
Inline-Fehlerdetektion auf freigeformten texturierten Oberflächen im Produktionsprozess

C. Lucht, F. Gaßmann, R. Jahn; Zentrum für Bild- und Signalverarbeitung e.V.

Inhalt:

- ▶ Prüfaufgabe und Problemanalyse
- ▶ Lösungsansatz für die Oberflächeninspektion :
Templatebasierter Vergleich von Texturmerkmalarten
Konzept
- ▶ Diskussion von geeigneten Texturmerkmalen
- ▶ Fazit

Die Präsentation beinhaltet Ergebnisse eines **AiF-geförderten** Projekts.

Prüfobjekt: Kfz-Verkleidungsteile

Gepresste Lamine mit formstabiler Hinterspritzung

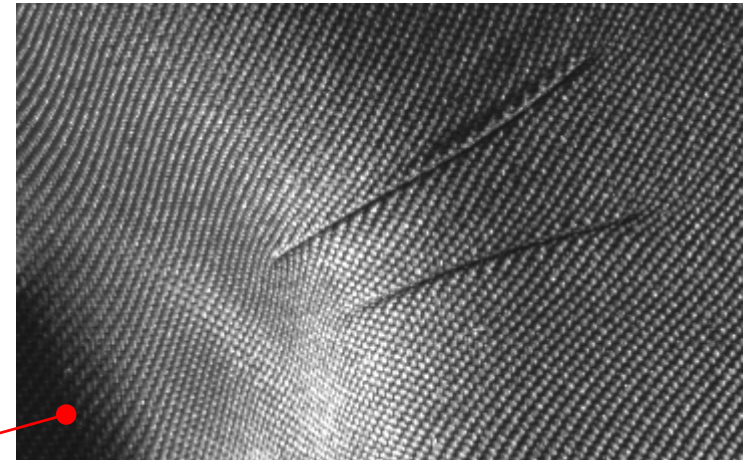
- ▶ Form / Größe:
 - Flächenabmessung bis ca. 0,5 m²
 - **3D-Freiform-Oberfläche**, meist sehr komplex
 - vor Hinterspritzung elastisch verformbar
- ▶ Oberfläche:
 - vorrangig **textile Materialien**, auch Leder bzw. Kunststoffe / Imitate (ca. 15 %)
 - **unifarben** (ca. 4 Farben)
 - komplexe Texturen: - Textil: hohe Periodizität
 - Leder: statistisch
 - geringer Glanz



Wesentliche Fehler:

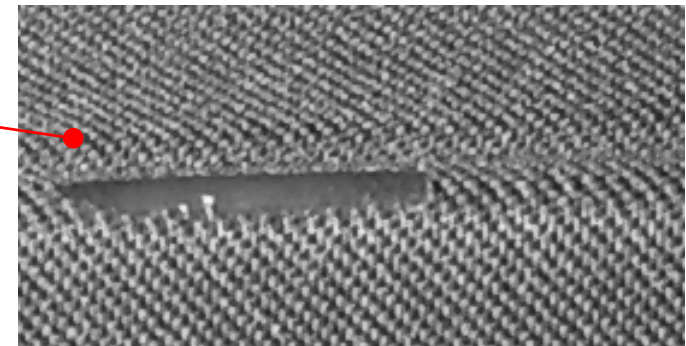
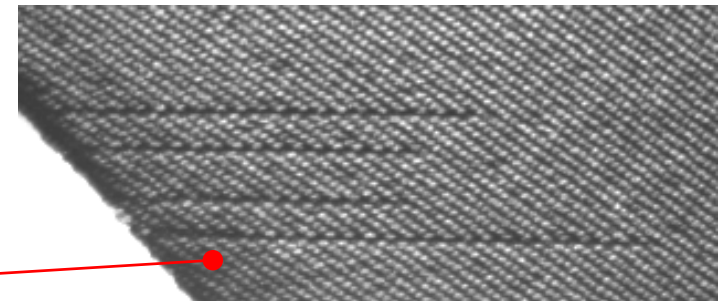
▶ **Formfehler**

- Formhaltigkeit (bzgl. Soll-Form)
- lokale 3D-Verformungen (z.B. Blasen, abgelöstes Dekor)



▶ **Oberflächenfehler**

- Falten
- Lokale Strukturabweichungen
- ausgelöste Fäden
- Durchspritzungen
- Verschmutzungen



Prüfprozess:

