

2D-Geometrieprüfung und -messung, Projektierung von Durchlicht und Auflichtanwendungen, Messung mit Subpixelgenauigkeit

**Aib Workshop
Weimar, 20.02.2003**

Kompetenzen im ZBS e.V. / GBS mbH Ilmenau

- ▶ ZBS - industriennahe Forschungen auf den verschiedensten Gebieten der Bildverarbeitung
- ▶ Schwerpunkt Thüringer Unternehmen
- ▶ Nutzung von Synergien mit der Technischen Universität Ilmenau
- ▶ GBS - Projektierung und Realisierung kundenspezifischer Bildverarbeitungslösungen
- ▶ Systemintegrator für intelligentes Matrixkamarasystem, DVT-Smartkamas
- ▶ Erfahrungen auf den Gebieten:
 - ▶ Geometrieprüfung und -messung, 1D, 2D, Lichtschnitt
 - ▶ Gewinnung und Verarbeitung von 3D-Daten, Softwarebibliothek
 - ▶ Oberflächeninspektion, künstliche und natürliche Materialien
 - ▶ Hohlrauminspektion, langgestreckte Bohrungen
 - ▶ Druckbildkontrolle und Farbbewertung

Komponenten einer Messstelle

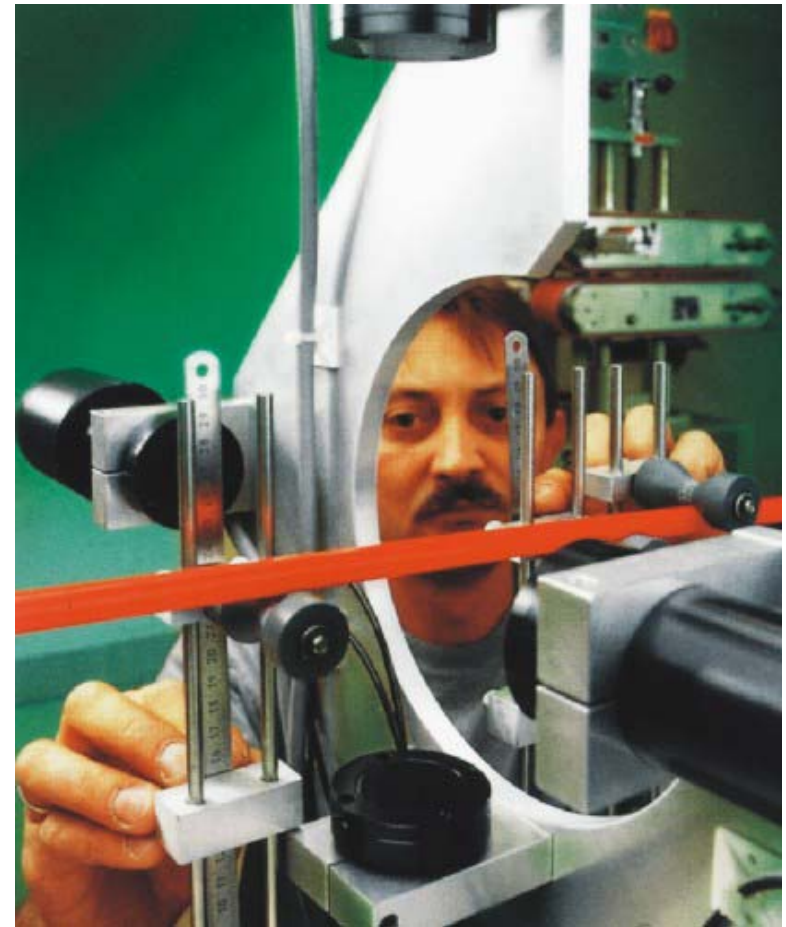
- ▶ Kamera
- ▶ Objektiv
- ▶ Beleuchtung
- ▶ Prüfplan
- ▶ Handling
- ▶ Integration in die Fertigungsanlage
- ▶ Installation und Kalibrierung
- ▶ Einweisung Bedienpersonal



Grundsatz: Die Qualität der Bildaufnahme entscheidet über den Erfolg der Messung!

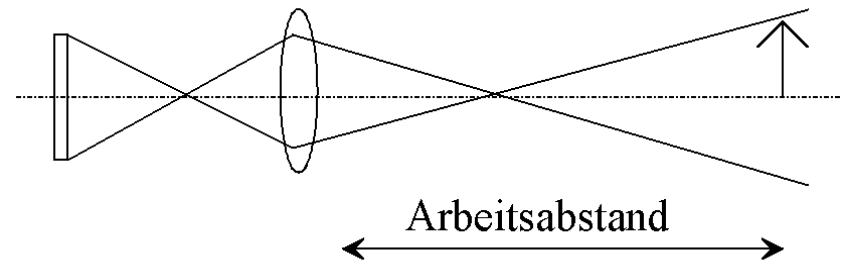
Fragen beim dimensionellen Messen

- ▶ **Optische Abbildung, Maßstab**
 - telezentrische oder endozentrische Abbildung
- ▶ **Auflösung**
 - Standardkamera, Megapixelkamera, Subpixel
- ▶ **Beleuchtung**
 - Durchlicht oder Auflicht, schmalbandiges Licht
- ▶ **Verkippung**
 - runde oder eckige Querschnitte
- ▶ **Randabschattung**
 - flache Bahnen oder dicke Teile
- ▶ **zusammengesetzte Messbereiche**
 - lange Teile
- ▶ **Tiefenschärfe**



Objektiv - Endozentrische Abbildung

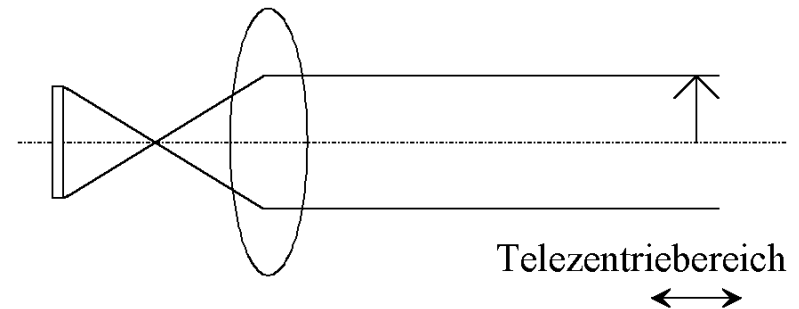
- ▶ **Optisches Prinzip: Standardabbildung, Messobjekt verändert mit der Entfernung zur Kamera seine Größe**
- ▶ **Probleme, Fallstricke**
 - Mit dem Abstand ändert sich der Skalierungsmaßstab des Messobjektes
 - Gegebenenfalls muss der Arbeitsabstand konstant gehalten werden
 - Einsatz zweier, sich gegenseitig korrigierender Systeme
 - Zyklische Überprüfung des Maßstabes, Nachkalibrieren der Messstelle
 - Helligkeitsabfall und Verzeichnung an den Rändern



Vorteil: Ein großes Sortiment an preiswerten Objektiven steht zur Verfügung !

