

Beurteilung textiler Flächenhalbzeuge mittels variabler Beleuchtung

Markus Vogelbacher¹, Stefan Werling² und Mathias Ziebarth¹

¹ Karlsruher Institut für Technologie, Institut für Anthropomatik,
Lehrstuhl für Interaktive Echtzeitsysteme,
Adenauerring 4, D-76131 Karlsruhe

² Fraunhofer Institut für Optronik, Systemtechnik und Bildauswertung,
Fraunhoferstraße 1, D-76131 Karlsruhe

Zusammenfassung In diesem Beitrag wird eine Bildaufnahme unter Verwendung einer variablen Beleuchtung vorgestellt, die es ermöglicht die Qualität von Webstrukturen zu beurteilen. Dazu betrachtet eine Kamera das Gewebe, welches aus unterschiedlichen Raumrichtungen mit parallelem Licht beleuchtet wird, von oben. Die Reflektanz der Fäden führt dazu, dass Fäden, die parallel zur Beleuchtungsrichtung verlaufen, wenig Licht in die Kamera reflektieren und Fäden, die senkrecht zur Beleuchtungsrichtung verlaufen, ausgeprägte Glanzeffekte zeigen. In einer Bildserie von unterschiedlichen Beleuchtungswinkeln werden die auftretenden Intensitäten in den Einzelbildern ausgewertet. Damit ist es möglich, die Fadenrichtungen des Gewebes zu bestimmen und dadurch grundlegende Gewebeeigenschaften abzuleiten. Durch die lokale Auswertung der Bildserie, ist es unter Verwendung der global bestimmten Vorzugsrichtungen möglich, Gewebeschädigungen zu detektieren. Zusätzlich können mit Hilfe einer Durchlichtaufnahme weitere Eigenschaften bestimmt werden. Die farbliche Kodierung der Hauptrichtungen der Fäden, in zum Beispiel einem RGB-Bild, ermöglicht außerdem die Informationsgewinnung mit einer Bildaufnahme, was eine effiziente Inline-Texturanalyse von Endlosmaterial ermöglicht. Anhand realer Messungen wird demonstriert, wie mit Hilfe dieser Vorgehensweise die Qualität einer Webstruktur, unter Verwendung unterschiedlich abgeleiteter Gewebeeigenschaften, überprüft werden kann.

1 Einleitung

Einen wichtigen Teilbereich der Texturanalyse stellt die optische Inspektion von Textilien dar. Dabei sind zum einen unterschiedliche Gewebeeigenschaften von Interesse, die zur Beurteilung der Qualität der Webstruktur herangezogen werden können. Zu diesen Eigenschaften zählen zum Beispiel die Gewebefeinheit, welche die Anzahl der Fäden in einem bestimmten Flächenbereich beschreibt, die Verteilung von Fadenabständen und -dicken und die Gewebedichte, welche das Auftreten von Faserzwischenräumen beinhaltet. Zum anderen ist natürlich auch die Detektion von Fehlern, wie Web- und Fadenfehler, Gewebebeschädigungen, -verunreinigungen und -verzüge, ein wichtiges Gebiet das durch unterschiedliche Verfahren abgedeckt werden kann.

Gerade im Bereich der Extraktion von Merkmalen von Webstrukturen, die unter anderem zur Fehlerdetektion herangeführt werden können, existieren vielfältige Lösungen, die verschiedene bekannte Verfahren aus der Texturanalyse verwenden. So können zum Beispiel Merkmale aus Grauwertübergangsmatrizen [1], dem Mittelwert und der Standardabweichung der Grauwerte in Ausschnitten einer Textur und durch Anwendung von morphologischen Operatoren [2], durch Bestimmung der fraktalen Dimension [3] oder mit Hilfe von Gaborfiltern [4] gewonnen werden. Auch durch die Verwendung verschiedener Transformationen können Merkmale extrahiert bzw. Fehler detektiert werden. Als Anwendungsbeispiele seien hier die Fourier- [5–7] und Wavelettransformation [8, 9] genannt. Die Parameter eines Modells, wie das Gaussian Markov Random Field (GMRF) Modell [10], können ebenso zur Klassifizierung der Webstruktur herangezogen werden. Diese kurze Zusammenfassung soll nur einen kleinen Überblick über die Vielfältigkeit der vorhandenen Methoden liefern und hat somit keinen Anspruch auf Vollständigkeit.