Ziel: 100%, BV-gestützt, in separaten Prüfstationen während der Fertigung

Fertigung		Fehler	Prüfung (Variante)
1. Pressen	→	Formabweichung, Falten	1. Prüfstation
2. Zuschneiden	→	Ausgelöste Fäden	
3. Hinterspritzen	→	Durchspritzungen, Blasen, Druckstellen, Einsenkungen	2. Prüfstation

- Randbedingungen:**
- geringe Inspektionszeit (ca. 20 s)
 - häufiger Wechsel von Objekt, Material, Farbe

Problemanalyse

▶ Erfassung der Oberfläche:

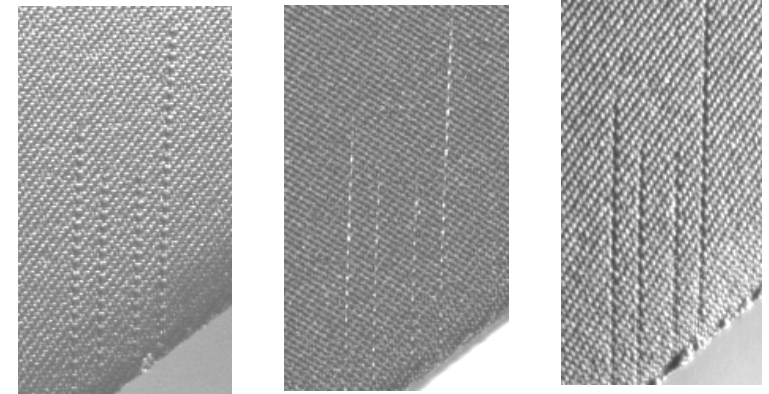
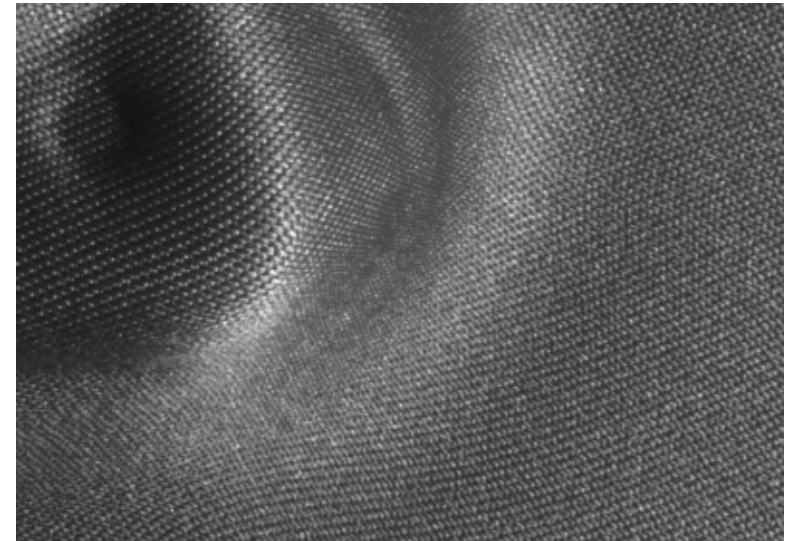
- großflächige Erfassung mit möglichst wenigen Bildaufnahmen (wegen Zeitvorgaben)

! inhomogener Textureindruck durch regionale Unterschiede in :

- Objektdistanz
- Oberflächenneigung
- Beleuchtungsgeometrie

! bei starker Neigung wird Oberfläche unzureichend abgebildet

➔ Objekt und/oder Aufnahmeanordnung relativ zueinander in Optimallagen verkippen



Textureindruck bei unterschiedlicher Beleuchtung

■ Problemanalyse

▶ Analyse der erfassten Oberflächenbilder:

- Berücksichtigung der formbedingten Verzerrungen / Texturänderungen
- maßgeblicher Einsatz der **Texturanalyse (Texturmerkmale)**