Objektiv – Telezentrische Abbildung

- ▶ **Optisches Prinzip: Abbildung mit parallelem Strahlengang, Messobjekt behält bei Änderung der Entfernung zur Kamera seine Größe bei**
- ▶ **Probleme, Fallstricke**
 - Telezentriebereich umfasst ca. 10% des Messbereiches
 - In Zusammenspiel mit einer telezentrischen Beleuchtung führt die Verkippung der optischen Achse zur Verdunklung des Bildes
 - Voluminöse Objektive, Objektivöffnung muss so groß wie der Messbereich sein, geeignet nur für kleine Messobjekte (Messbereiche bis 50x50 mm)
 - kleiner Tiefenschärfebereich
 - Tiefenschärfe = $\pm 1 / \text{Vergrößerung [mm]}$
 - höhenunabhängige Konturmessung
 - Vermessung von Merkmalen auf unterschiedlichen Höhen



Vorteil: Für exakte Messungen unbedingt erforderlich ! Sehr stabile Messungen mit hohen Genauigkeiten ! Fremdlichtunempfindlich durch kleinen Öffnungswinkel !

Auflösung

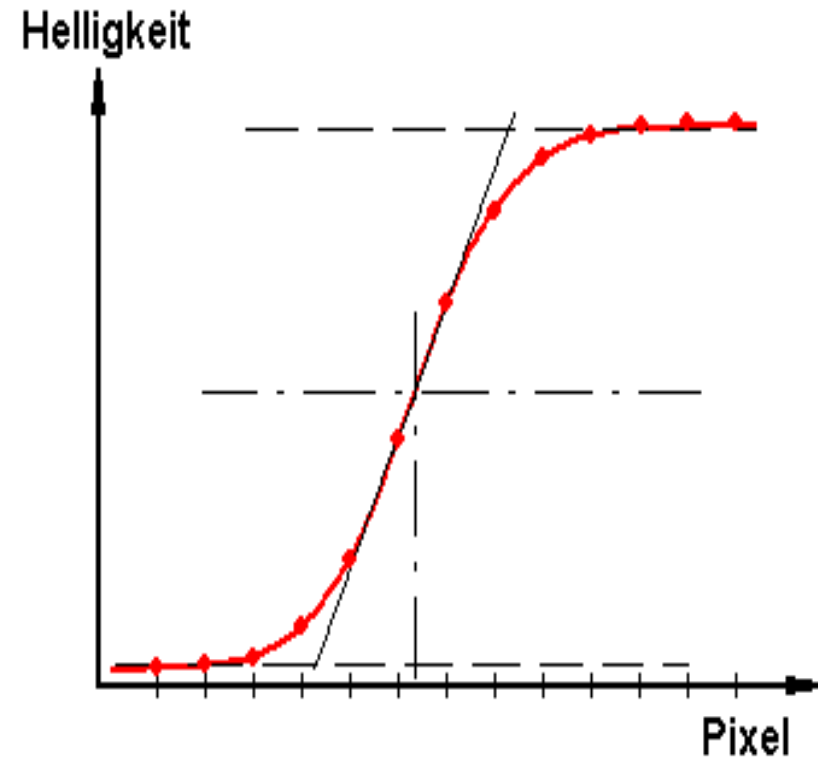
- ▶ **Standardauflösung**
 - 752 x 582 Bildpunkte
- ▶ **VGA-Auflösung**
 - 640 x 480 Bildpunkte
- ▶ **Megapixelauflösung**
 - 1280 x 1024 Bildpunkte
- ▶ **ATMEL Camelia 8M**
 - 3500 x 2300 Bildpunkte
 - sehr kostenintensiv
- ▶ **Jenoptik Microscanning**
 - Sensor 1300 x 1030 Bildpunkte
 - Sensorverschiebung 3900 x 3090
 - wissenschaftliche Anwendungen
- ▶ **Subpixel**
 - Schwellwertverfahren
 - Wendepunkt, Parabel
 - Filterung
 - Auflösungssteigerung bis Faktor 10

Berechnung der Auflösung: **Größe des benötigten Messbereiches / Anzahl der Bildpunkte**

- ✎ Festlegung des Messbereiches - Rand für Positionstoleranzen des Prüflings berücksichtigen !
- ✎ Auflösung ist nicht gleich Messgenauigkeit ! Messfehler der Anordnung beachten !
- ✎ Zu erkennende Objekte sollten mindestens auf 5 Bildpunkten abgebildet werden !

Subpixel

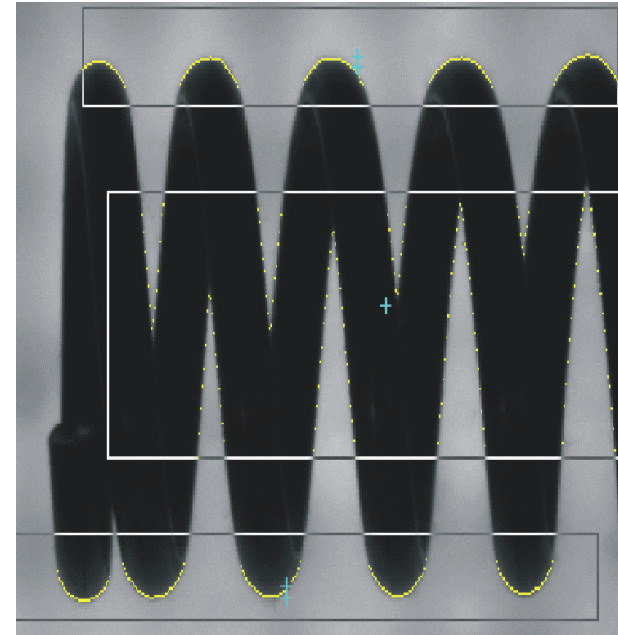
- ▶ *Mitte zwischen maximaler und minimaler Helligkeit*
- ▶ *Wendepunkt der Parabel bei Annahme eines symmetrischen Verlaufs der Hell-Dunkel-Flanke*
- ▶ *Tiefpassfilterung des Hell-Dunkel-Verlaufs, Schnittpunkt mit dem Originalverlauf*



Vorteil: Erhöhung der Auflösung bis Faktor 10 möglich !