Der hier vorgestellte Ansatz soll sowohl eine qualitative Aussage über die Webstruktur als auch eine Fehlererkennung ermöglichen und geht dabei einen anderen Weg, indem er schon bei der Bildgewinnung ansetzt. Durch Wahl einer geeigneten Beleuchtungsstrategie lassen sich nachfolgende Schritte zur Beurteilung der Webstruktur oder der Erkennung von Fehlern auf die Beleuchtungsrichtung zurückführen und dadurch vereinfachen. Die Suche nach solch einer geeigneten Strategie ist Grundlage der Untersuchungen von Lindner, Arigita und Puente León [11,12]. Durch die Aufnahme einer Bildserie bei der die Beleuchtungsrichtung systematisch

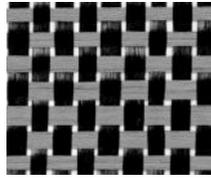


Abbildung 17.1: Beispiel für untersuchte Webstruktur (schwarz: Kettfäden, grau: Schussfäden, weiß: Fadenzwischenräume).

variiert wird, kann jedem Oberflächenort eine Reflexionseigenschaft und damit auch eine Orientierung zugeordnet werden. Auf Basis dieser Ergebnisse kann im nächsten Schritt eine Segmentierung aufgebaut werden. Außerdem ist es möglich aus den Daten der Beleuchtungsserie rotationsinvariante Merkmale zu extrahieren [13]. Wird solch eine Beleuchtungsserie für den Fall von Webstrukturen angewendet, so können aus dieser aufgrund der Reflektanzeigenschaften der Fäden Informationen über die Fadenhauptrichtungen des Gewebes gewonnen werden. Diese Information ermöglicht es die Webstruktur in seine Bestandteile zu zerlegen, zu segmentieren und nach möglichen Fehlern in anderen Beleuchtungsrichtungen zu suchen. Auf Grundlage des Segmentierungsergebnisses lassen sich die gesuchten Gewebeeigenschaften bestimmen.

Die in dieser Arbeit untersuchten Webstrukturen bestehen aus vertikal und horizontal verlaufenden Fäden, die als Kett- bzw. Schussfäden bezeichnet werden. Je nach Güte des Gewebes können unterschiedlich große Fadenzwischenräume auftreten (Abbildung 17.1). Ein einzelner Faden setzt sich dabei aus einer großen Anzahl feiner Fasern zusammen.

2 Grundlagen

2.1 Reflexion von Webfäden

Je nach Beschaffenheit einer Oberfläche können unterschiedliche Ausprägungen von Reflexionen auftreten. Wird zum Beispiel eine glatte lackierte Oberfläche betrachtet so kann diese als eine Art Spiegel betrachtet werden, an der eine gerichtete Reflexion stattfindet (Abbildung 17.2(a)). Rauere Oberflächen, wie etwa eine Gipsplatte, streuen im Gegensatz dazu einfallendes Licht diffus (Abbildung 17.2(b)).

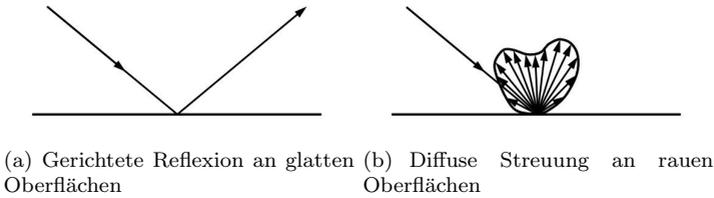
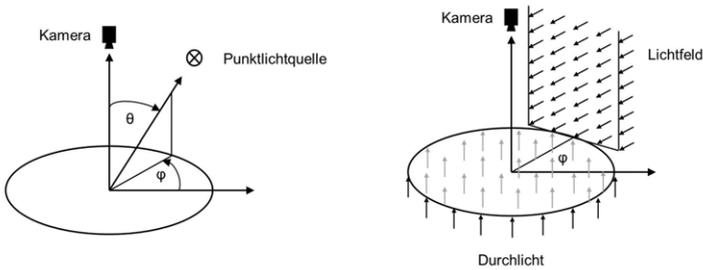


Abbildung 17.2: Ausprägungen von Reflexionen.

Diese Eigenschaften können auch bei den vorliegenden Webstrukturen beobachtet werden. Je nach Beleuchtungskonstellation ergeben sich dabei für die horizontal und vertikal verlaufenden Fäden verschiedene Oberflächeneigenschaften. Stimmt die Beleuchtungsrichtung mit der Fadenrichtung überein, so weist die Oberfläche entlang der Fasern eine geringe Rauheit auf. Beleuchtung parallel zur Fadenrichtung bewirkt demnach eine nahezu gerichtete Reflexion (Abbildung 17.2(a)). Bei einer Beleuchtung senkrecht zur Fadenrichtung wirken die nebeneinander angeordneten Fasern eines Fadens als raue Oberfläche und es tritt eine Mischung aus unvollkommener und vollkommener/diffuser Streuung (Abbildung 17.2(b)) auf. Da in der Webstruktur immer senkrecht zueinander liegende Fäden und damit unterschiedliche Reflexionseigenschaften vorliegen, kann durch eine geeignete Beleuchtung eine separate Betrachtung/Segmentierung durchgeführt werden.