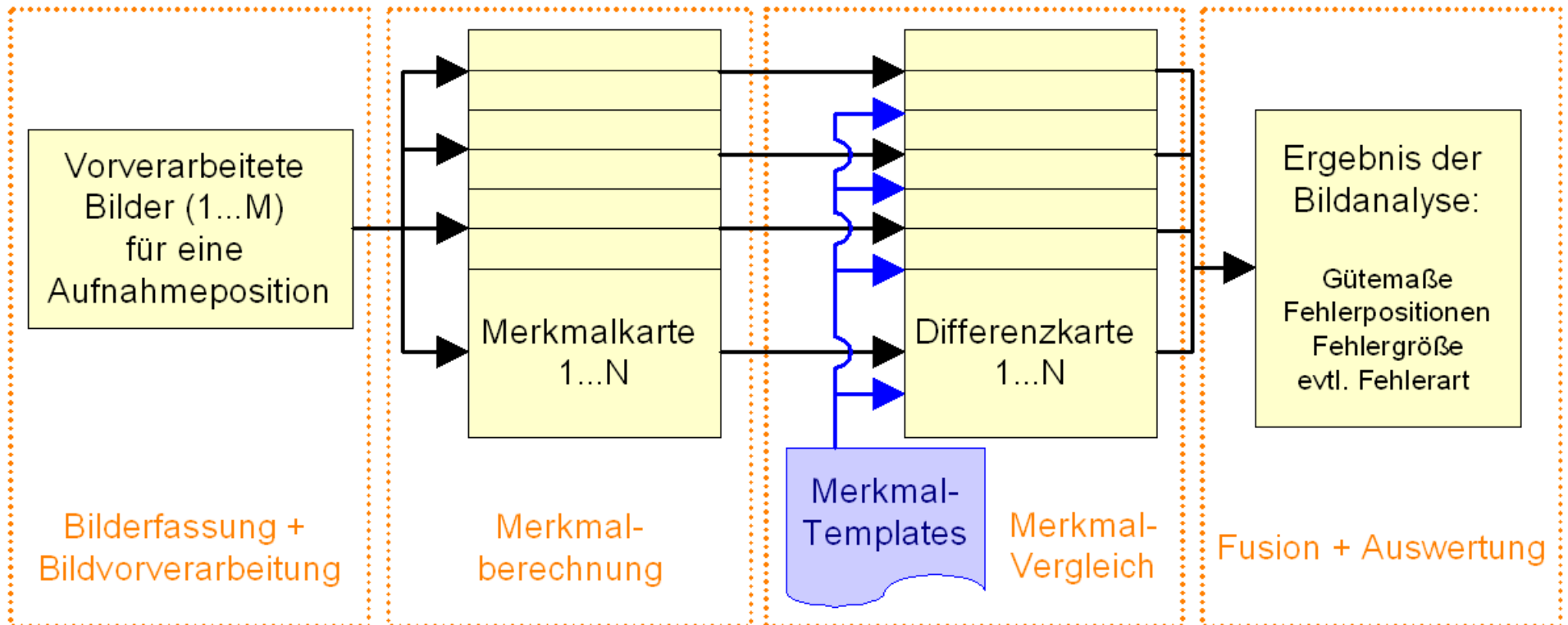
Anforderungen:

- **schnell**
- Abdeckung einer **großen Bandbreite** an Texturen, Fehlern und Auflösungen
- **Invarianzeigenschaften** (Phase, individuelle Ausprägung)
- einfache, schnelle Parametrierung und Belehrung