Beleuchtung - Durchlicht

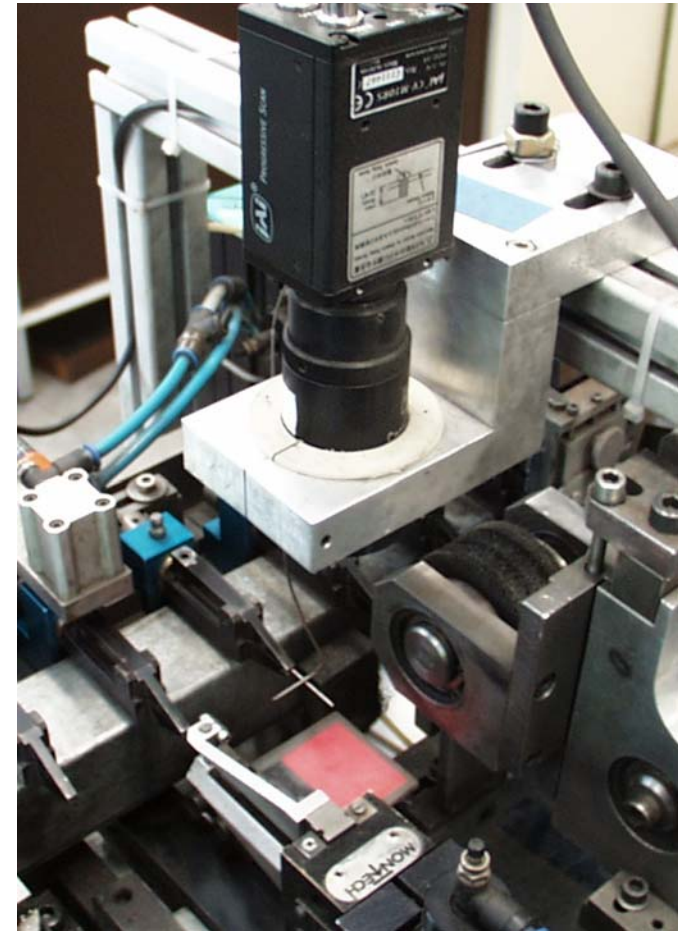
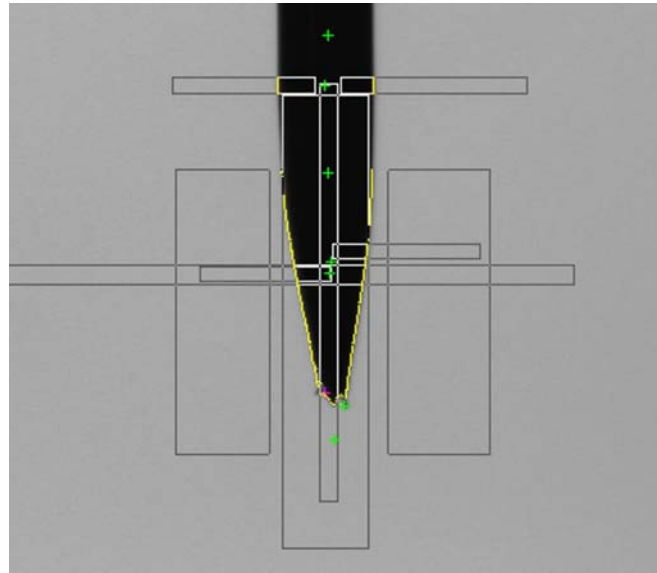
- ▶ **Prinzip: Abbildung des Schattenrisses des Messobjektes auf den Kamerasensor**
- ▶ **typische Aufgaben**
 - 2D-Vermessung
 - Zählen von Merkmalen
 - Konturüberprüfung
- ▶ **Lichtquellen**
 - Leuchtfelder, HQI-Kaltlicht, Leuchtstofflampe
 - LED-Beleuchtungen, auch IR
- ▶ **Probleme, Fallstricke**
 - Verkippung, Verdeckungen, Randabschattung



Vorteil: Exakte Abbildung der Konturkante, genaue Messung möglich !

Beispiel Durchlicht - Nadelprüfung Prüfung der Nadelspitze auf exakten Anschliff

- ▶ *Telezentrisches Objektiv*
- ▶ *Messbereich $6,4 \times 4,8 \text{ mm}^2$*
- ▶ *digitale Auflösung $8 \mu\text{m}$*
- ▶ *Durchlicht, LED rot*

