K.-H. Franke / H. Kempe / C. Lucht

Automatisierung der industriellen Warenschau bei komplex gemusterter Bahnenware - eine Herausforderung an die Bildanalyse

1 Einleitung

Die Gewährleistung von gleichbleibend hohen Qualitätsmerkmalen durch 100%-Kontrolle ist bei vielen Produkten inzwischen zu einem entscheidenden Argument im Wettbewerb geworden. Bei den meisten industriellen Prozessen herrscht der Trend zur Automatisierung dieser Aufgaben vor. Die wesentlichen Gründe dafür sind die Objektivierung der Kontrollergebnisse, die Reduzierung der Produktionskosten oder die Humanisierung der Arbeitswelt.

Die Prozeßüberwachung und Qualitätskontrolle strukturierter Oberflächen von bandförmigen, bewegten Materialien (Bahnenware) in der Textilproduktion und in Branchen mit ähnlichen Anforderungen (z.B. Holzverarbeitung) wird häufig noch mittels visueller Begutachtung durch den Menschen realisiert. Dies liegt u.a. an den hohen Anforderungen, die aus der Komplexität der Kontrollaufgabe bei gleichzeitig hohen Qualitäts- und Geschwindigkeitsvorgaben resultieren.

Dieser Beitrag widmet sich der automatischen Kontrolle von Bahnenware am Beispiel der Textilproduktion. Nach einer Darstellung von wesentlichen Anforderungen an den Kontrollprozeß wird eine kurze Übersicht zu einschlägigen Arbeiten an der TU Ilmenau und im Zentrum für Bild- und Signalverarbeitung e.V. gegeben. Anhand eines Verfahrens zur Farbmusterunterdrückung von Teppichoberflächen und eines Ansatzes zur Bestimmung von Materialverzug soll die Problematik vertieft werden.

2 Problemstellung

Bei der Qualitätskontrolle in der Textilindustrie sind komplexe, großflächige und meist mehrfarbige Muster zu untersuchen, deren Beschreibungen von statistisch bis streng determiniert variieren. Gleichzeitig soll in der Mehrzahl der Fälle die Fein- oder Fadenstruktur der Textilware (z.B. Gewebe, Wirk- und Strickware) überwacht werden. Es ist also einerseits örtlich weitreichende Kontextinformation zu verarbeiten, andererseits muß eine hohe Grundauflösung realisiert werden, um die Parameter der Fadenstruktur zugänglich zu machen (bis zu 140 Fäden/cm bei synthetischen Geweben [1]).

Der Inspektionsprozeß erfolgt auf mehrere Meter breiten Warenbahnen mit hoher Transportgeschwindigkeit. In Abhängigkeit von Material und Verarbeitungsschritt können Geschwindigkeiten bis 200 m/min^{-1} und mehr erreicht werden. Als wesentliche Randbedingung muß das rauhe, industrielle Umfeld angesehen werden. Neben Einflußfaktoren wie Lichtverhältnisse, mechanische Erschütterungen, Temperatur und Feuchtigkeit darf vor allem die Staubentwicklung nicht unterschätzt werden.

Bedingt durch die Art der Ware (vor allem Maschenware) und die gegenwärtig eingesetzten Maschinenstraßen kommt es zusätzlich zu Verzugserscheinungen, die bei der Musteranalyse in geeigneter Weise berücksichtigt bzw. toleriert werden müssen. Andere Aufgabenstellungen setzen die genaue Messung des Verzuges voraus, um ihn beim Ausrichten und Fixieren der textilen Waren zu beseitigen.

Die Palette der möglichen Fehler betreffend gibt es, wie bei den meisten Aufgaben dieser Art, keine umfassenden oder gar vollständigen Fehlerbeschreibungen. Dies liegt an der aufwendigen Fehlererfassung bei der industriellen Kontrolle, an zum Teil fehlenden bzw. schwer zu erstellenden Fehlersystematiken und Fehlerklassen und an der Tatsache, daß mit veränderlicher Produktpalette immer wieder neuartige Fehler auftreten.