➔ möglicher **Lösungsansatz:**

Templatebasierter Vergleich von Merkmalkarten der Oberflächenbilder

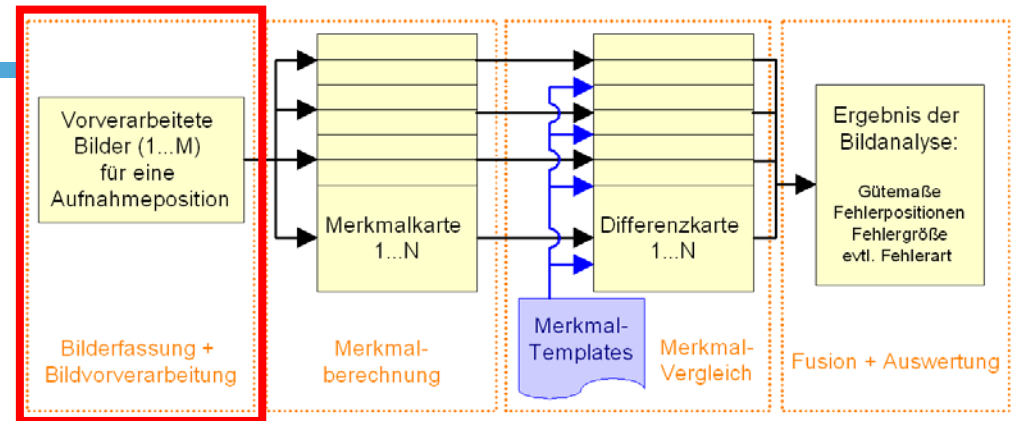
Lösungsansatz - Konzept



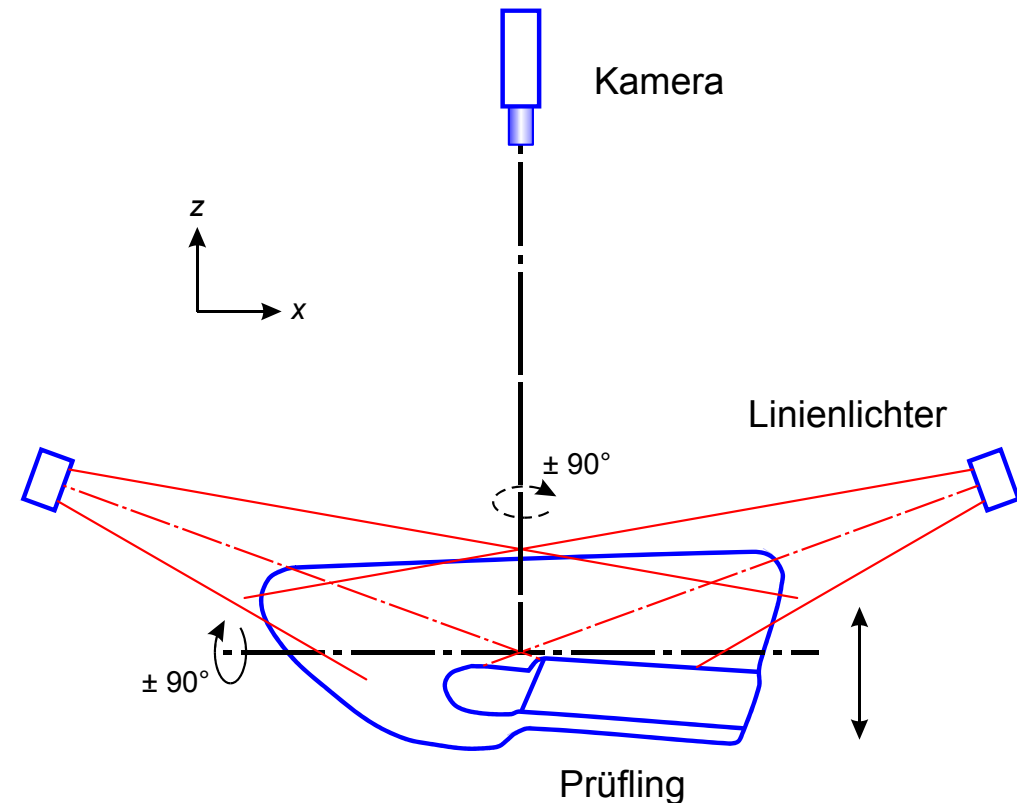
Grundkonzept für den Vergleich von Merkmalskarten der Oberflächenbilder

Konzept - Bilderfassung

Bilderfassung

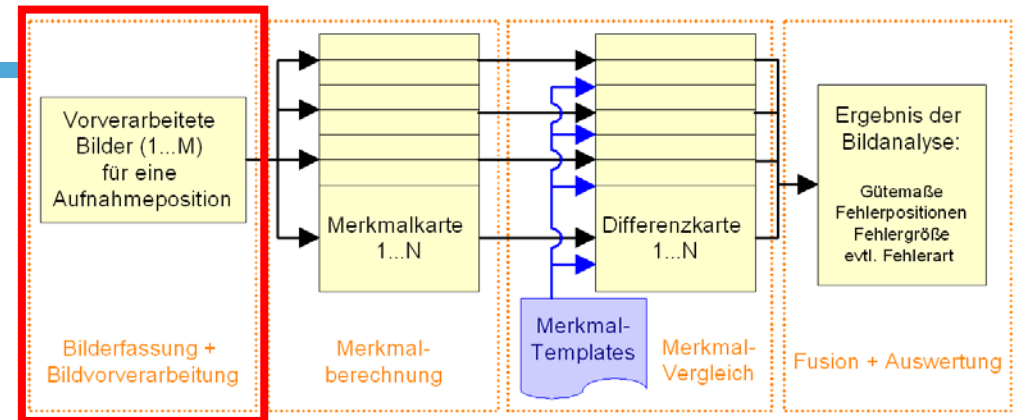


- monochrome Matrixkameras
- blitzbare, linienförmige Beleuchtungsmodule (z.B. LED-Zeilen) zur Flächenausleuchtung unter flachem Winkel
- adaptierbare Kamera-Beleuchtungs-Anordnung (bei Bilderfassung fix)
- Positionierung der Prüfobjekte (z.B. mit Roboterarm) in vordefinierten Lagen