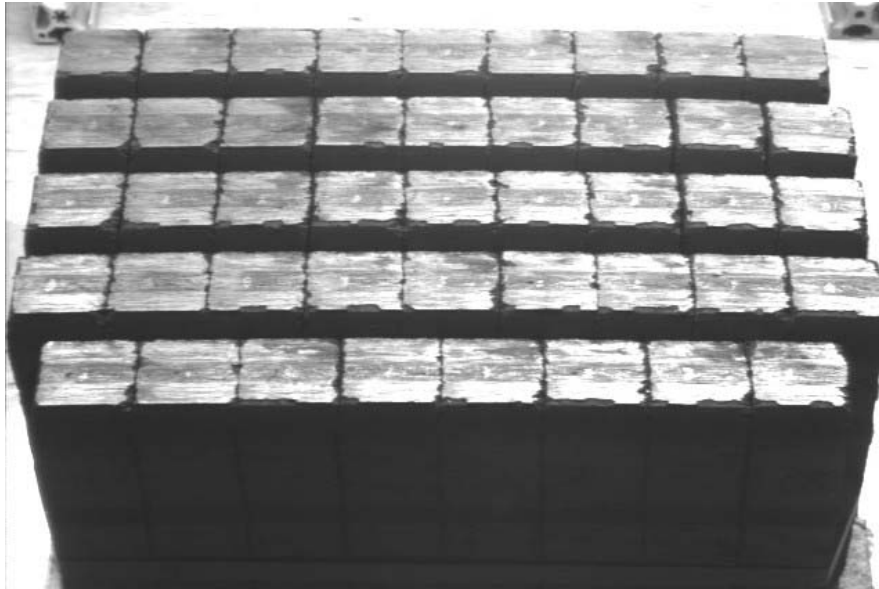


Beleuchtung - Auflicht

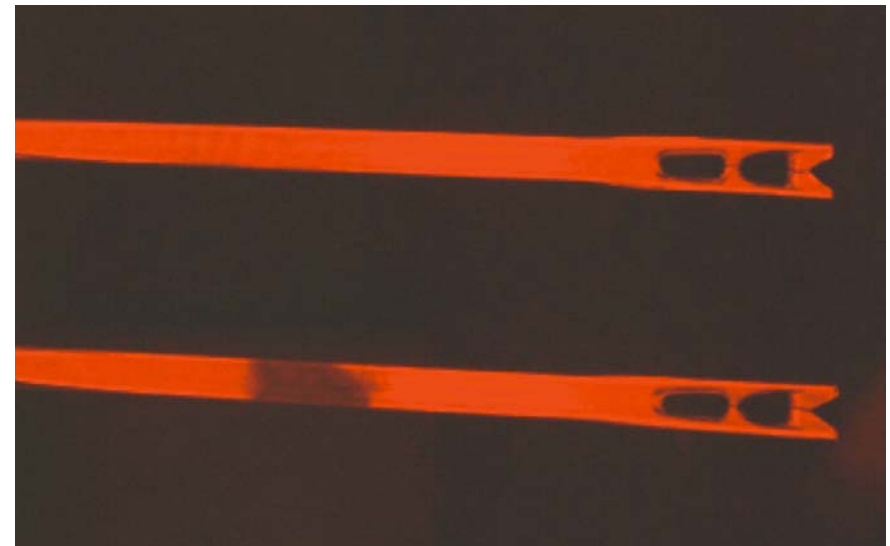
- ▶ **Prinzip: Nutzung von Kontrastdifferenzen des Messobjektes resultierend aus Farb- und Helligkeitsunterschieden oder Oberflächenstrukturen (Schattenwurf)**
- ▶ **gerichtete Beleuchtung: Ausnutzung von Schattenwurf und Reflexionen**
- ▶ **diffuse Beleuchtung: Eliminierung von Schattenwurf und Reflexionen**
- ▶ **typische Aufgaben neben dem 2-dimensionalen Messen**
 - Aufdrucke, Oberflächenfehler, Schrifterkennung, Barcode
- ▶ **Probleme, Fallstricke**
 - sich ändernde Oberflächeneigenschaften ändern die Abbildung und damit das Messergebnis
 - Kanten und Konturen werden entsprechend ihrer Beschaffenheit (Phasen, Radien) abgebildet, damit wird nicht der exakte Kantenort gefunden, bzw. die Abbildung des Kantenortes ändert sich

Vorteil: Abbildung entspricht dem visuellen Eindruck ! Einfacher Aufbau !

Beispiele - Auflicht



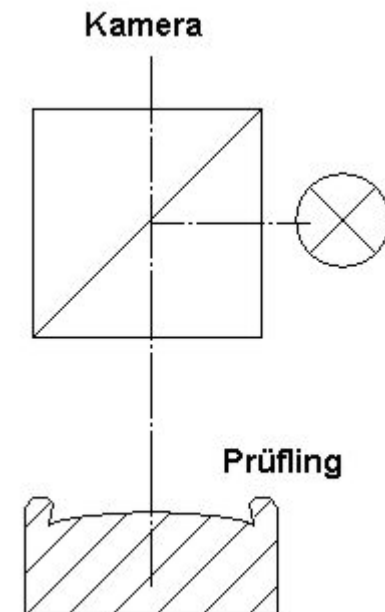
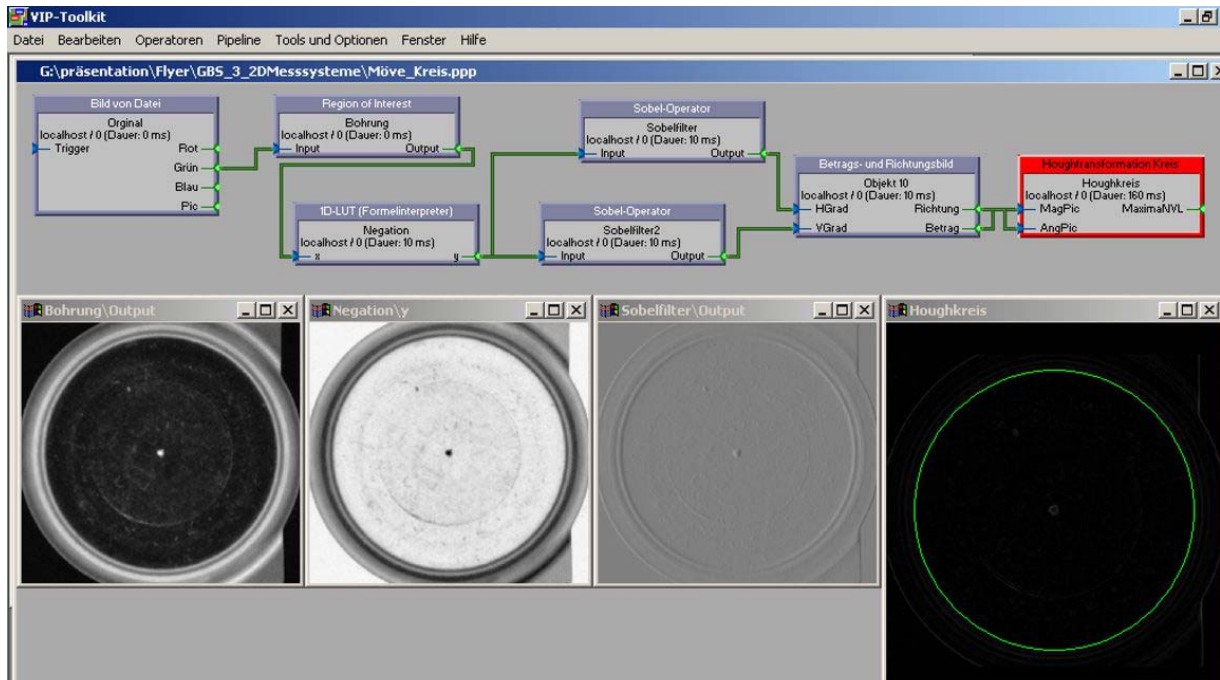
- ▶ **Gerichtete Beleuchtung**