3 Anforderungen an das Inspektionssystem

Die Besonderheiten der Problemstellung führen zu hohen Anforderungen an die Komponenten des Inspektionssystems und damit zu starken Einschränkungen bezüglich der Geräteauswahl.

So muß bei der Bilderfassung auf die bewährten Laserscanner und Schwarz-Weiß-CCD-Kameras verzichtet werden. Sie sind für die Analyse von komplexen Farbmustern ungeeignet, auch wenn eine Ergänzung durch einzelne Farbsensoren ins Auge gefaßt wird. Aus heutiger Sicht können nur Farbflächen- und Farbzeilen-CCD-Kameras diese Aufgabe erfüllen. Hohe Bahngeschwindigkeiten und gleichzeitig sehr kleine Objektdetails erfordern sehr schnelle und hochauflösende Kamerasysteme. Bei gleichzeitig großen Bahnbreiten ist dies nur durch Aneinanderreihung mehrerer Kameras realisierbar.

Scharfe Abbildungen bei großen Geschwindigkeiten bedingen kurze Belichtungszeiten und somit leistungsstarke Beleuchtungssysteme. Des Weiteren muß eine hohe örtliche Homogenität und zeitliche Konstanz der Beleuchtung gewährleistet werden. Für die Farbbilderfassung sind Lichtquellen mit möglichst gleichmäßiger Spektralverteilung über den gesamten sichtbaren Frequenzbereich notwendig. Die meisten konventionellen Beleuchtungssysteme genügen diesen Anforderungen nicht. Bedingt geeignet sind Halogen- und Bogenlampen, lichtstarke Leuchtstoffröhren, Stroboskope sowie Kaltlichtquellen mit faseroptischer Querschnittwandlung.

Die Verarbeitung der Bilddaten bei gleichzeitiger Bewältigung eines hohen Datenflusses bedarf einer leistungsstarken Rechentechnik mit angepaßter Verarbeitungsstruktur. Für die visuelle Oberflächeninspektion bedeutet dies nicht selten eine Abkehr von preiswerten Standardsystemen hin zu parallelverarbeitenden Architekturen und speziellen Beschleunigungskonzepten. Die für die In-line-Kontrolle erforderliche Echtzeitverarbeitung kann meist nur mit erheblichem Aufwand verwirklicht werden.

Ganz entscheidend für das Leistungsvermögen eines Inspektionssystems ist die verwendete Bildverarbeitungssoftware. Effiziente Algorithmen müssen sich durch hohe Ergebnisqualität, Geschwindigkeit, Adaptionsfähigkeit, Stabilität, Bedienbarkeit und optimale Hardwareumsetzung auszeichnen.

Betrachtet man den gegenwärtigen Entwicklungsstand in der automatischen Warenschau, so ist feststellen, daß die Leistungsfähigkeit der verwendeten Systeme nicht ausreicht. Trotz der bereits erreichten hohen Erkennungssicherheit von Fehlern auf unifarbenen Materialoberflächen ist die Fehlerklassifikation noch mangelhaft. Am Markt fehlen Systeme, die über die Inspektion der Oberflächenstruktur hinaus eine schnelle Analyse komplexer Farbmuster ermöglichen. Neben der mäßigen Leistungsfähigkeit von Technik und Algorithmik zeichnen auch inakzeptabel hohe Preise dafür verantwortlich, daß die breite Markteinführung hochwertiger, automatischer Inspektionssysteme noch nicht gelungen ist.

Aus der geschilderten Situation leitet sich eine hohe Herausforderung an die Bildverarbeitungsbranche ab, die durch ständig wachsenden Bedarf an automatischer Qualitätskontrolle unterstrichen wird.

4 Arbeiten der TU Ilmenau und des ZBS e.V. zur Problemlösung

In den Arbeiten der TU Ilmenau und des ZBS e.V. nimmt die Entwicklung von Verfahren und Applikationen zur Oberflächeninspektion bereits seit Jahren einen großen Anteil ein. Neben der Analyse von

textilen Strukturen wurden und werden verschiedene Problemlösungen zur Beurteilung von Halbleiter-, Holz- und Keramikoberflächen entwickelt. Weiterhin konnten im medizinischen Bereich bei der Untersuchung von krankhaften Hautarealen Erfahrungen gesammelt werden.