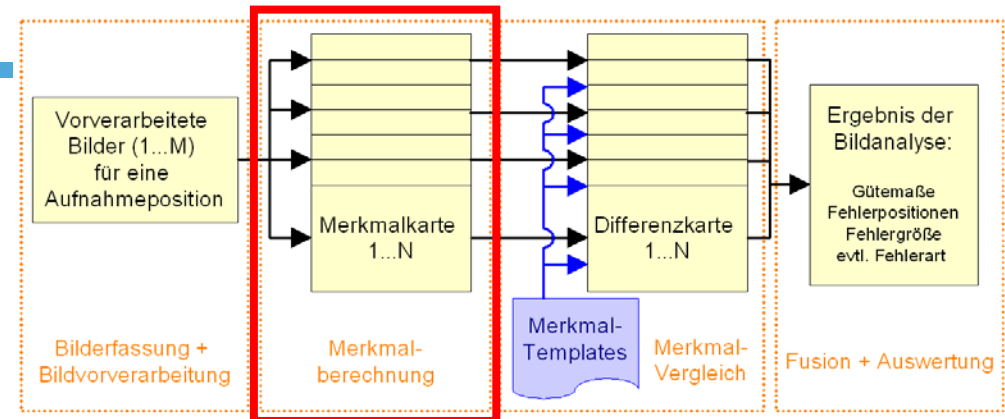
Konzept - Bildvorverarbeitung

Bildvorverarbeitung



- Shadingkorrektur
- Vorfilterung zur Verbesserung der Merkmalbestimmung
- Histogrammtransformationen
- pyramidale Zerlegung der Quellbilder in unterschiedliche Auflösungsebenen
- Maskierung relevanter Oberflächenregionen

Konzept - Merkmalsberechnung

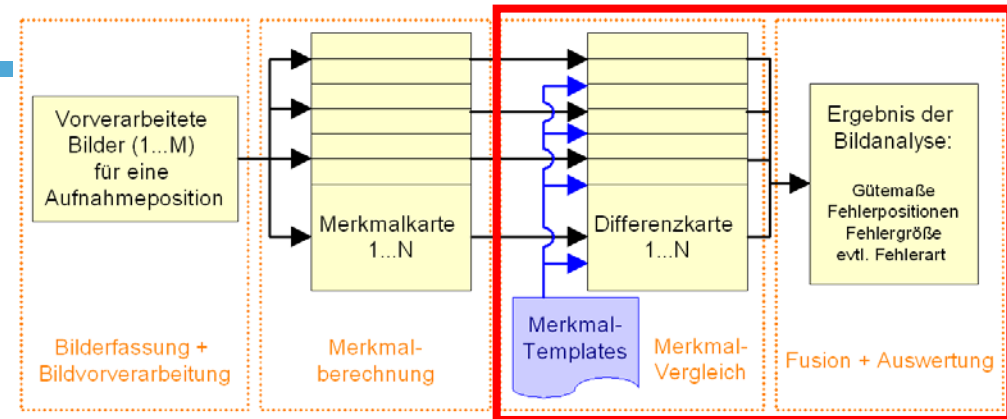


Merkmalsberechnung

- Berechnung von Merkmalkarten (1...N, entsprechend Auswahl, Regionenmaskierung)
- Merkmalauswahl:
 - Merkmale mit erforderlichen **Invarianzeigenschaften**
 - **schnelle Algorithmen**
 - **einfache Parametrierung und Belehrung**
 - Auswahl und Parametrierung nach vorliegender Oberflächentextur und erwarteten Fehlern (in Belehrungsphase erstellte Rezepte)

■ Konzept – Vergleich / Auswertung

▶ Merkmalvergleich, Fusion und Auswertung



- Berechnung von Differenzkarten zwischen Merkmalkarten des Prüflings und „Golden Templates“
 - Regionenbegrenzter Merkmalvergleich
 - Nutzung ortsunscharfer Verfahren
- Gewichtete Fusion/Auswertung der Differenzkarten
 - Berechnung von Gütemaßen, Fehlerpositionen, Fehlergrößen, evtl. Fehlerarten (auf Kartenniveau und/oder mit höherer Abstraktion)
 - Globale Entscheidung zur Qualität des Prüfobjekts (Zusammenführung der Ergebnisse aller Aufnahme-positionen)