- ▶ **Diffuse Beleuchtung**

Beispiel Auflicht - Druckdose

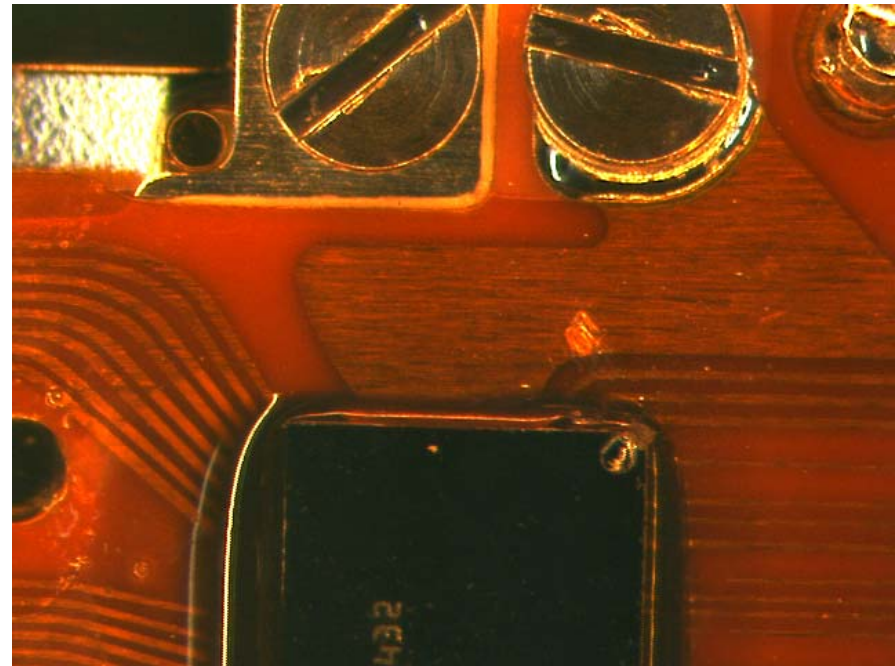
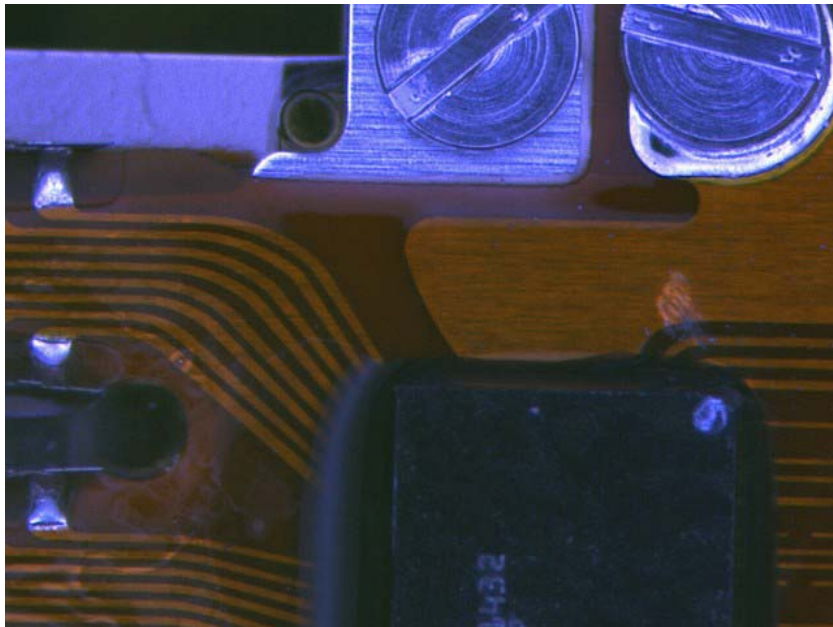
Überprüfen der kreisförmigen Verformung der Membran



- ▶ **Telezentrisches Objektiv**
- ▶ **Messbereich $49 \times 37 \text{ mm}^2$**
- ▶ **koaxiales Auflicht, LED rot**
- ▶ **Auflösung $0,075 \text{ mm}$**
- ▶ **1,3 Sigmatest der gefundenen Kreiskoordinaten**

Schmalbandige Beleuchtung

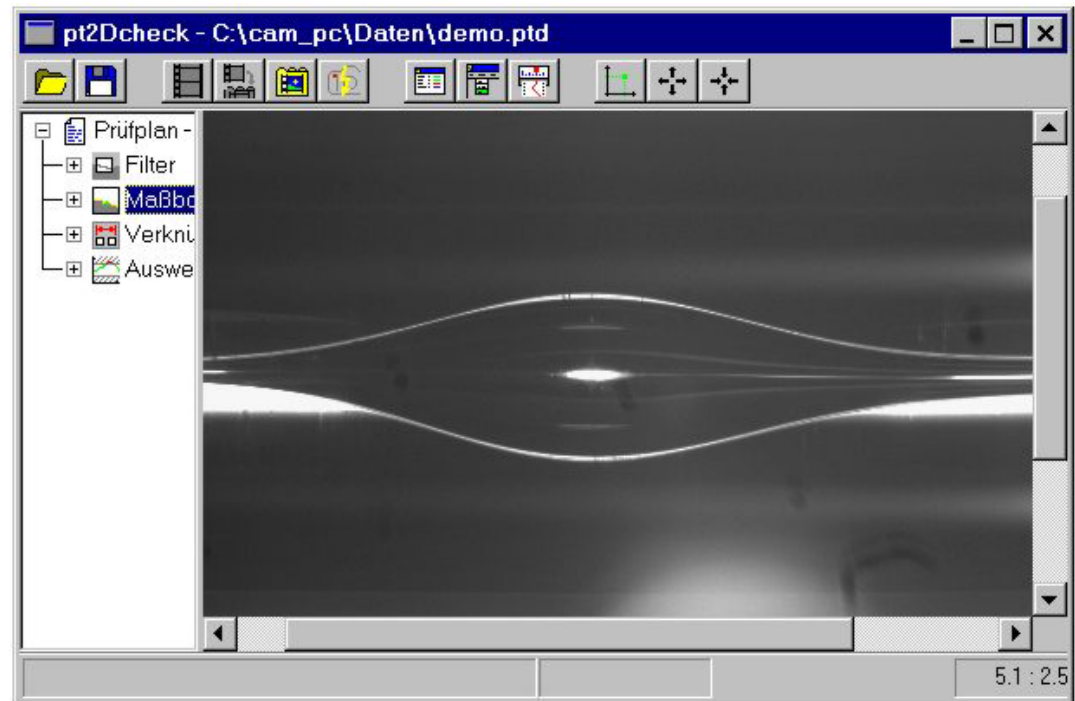
- ▶ **Weißes Licht**



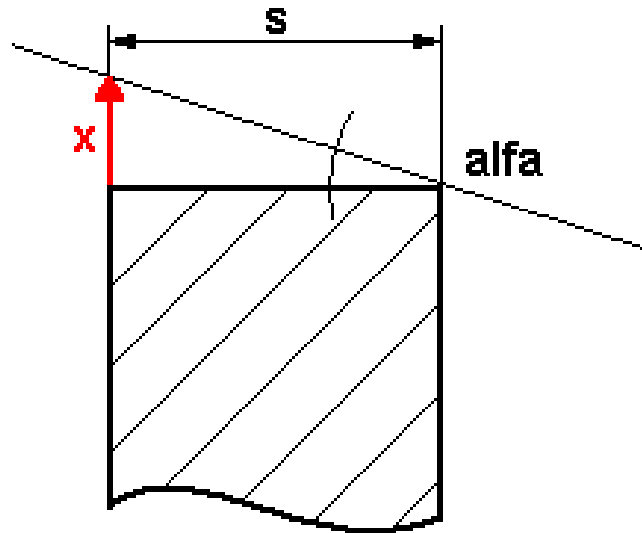
- ▶ **Blaues Licht**

Beispiel schmalbandiges Licht - Thermometer Heißglasbearbeitung von Kapillarrohren