Aufgrund dieser breiten Palette von Anwendungsfällen sowie grundlegender und übergreifender Forschung konnte schwerpunktmäßig in der Texturanalyse und in der Farbbildverarbeitung ein umfangreiches algorithmisches Know-how angesammelt werden. Ausdruck dafür sind u.a. die Ergebnisse im BMBF-Verbundprojekt 'Texauge" [2][3]. Einen Überblick zu wesentlichen Untersuchungen beider Einrichtungen soll Abbildung 1 vermitteln.

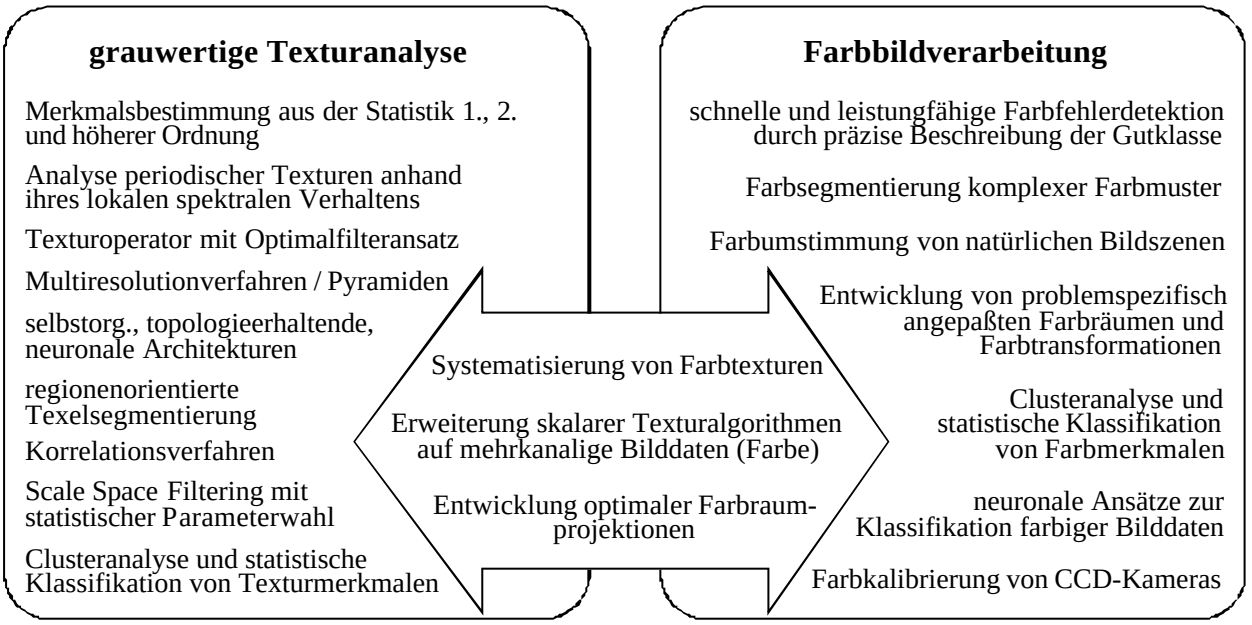

Abbildung 1 Auswahl wesentlicher Untersuchungen von TU Ilmenau und ZBS e.V. auf dem Gebiet der Texturanalyse und der Farbbildverarbeitung

Insbesondere bei der Untersuchung von textilen, mehrfarbigen Oberflächen wurde deutlich, daß eine strikte Trennung von Textur- und Farbanalyse, wie sie in der Bildverarbeitung derzeit vorherrscht, nur bedingt zu guten Ergebnissen führt. Aus diesem Grund wurden vor allem durch das ZBS verstärkte Anstrengungen hinsichtlich einer Systematisierung der Farbtexturproblematik und einer algorithmischen Verknüpfung beider Bildverarbeitungsgebiete unternommen [2][3][4] (siehe auch Abbildung 1).