▶ Belehrung

- Auswahl der **Kamera-Beleuchtung-Anordnung** (Adaption an Prüfobjekt)
- Festlegung von **Bildaufnahmepositionen und Regionenmasken** (Maskierung von Regionen in Abhängigkeit von Oberflächeneigenschaften, z.B. zulässige Neigung)
- Regionenspezifische Selektion geeigneter **Einzelmerkmale und deren Parametrierung** (Möglichkeiten der Adaption an Texturcharakteristik und/oder Fehlereigenschaften)
- **Templategenerierung** aus Merkmalsbildern von Gutmustern
- **Schwellwertermittlung** (zulässige relative Abweichungen von den Templates), Festlegung von **Gewichten und Regeln** für Ergebnisfusion und Entscheidungsfindung

Auswahl von Texturmerkmalen

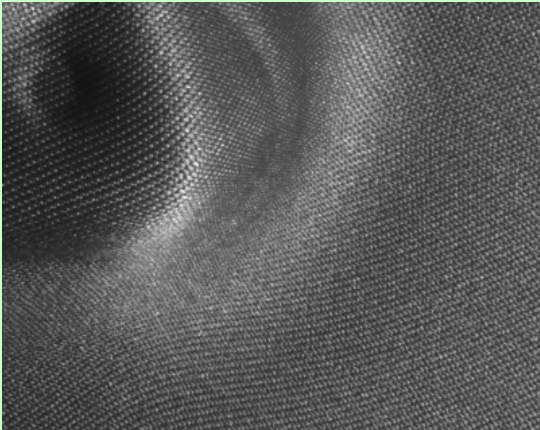
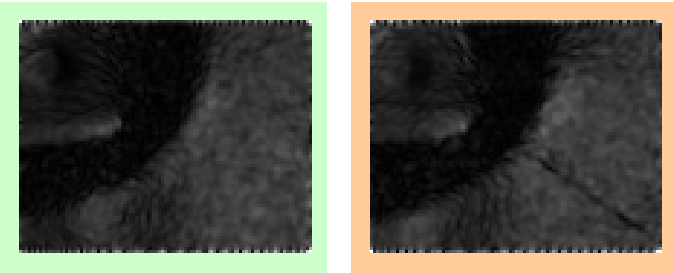

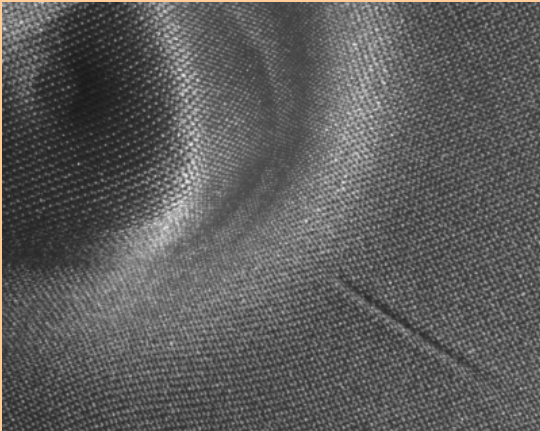
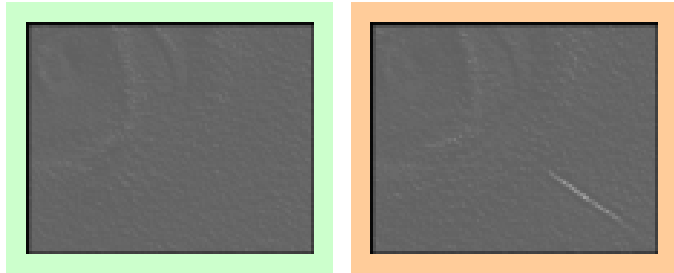

- ▶ FIR-Filter, Organisation zu Filterbänken (in verschiedenen Auflösungsebenen)
 - **Bandpässe** (Gaborfilter, Wavelets)
 - **Optimalfilter** (bzgl. Texturtrennung, basierend auf lokalen Kovarianzmatrizen)
 - weitere Filtersätze (z.B. Law-Texturenergiemasken)

- ▶ Pro:
 - schnell
 - hohe Auflösung realisierbar

- ▶ Kontra:
 - wirken sehr selektiv bzgl. Orientierung, Fehlergröße, Individualausprägung
→ große Filterbank bei systematisch abgestufter Parametrierung
oder
→ Textur- / Fehleradaption (Belehrung erforderlich, eingeschränkte Fehlervielfalt)