- ▶ *Telezentrisches Objektiv*
- ▶ *Messbereich 32 x 24 mm²*
- ▶ *Megapixelkamera 1280 x 1024 Pixel*
- ▶ *Auflösung 25 µm*
- ▶ *Sperrfilter
B-42 dark blue, 430 nm*
- ▶ *Durchlichtbeleuchtung*
- ▶ *LED, blau*



Randabschattung



Durchlicht

s = Materialstärke

α = Öffnungswinkel Objektiv

x = Randabschattung

$$x = s \cdot \tan(\alpha)$$

s = 12 mm

gute telezentrische Objektive:

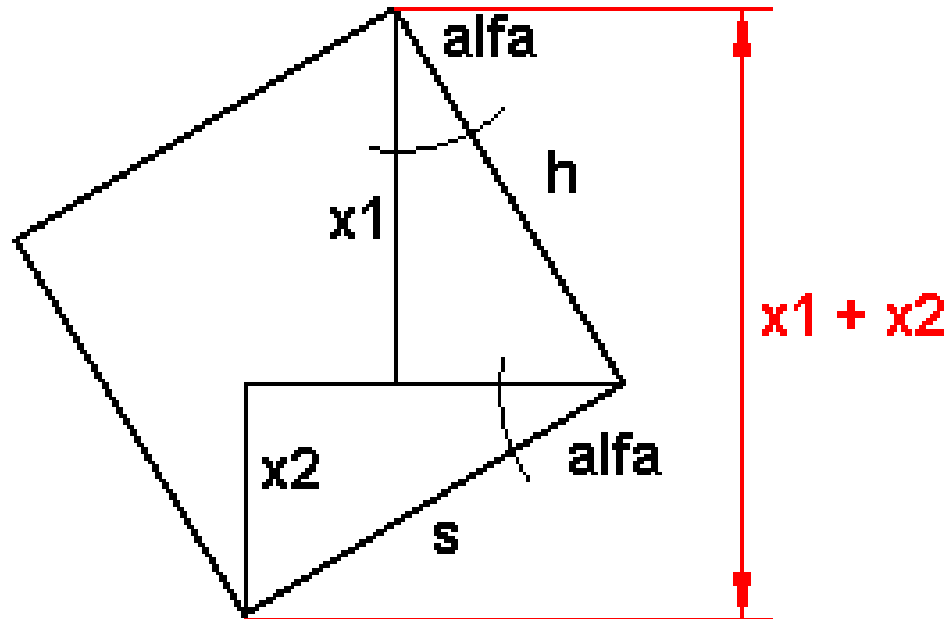
Abweichung der Hauptstrahlen von der Horizontalen

kleiner als 1 mrad = 0,0573° (1 rad = 57,3°)

α = 0,05°

$$x = 0,0104 \text{ mm}$$

Verkippung



s = Materialdicke

h = zu messende Höhe

$$x1 = s * \sin(\text{alfa})$$

$$x2 = h * \cos(\text{alfa})$$

$$s = 2 \text{ mm}$$

$$h = 20 \text{ mm}$$

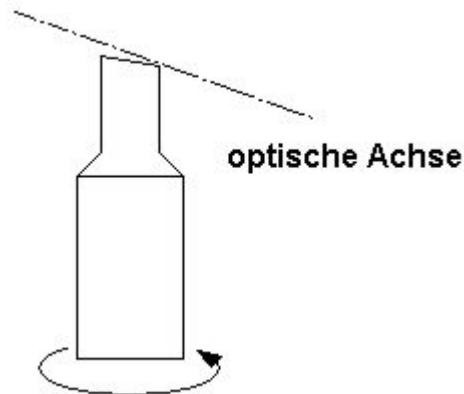
$$\text{alfa} = 1^\circ$$

$$x1 + x2 = 20,032 \text{ mm}$$

Beispiel verdeckte Kanten - Düsenrohlinge

Messen der verfügbaren Höhe der gepressten Rohlinge

- ▶ *Telezentrisches Objektiv*
- ▶ *Messbereich $8 \times 6 \text{ mm}^2$*
- ▶ *Auflösung $10 \mu\text{m}$*
- ▶ *telezentrische Beleuchtung*
- ▶ *Durchlicht, LED IR*
- ▶ *Prüfling wird gedreht*



Beispiel Tiefenschärfe - Thermometer Querschnittsbestimmung von Kapillarrohren



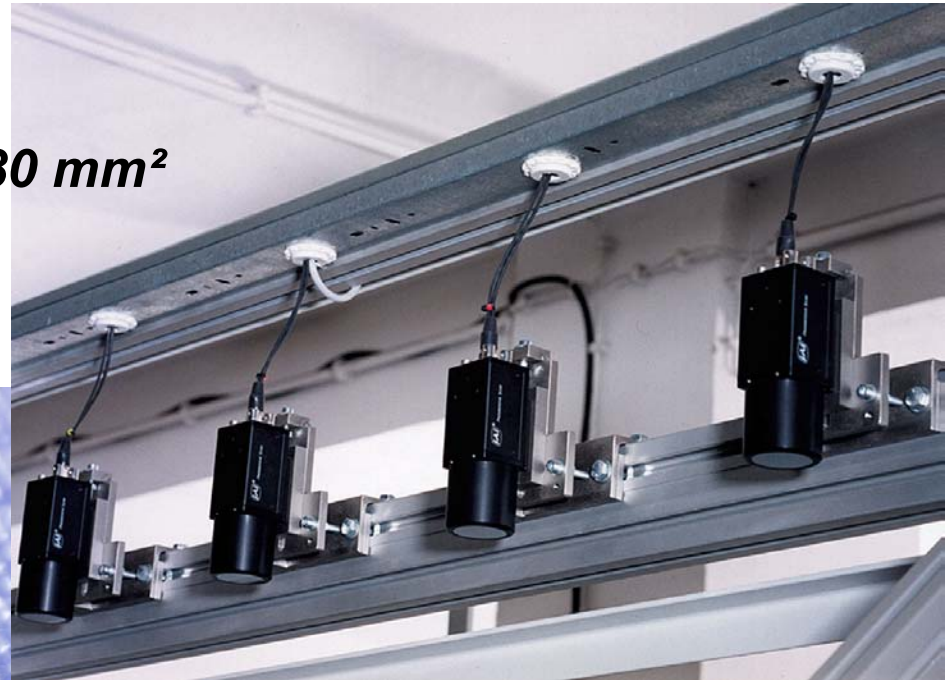
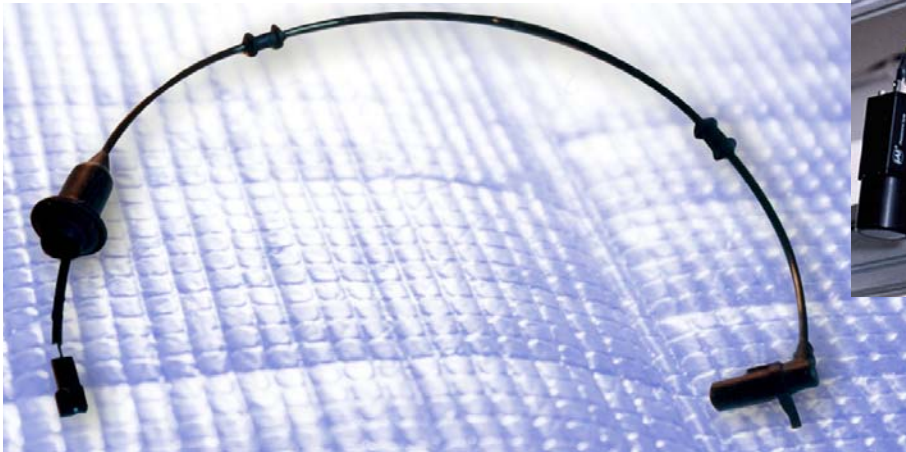
- ▶ *Dunkelfeld Ringlicht, LED rot*
- ▶ *motorische Scharfstellung*
- ▶ *Tiefenschärfe $\pm 0,1$ mm*