Als kleiner Einblick in das Methodenrepertoire und zur Veranschaulichung der Problemstellung sollen zwei einfache, aber dennoch effiziente Lösungsansätze zu Teilproblemen der textilen Oberflächeninspektion vorgestellt werden.

5 Ausgewählte Lösungsansätze zu Teilproblemen der textilen Oberflächeninspektion

5.1 Unterdrückung der Farbmusterung zur Inspektion von Oberflächenstrukturen

Die Herstellung von Schlingenteppichbelägen erfolgt durch Aufknüpfen farbiger Wollfäden auf ein Trägermaterial. Je nach Art der Gestaltung der Teppiche entstehen dabei mehr oder weniger komplexe, farbige Muster. Innerhalb einer Qualitätskontrolle besteht nun die Aufgabe, die Vollständigkeit der Wollfäden sowie deren gleichmäßige Anordnung zu überprüfen.

Bei der Lösung dieser Aufgabenstellung stellte sich heraus, daß für die Mehrzahl der möglichen Ver-

fahren eine Unterdrückung der Farbmusterung förderlich ist. Die Reduzierung der Farbinformation muß unter der Voraussetzung erfolgen, daß die Oberflächenstruktur der Teppichware erhalten bleibt. Als optimales Ergebnis wird eine grauwertige Schlingentextur ohne farbmusterbedingte Grauwertschwankungen erwartet. Die Bewertung der Oberflächentextur erfolgt im weiteren durch angepaßte Grauwertalgorithmen.