- ▶ Eignung:
 - periodische Texturen: ✓
 - statistische Texturen: teilweise

Auswahl von Texturmerkmalen

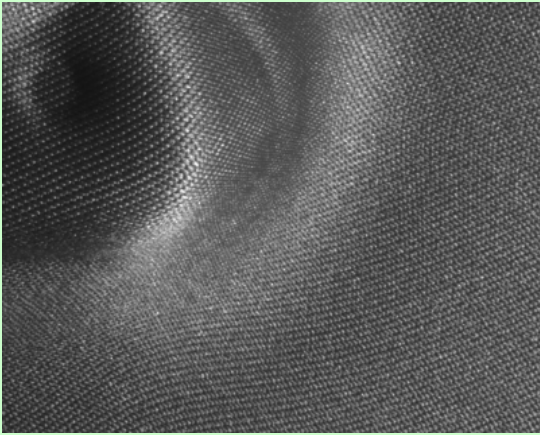
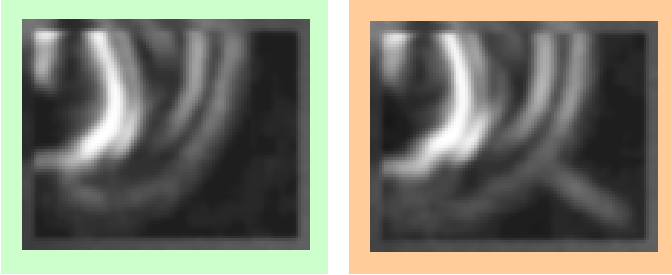
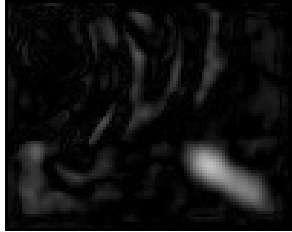

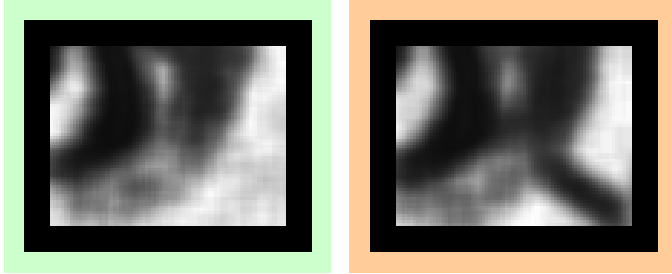

	Originalbilder	Merkmalbilder	Merkmalvergleich
Gutmuster			
		adaptierter Bandpass-Filter (Gaborfilter)	
fehlerhafter Prüfling			
		adaptierter Optimalfilter	

Falte

Auswahl von Texturmerkmalen

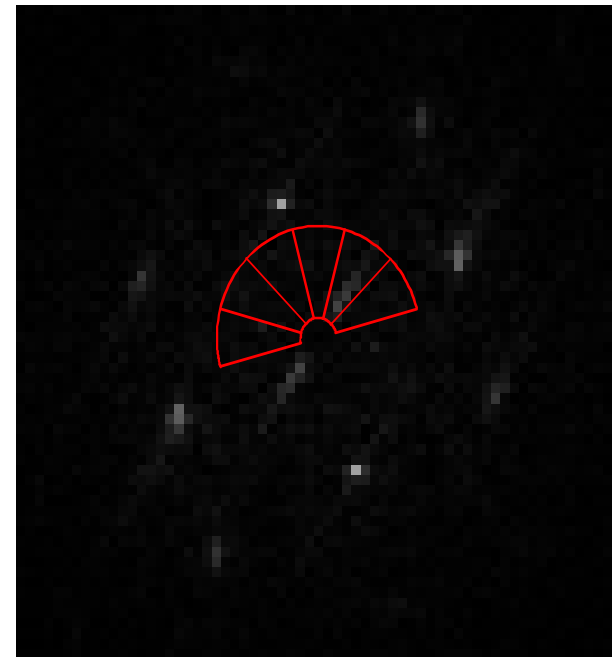
- ▶ Merkmale der lokalen Grauwertstatistik
 - **Integrale Merkmale der Statistik 1. Ordnung** (lokale Häufigkeiten)
 - Mittelwert, Varianz, höhere Momente, Entropie, ...
 - **Integrale Merkmale der Statistik 2. Ordnung**
(Co-Occurrence-Matrizen, Neighbouring Grey Level Dependency Matrix)
 - Energie, Kontrast, Korrelation, Min./Max.-Emphasis, ...
- ▶ Pro:
 - schnell (bei Statistik 1. Ordnung)
 - geringer Belehrungsaufwand
 - universell einsetzbar
- ▶ Kontra:
 - relativ langsam (bei Statistik höherer Ordnung)
 - geringe Auflösung (wegen erforderlicher Phaseninvarianz)
- ▶ Eignung:
 - periodische Texturen: ✓
 - statistische Texturen: ✓