- ▶ *Telezentrisches Objektiv*
- ▶ *Messbereich $0,7 \times 0,5$ mm²*
- ▶ *Auflösung $1 \mu\text{m}$*



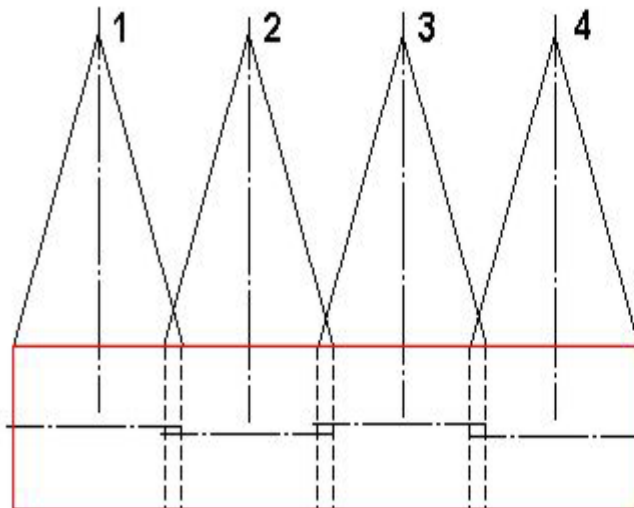
Beispiel zusammengesetzte Messbereiche - Kfz-Kabel Prüfung der Bestückung und Maßhaltigkeit

- ▶ *4 Kameras*
- ▶ *Endozentrische Objektive*
- ▶ *Messbereich gesamt 1500 x 280 mm²*
- ▶ *Auflösung 0,5 mm*
- ▶ *Durchlicht, LED IR*



Beispiel zusammengesetzte Messbereiche - Kfz-Kabel Prüfung der Bestückung und Maßhaltigkeit

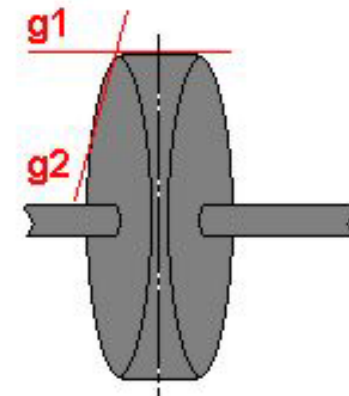
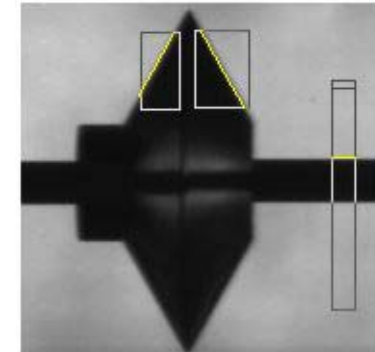
► Einrichten: mechanisch / rechnerisch



Anpassung der Messbereiche

mechanisch:
- Verdrehung
- Abbildungsmaßstab

rechnerisch:
- Mittellinie
- Überlappung



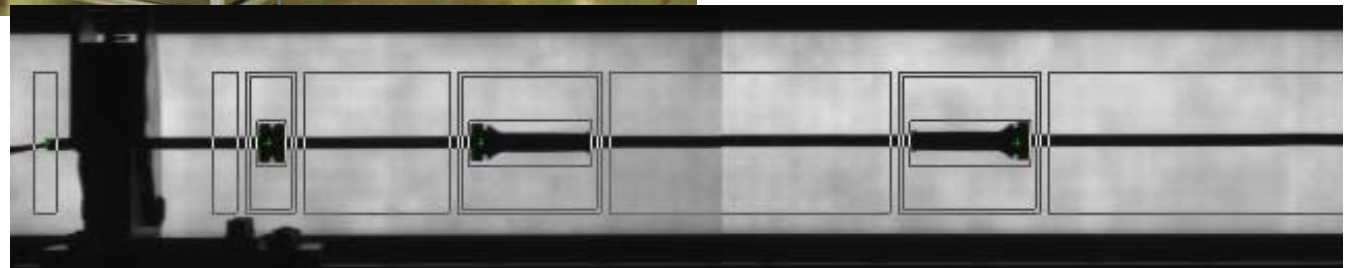
Messbereichsrand

Beispiel zusammengesetzte Messbereiche - Kfz-Kabel Prüfung der Bestückung und Maßhaltigkeit



- ▶ *Tolerant gegen Schwingen*
- ▶ *Lagekorrektur vom Kabelanfang aus*
- ▶ *Suchfenster für Tüllen*

▶ *Monitorbild*



DVT Smartsensoren der Legend-Serie

- ▶ *Stand-alone Bilderfassungs- und Verarbeitungssystem*
- ▶ *wirtschaftliches Realisieren von BV-Lösungen im Bereich dimensionelles Messen und Prüfen*
- ▶ *Low-Cost-CMOS und Standard-CCD*
- ▶ *High-Speed- und Megapixelausstattung*
- ▶ *Farbsensor*
- ▶ *Messen geometrischer Größen*
- ▶ *Vergleichen von Konturen*
- ▶ *Finden von Objekten*
- ▶ *Bestimmen von Teilepositionen*
- ▶ *Zählen von Flanken oder Objekten*
- ▶ *Bar- oder Data Matrix Code lesen*
- ▶ *OCR Schrifterkennung*