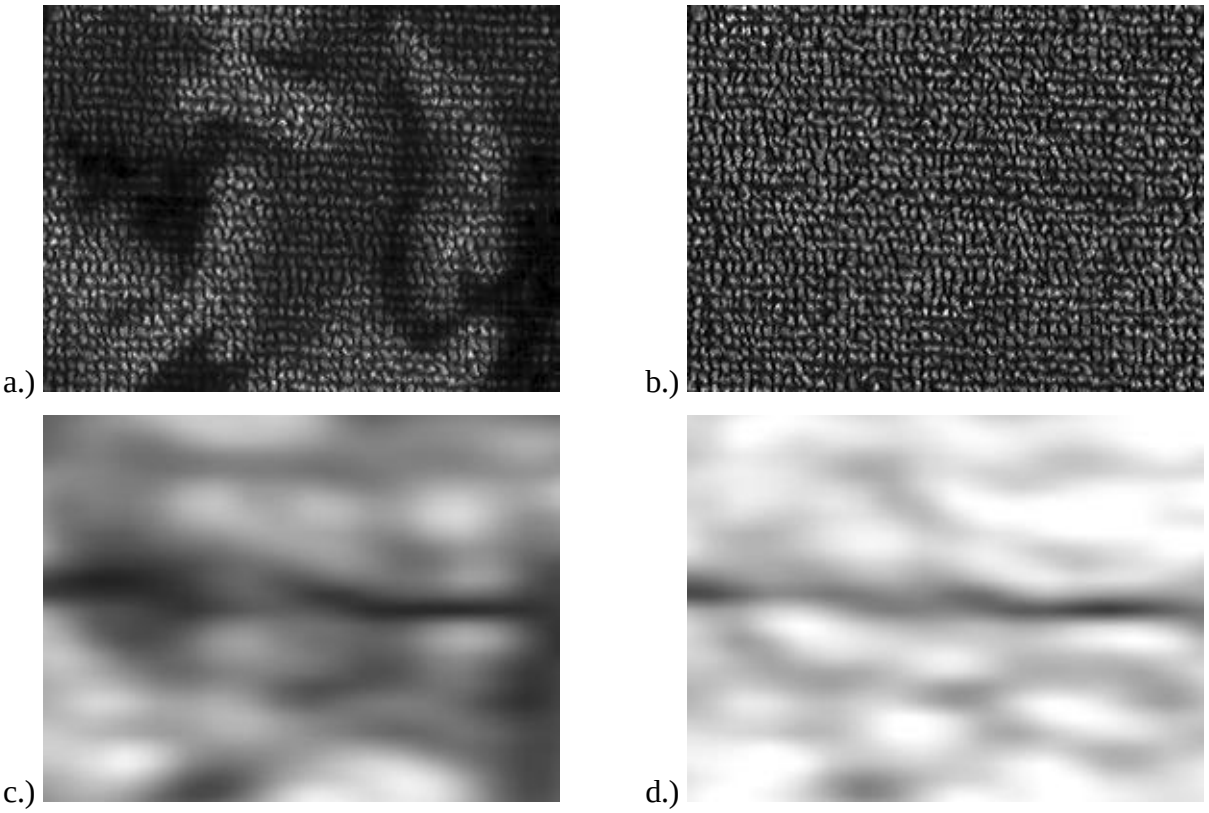

Abbildung 2 Farbunterdrückung und Detektion von Strukturfehlern in Teppichware, a.) Helligkeitsbild der farbigen Teppichprobe, b.) Grauwertbild nach Anwendung der Farbunterdrükkung; detektierter Strukturfehler c.) ohne d.) mit Farbunterdrückung

Für die Realisierung der Farbmusterunterdrückung sind verschiedene Verfahren denkbar. Eine Möglichkeit besteht in der Aufteilung des Farbraumes in mehrere Regionen, wobei für jede Region ein separates Histogramm bezüglich einer Lernmusterprobe gebildet wird. Von diesen Teilhistogrammen lassen sich nun Parameter ableiten, die einen anschließenden linearen Histogrammausgleich gestatten. Zur Aufteilung des Farbraumes wurden zwei Varianten untersucht. In der ersten Variante erfolgt die eindimensionale Aufteilung des Farbvektors $\underline{F}$ nach dem in (1) gezeigten Buntton B, welcher aus einem von *Ohta* vorgeschlagenen Farbtransformationssystem hervorgeht [5]. Bei der zweiten Variante wird der Farbraum zweidimensional nach den Farbraumkomponenten O_2 und O_3 aufgeteilt. Als histogrammbildendes Merkmal wird die Intensität O_1 verwendet.

$$O_1 = \frac{1}{3}\begin{pmatrix}1\\1\\1\end{pmatrix}^T \underline{F}, \quad O_2 = \frac{1}{2}\begin{pmatrix}1\\0\\-1\end{pmatrix}^T \underline{F}, \quad O_3 = \frac{1}{4}\begin{pmatrix}-1\\2\\-1\end{pmatrix}^T \underline{F}, \quad B = \arctan\left(\frac{O_2}{O_3}\right) \qquad (1)$$

Alternativ zu der eben beschriebenen Aufteilung des Farbraumes, ist eine explizite Farbsegmentierung unter Verwendung von Farbklassifikatoren möglich. Der Histogrammausgleich erfolgt dann bezüglich der Farbklassen. Aufgrund der notwendigen Tiefpaßfilterung vor der Farbklassifikation ist dieser Ansatz

im Vergleich zur ersten Farbunterdrückungsmethode rechenaufwendiger, verhält sich jedoch in der Gesamtheit robuster.

Die verbesserte Fehlererkennung durch Anwendung der Farbunterdrückung veranschaulicht Abbildung 2. Auf den Bildausschnitt einer Teppichoberfläche mit fleckenartiger Farbmusterstruktur wird die erste Farbunterdrückungsmethode (Abb.1b) und eine lineare Helligkeitsprojektion (Abb.1a) angewandt. Zur Auswertung der grauwertigen Oberflächenstruktur wird ein Standardverfahren der statistischen Texturanalyse genutzt. Man kann feststellen, daß die linienhafte Fehlstelle (Schlingenmusterversatz) in der Bildmitte mit Farbmusterunterdrückung deutlich sicherer detektiert wird als ohne.