Auswahl von Texturmerkmalen

	Originalbilder	Merkmalbilder	Merkmalvergleich
Gutmuster			
lokale Varianz			
fehlerhafter Prüfling			
lokale Energie (aus NGLD-Matrix berechnet)			
	Falte		

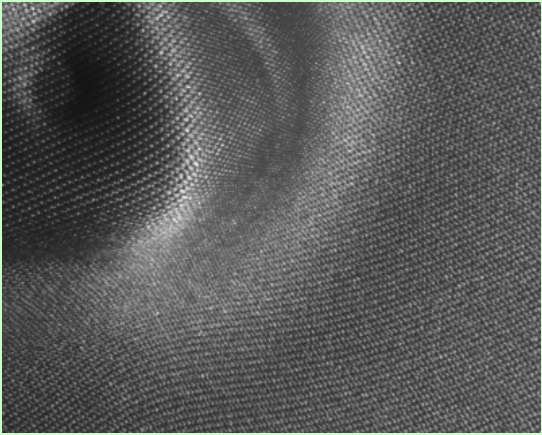


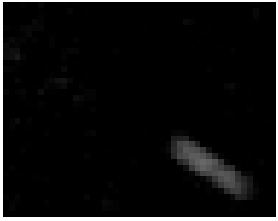


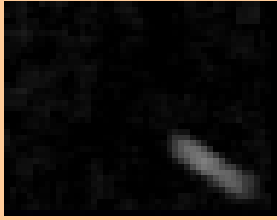
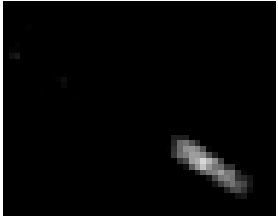

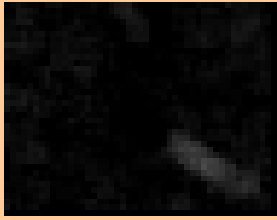
Auswahl von Texturmerkmalen

- ▶ Merkmale aus Korrelationsmatrizen bzw. Entsprechungen im Orts-Frequenz-Raum
 - **Ringsegmentintegrale im lokalen Powerspektrum**
 - Berechnung von lokalen Powerspektren (auf FFT basierend)
 - Gliederung in Ringsegmente (Ringe, Sektoren)
 - Integrale über Ringsegmente als Merkmale
- ▶ Pro:
 - robuste Detektion von Abweichungen (Orientierung, Störfrequenzen)
 - relativ geringer Belehrungsaufwand
- ▶ Kontra:
 - relativ langsam
 - geringe Auflösung
- ▶ Eignung:
 - periodische Texturen: ✓
 - statistische Texturen: teilweise



Bsp. : Powerspektrum,
6 Ringsegmente
(1 Ring, 6 Sektoren)

Auswahl von Texturmerkmalen

	Originalbilder	Merkmalbilder		Merkmalvergleich
Gutmuster				
		▪	▪	Maximale Differenz
		▪	▪	
		▪	▪	
fehlerhafter Prüfling				
				Summe der Differenzquadrate

Falte

Ringsegmentintegrale im lokalen Powerspektrum

Fazit

- ▶ Die Prüfaufgabe ist in jeder Hinsicht anspruchsvoll.
 - ▶ Der vorgestellte **templatebasierte Vergleich von Merkmalkarten** ist ein **erfolgsversprechender Lösungsansatz** für die Bildanalyse der Prüfobjektoberfläche.
 - ▶ Als Merkmale eignen sich **Texturfilterergebnisse** sowie **integrale Merkmale** der **lokalen Grauwertstatistik** und des **lokalen Powerspektrums**.
 - ▶ **kein allgemein nutzbarer Merkmalsatz verfügbar** → **individuelle Rezepte** für jede Bauteilform und Oberflächentextur (teilweise mit aufwendiger Belehrung)
- Die bisherigen Untersuchungen zum Lösungsansatz stimmen positiv, zeigen aber auch einen immensen Entwicklungsbedarf auf.
- ▶ Umsetzung des Bildanalysekonzepts sowie die Entwicklung, Erprobung und Evaluierung der Algorithmen sind Gegenstand aktueller Arbeiten.

Vielen Dank für Ihre Aufmerksamkeit.