DVT Smartsensoren der Legend-Serie

► Ausstattung und Leistungsparameter der DVT-Sensorfamilie

Legend 500 Serie	Legend 520	Legend 530	Legend 540	Legend 542 C	Legend 544	Legend 544C
Hauptfeature	low cost	Standard	High Speed Auswertung	High Speed Farbsensor	Hochauflösend	Hochauflösend Farbsensor
Sensortechnik	CMOS	CCD	CCD	CCD	CCD	CCD
Pixelanzahl	640 x 480	640 x 480	640 x 480	640 x 480	1280 x 1024	1280 x 1024
Sensorgroße	5 x 3.7 mm ² 1/3"-Format	4.8 x 3.6 mm ² 1/3"-Format	4.8 x 3.6 mm ² 1/3"-Format	3.6 x 2.7 mm ² 1/4"-Format	6 x 4.8 mm ² 1/2"-Format	6 x 4.8 mm ² 1/2"-Format
Pixelgröße	7.8 x 7.8 µm ²	7.4 x 7.4 µm ²	7.4 x 7.4 µm ²	5.6 x 5.6 µm ²	4.65 x 4.65 µm ²	4.65 x 4.65 µm ²
Messrate	75 fps	75 fps	75 fps	30 fps	10 fps	10 fps
Rechenleistung	60 MIPS	60 MIPS	360 MIPS	360 MIPS	360 MIPS	360 MIPS
Flash-Speicher	4 MB	4 MB	8 MB	8 MB	16 MB	16 MB
DRAM-Speicher	16 MB	16 MB	32 MB	32 MB	64 MB	64 MB

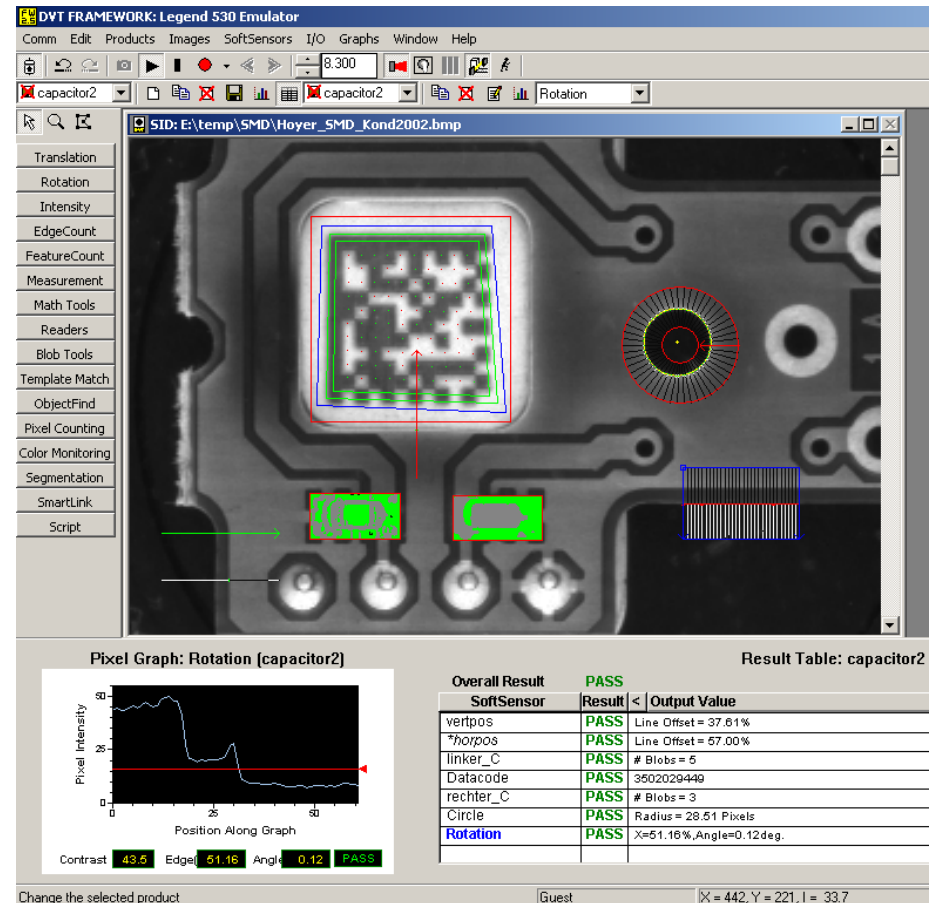
DVT Smartsensoren der Legend-Serie

► *Allgemeine Parameter und Optionen der DVT-Sensorfamilie*

Legend 500 Serie	Legend 520	Legend 530	Legend 540	Legend 542 C	Legend 544	Legend 544C
Belichtungszeit	10 µs... 1 s					
Spannungsversorgung	24 VDC geregelt, 210 mA, 5 W ohne integrierte Beleuchtung, 10 W mit integrierter Beleuchtung					
Dig. I/O-Kanäle	8, frei als Ein- oder Ausgänge konfigurierbar					
Dig. Signale	24 VDC, Eingänge NPN-Stromsenke (max. 1.5mA), Ausgänge PNP-Stromquelle (max. 50mA), high-aktiv					
Netzwerk	Integrierte Ethernet-Schnittstelle					
LAN-Anschluss	RJ45, 10/100 Mbit/s					
Beleuchtung	optional integrierte Ringbeleuchtung rot oder weiß					
ext. Beleuchtung	Triggerung mittels digitalem Ausgang					
Gehäuse	Kunststoff, 112 x 60 x 34 mm ³ (H x B x T) , ohne Objektiv, 50 mm für Kabelanschluss reservieren					
Montage	4x M4x7.9 mm Gewindebohrungen an Geräterückseite					
Objektivadapter	CS-Mount serienmäßig, C-Mount mittels Zusatzadapter					
Gewicht	170 g ohne Objektiv					
Temperaturbereich	0...45°C, typisch 20°C					

DVT Smartsensoren der Legend-Serie

- ▶ **Installationssoftware „FrameWork“**
- ▶ **Bildeinzug auf den PC**
- ▶ **Gestaltung und Parametrieren der Prüfpläne am PC**
- ▶ **Testen der Prüfpläne auf dem Smartsensor**
- ▶ **Darstellung der Mess- und Prüfergebnisse am PC**
- ▶ **zum Betrieb des Sensors ist der PC nicht erforderlich**
- ▶ **digitale Schnittstellen zum Signalisieren der Ergebnisse an den Fertigungsprozess**



DVT Smartsensoren der Legend-Serie

- ▶ Autarker Betrieb des Sensors
- ▶ Ethernet zum PC
- ▶ Digitaler Ausgang zur externen Beleuchtung
- ▶ Digitale Schnittstelle zur Maschine

