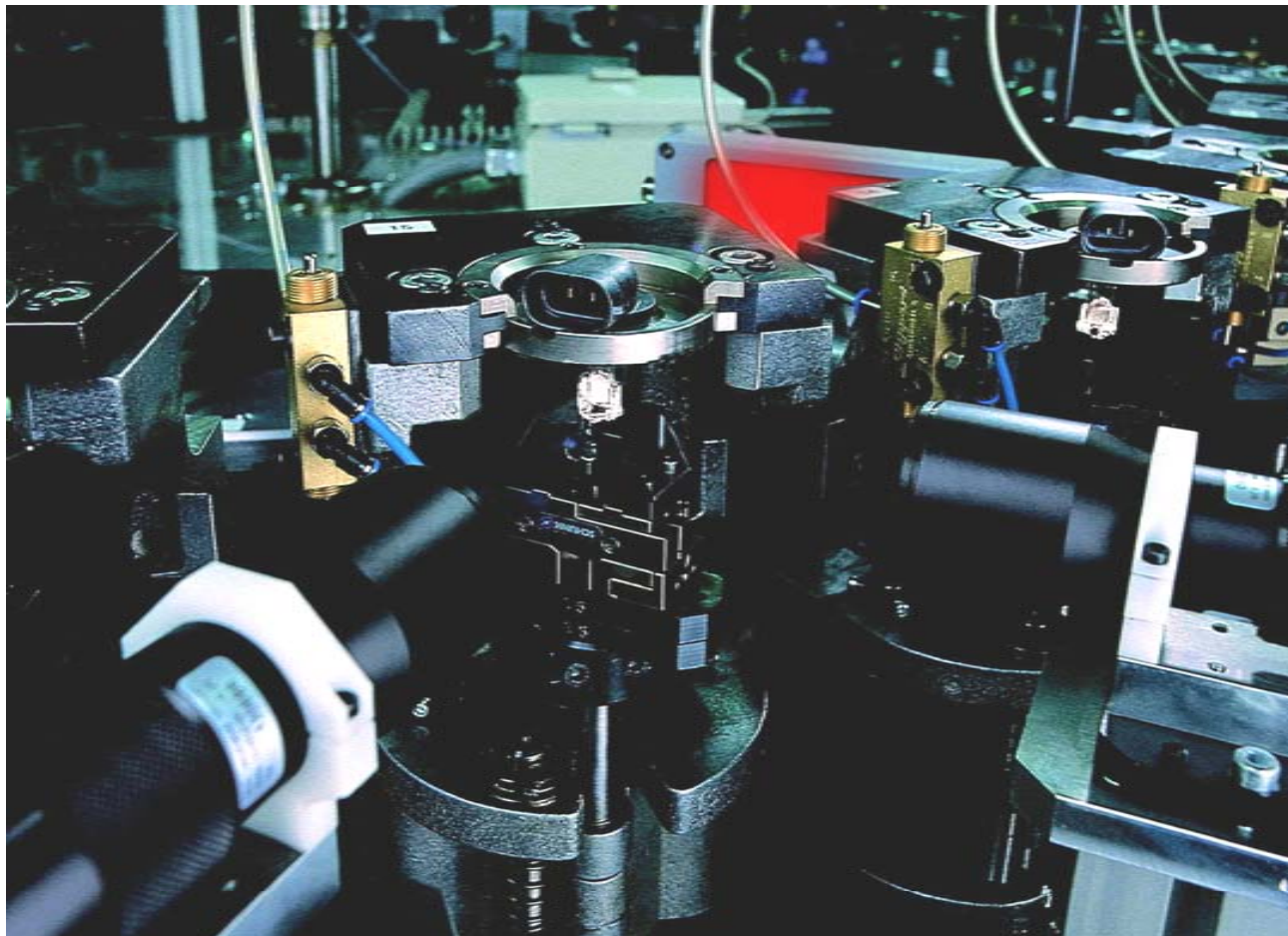


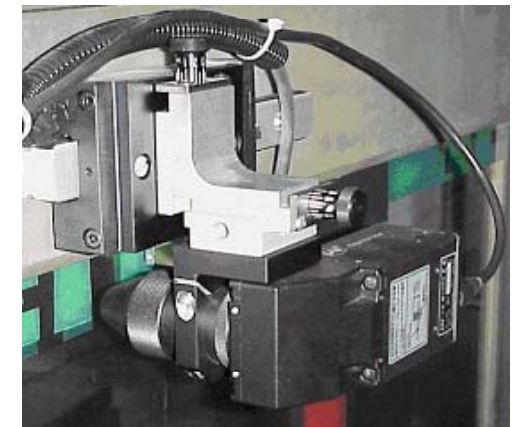
Abbildung zweier Gesichtsfeldhälften auf eine Kamera.

Messung mit telezentrischen Beleuchtungen und Objektiv.

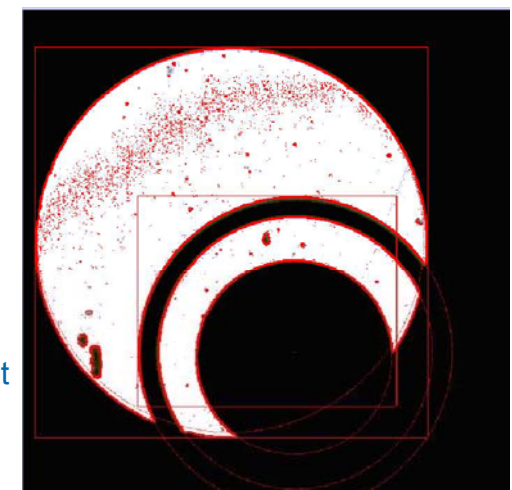
Beispiel: 3D-Messung an Kfz-Glühlampen



Beispiel: Präzisionspositionierung bei Fertigung von TFT-Monitoren



Messen in μm -Genauigkeit
Positionierung von
Passermarken.



Messen mit BV ist nicht immer die geeignete Methode

Grenzen der Bildverarbeitung

- Erreichbare Auflösung: Limitierung durch Natur des Lichtes, Grenze: $>1 \mu\text{m}$
- Umweltbedingungen (Schmutz, Nebel, Aerosole, Temperatur, ...)
- vollständige Teilevermessung 3D (Hinterschneidungen)
- Teileeigenschaften (ungünstige optische Eigenschaften)
- unrealistische Erwartungen der Kunden (Vergleich mit bisherigem Messverfahren)

Erreichbare Genauigkeit mit Bildverarbeitung

- diverse Einflussfaktoren (Prüfteil!!!, lichttechnische optische, geometrische, elektrische)
- $\leq 0,01 \text{ mm}$ ist sehr anspruchsvoll
selbst bei kleinem Gesichtsfeld von $2 \times 2 \text{ mm}^2$ und günstigen Umweltbedingungen
- $0,05 \dots 0,1 \text{ mm}$ ist typisch für reale Industriebedingungen
- erreichbare Genauigkeiten können bis zum mm-Bereich herauf gehen (bei großen Gesichtsfeldern)

Vielen Dank für Ihre Aufmerksamkeit!

Fragen?



Besuchen Sie uns auch in der Vision Academy - Exhibitor-Lounge, Halle 6, Stand E32!