5.2 Vermessung des Materialverzugs bei textiler Bahnenware

Ein weiterer Problemkreis innerhalb der industriellen Warenschau besteht in der Verzugsmessung bzw. Rapportlängenbestimmung von Gardinen (Stores), welche bildhafte Verzierungen und Ornamente aufweisen. Das Erscheinungsbild dieser Muster variiert von einfachen geometrischen Strukturen bis zu großflächigen, komplexen Bildmotiven. Bei den meisten Gardinenstoffen kann eine in Transportrichtung periodische Aneinanderreihung von Grundmustern unterschiedlicher

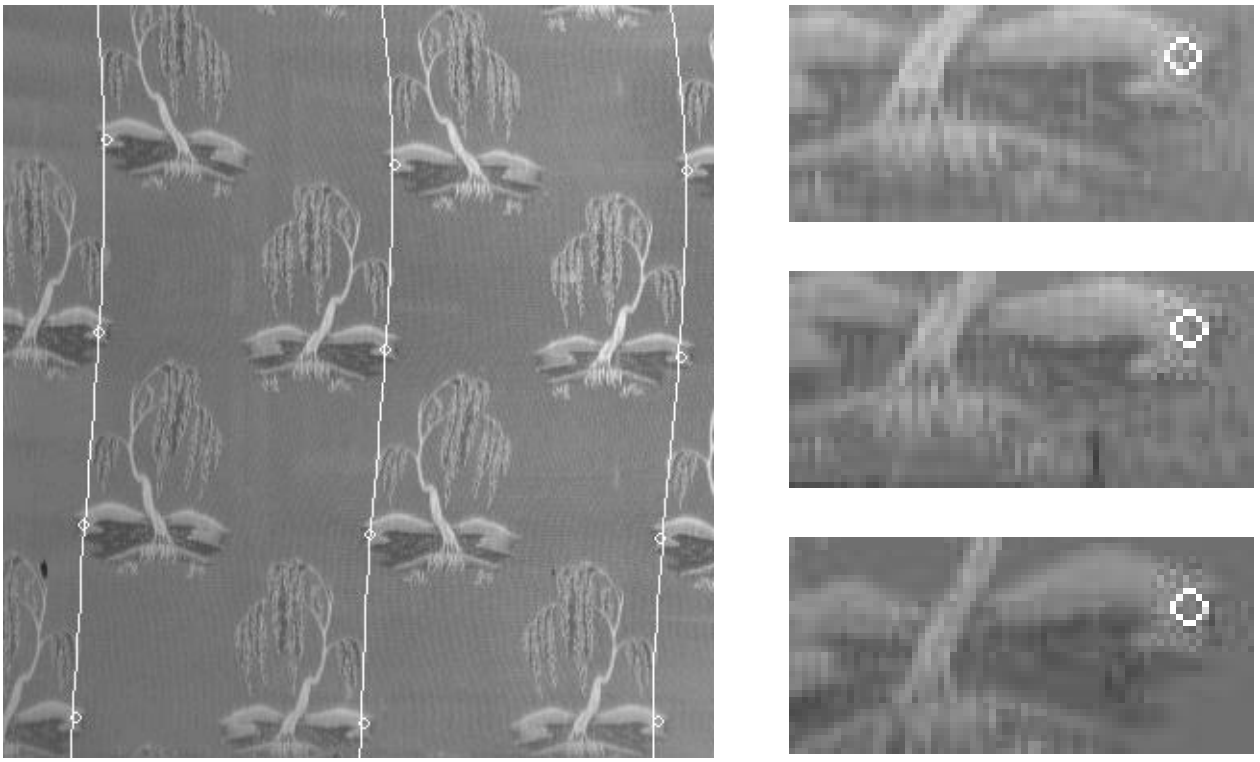

Abbildung 3 Verzugsmessung bei komplex strukturierten Gardinenstoffen; links: der Warenverzug wird als Linieninterpolation veranschaulicht; rechts: verschiedene Musterauszüge, die jeweilige Markierung kennzeichnet den Bereich, an dem das gewählte Referenzmuster am besten korreliert

Komplexität nachgewiesen werden. Die teilweise beobachtete Periodizität quer zur Laufrichtung ist nur in seltenen Fällen über die gesamte Warenbreite gesichert und sollte deshalb bei der Verzugsmessung unberücksichtigt bleiben.

Für die Lösung dieser Aufgabenstellung empfiehlt sich der Einsatz von Korrelationsverfahren. Die Messung des Warenverzugs erfolgt dabei durch Mustermatching der sich periodisch wiederholenden Strukturelemente. Da bei einer Reihe von Gardinen markante Strukturelemente nur spärlich verteilt sind,

müssen in einer sogenannten dynamischen Anlernphase die Positionen jener Strukturelemente quer zur Bewegungsrichtung ermittelt werden. Das Vermessen des Verzuges erfolgt damit in möglichst gleich verteilten Meßstreifen.

Nachdem zunächst die Musterperiode, die erste Position eines jeden Musterelementes und der relative Verzug anhand der Textilkante bestimmt wurde, wird im Umgebungsbereich der vorbestimmten Musterperiode nach dem Ort mit der maximalen Korrelation zum Vorgängermusterelement gesucht. Dabei erhält man für jede gemessene Musterposition die relative Verschiebung der Musterelemente zu der Idealperiode. Mittels geeigneter Interpolationsverfahren läßt sich nun der relative Verzug über die gesamte Bahnbreite und an jeder Position in Bewegungsrichtung ermitteln und somit Art und Größe des Gesamtverzuges bestimmen.

6 Resümee

Die automatisierte Warenschau von komplex gemusterten, farbigen Bahnenwaren stellt hohe Anforderung an alle Komponenten eines Bildverarbeitungssystems, so daß heutige Problemlösungen im Grenzbereich des Realisierbaren angesiedelt sind. Prinzipiell kann man jedoch einschätzen, daß für die Inspektion von farbigen und komplex gemusterten Textiloberflächen ein großes, leistungsfähiges Methodenrepertoire zur Verfügung steht und auf dieser Basis eine Lösung der Aufgabenstellung in Angriff genommen werden kann. Bei anhaltend fortschreitender Hard- und Softwareentwicklung können in naher Zukunft erste, marktfähige Inspektionssysteme vorgestellt werden. Aufgrund der umfangreichen Vorleistungen und eines reichen Erfahrungsschatzes können die TU Ilmenau und das ZBS e.V. einen entscheidenden Beitrag zur Verwirklichung dieses Vorhabens leisten.

Literaturverzeichnis

[1] Nickolay, B.; Schicktanz, K.-H.; Schmalfuß, H.: "Automatische Warenschau", Studie für die Textilindustrie, 1993

[2] ZBS. e.V.: "Oberflächeninspektion und Texturanalyse mittels Farbbildverarbeitung", 1. Zwischenbericht (1995) zum BMBF-Verbundprojekt "Texauge", 09/1995

[3] ZBS. e.V.: "Oberflächeninspektion und Texturanalyse", 2. Zwischenbericht (1996) zum BMBF-Verbundprojekt "Texauge", 03/1996

[4] Lucht, C.; Kempe, H.: "Der Farbaspekt in der Texturanalyse und die Erweiterung eines Texturseparationsverfahrens auf mehrkanalige Bilddaten", 2. Nationaler WS "Farbbildverarbeitung", 10.-11.10.1996, Schriftenreihe des ZBS e.V., S. 17-20

[5] Ohta, Y.; Kanade, T.; Sakai, T.: "Color Information for Region Segmentation", Computer Graphics and Image Processing 13, 1980, S. 222-242

Autorenangaben:

Privatdozent Dr.-Ing. habil. Franke, K H.
Technische Universität Ilmenau, PF 100565
98694 Ilmenau
Tel: (03677) 69 - 1205
Fax: (03677) 69 - 1208
E-Mail: karl-heinz.franke@prakinf.tu-ilmenau.de

Dipl.-Ing. Kempe, H.
Zentrum für Bild- und Signalverarbeitung (ZBS) e. V.
Ehrenbergstr. 11
98693 Ilmenau
Tel: (03677) 668 - 488
Fax: (03677) 668 - 464

Dipl.-Ing. Lucht, C.
Technische Universität Ilmenau, PF 100565
98694 Ilmenau
Tel: (03677) 668 - 489
Fax: (03677) 668 - 464
E-Mail: carsten.lucht@rz.tu-ilmenau.de