2.2 Variable Beleuchtung

Die in Abschnitt 2.1 beschriebenen optischen Eigenschaften der Webstruktur, im Speziellen der einzelnen Fäden, werden durch eine geeignete Beleuchtungsstrategie ausgenutzt. Durch Aufnahme einer Bildserie mit unterschiedlichen Beleuchtungsrichtungen wird sowohl eine Segmentierung der Kett- und Schussfäden als auch eine Fehlerdetektion ermöglicht. Wird als Beleuchtungselement eine Punktlichtquelle verwendet, so können verschiedene Beleuchtungskonstellationen durch den Azimut φ und dem Elevationswinkel θ aufgestellt werden (Abbildung 17.3(a)) [11]. Für den Fall der Untersuchung von Webstrukturen ist eine separate Betrachtung des Elevationswinkels θ nicht nötig. Es wird ein Lichtfeld angenommen, dass unter dem Azimut φ alle Elevationswinkel



(a) Allgemeine Beleuchtungsstrategie mit einer Punktlichtquelle [11] (b) Beleuchtungsstrategie zur Inspektion von Webstrukturen

Abbildung 17.3: Beleuchtungsstrategien.

θ beinhaltet. Jeder Punkt der Oberfläche wird demnach von einem Segment $\Delta\theta$ und $\Delta\varphi$ beleuchtet, wobei $\Delta\theta \gg \Delta\varphi$. Zusätzlich zum Lichtfeld, wird auch eine Durchlichtbeleuchtung integriert, die die Detektion von Fadenzwischenräumen ermöglicht (Abbildung 17.3(b)). Ausgangspunkt für die im nächsten Schritt folgende Bildverarbeitung ist demnach eine Bildserie, mit verschiedenen Azimutwinkeln φ der Beleuchtung und einer Aufnahme unter Durchlicht.

2.3 Segmentierung von Kett- und Schussfäden

Durch Ausnutzung der Reflexionseigenschaften der Fäden (Abschnitt 2.1) kann mit Hilfe der Bildserie aus Abschnitt 2.2 eine Segmentierung von Kett- und Schussfäden vorgenommen werden. Dazu wird die Summe aller Intensitäten in einem Einzelbild der Serie abhängig vom Azimut φ aufgetragen. Ein Beispiel ist in Abbildung 17.4 zu sehen.

Die Intensitätsmaxima entsprechen den zwei Fadenhauptrichtungen der Webstruktur, wobei zwei Maxima, die um 180° versetzt zueinander liegen, zu einer Richtung zusammengefasst werden können. Abbildung 17.5 zeigt ausgewählte Aufnahmen unter verschiedenen Beleuchtungsrichtungen mit denen das Beispiel aus Abbildung 17.4 entstanden ist.

Für die Segmentierung werden im nächsten Schritt nur noch die Bilder mit maximaler Gesamtintensität und unter Durchlicht benötigt. Für diese Einzelbilder werden zusammenhängende Regionen hoher Intensitäten

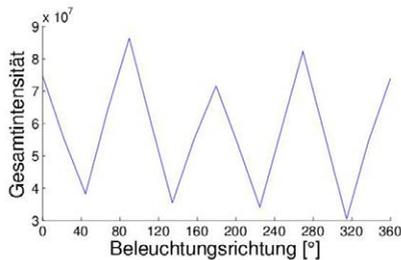


Abbildung 17.4: Summe der Intensitäten eines Einzelbildes innerhalb einer Bildserie (bei Änderung des Azimut φ in $22,5^\circ$ Schritten).

schwelligwertbasiert segmentiert und damit eine erste Segmentierung für Faserbündel von Kett- und Schussfäden und Fadenzwischenräume erreicht. Der Schwellwert wird dabei automatisch aus dem Mittelwert der auftretenden Maxima im Grauwert histogramm gebildet. Kleine detektierte Bereiche, die aufgrund ihrer Größe kein Faserbündel darstellen, werden durch Anwendung des morphologischen Operators „Öffnen“ beseitigt. Die Segmentierungsergebnisse aus den Bildern mit einer Beleuchtung unter dem Azimut φ und $\varphi+180^\circ$ werden fusioniert und mit den in der Durchlichtaufnahme detektierten Fadenzwischenräumen subtrahiert. Das Gesamtergebnis einer solchen Fusion zeigt Abbildung 17.6.

Des Weiteren ist zur Ableitung von Gewebeeigenschaften eine Zuordnung der segmentierten Faserbündel einer Hauptrichtung zu einzelnen Fäden notwendig. Dies kann durch Ausnutzung von Lagebeziehungen erreicht werden (Abbildung 17.7).

Die zugeordnete Segmentierung der Kett- und Schussfäden ist Ausgangspunkt für die Gewinnung von Qualitätsmerkmalen der Webstruktur (Abschnitt 3.2). Sind nur diese Qualitätsmerkmale ohne eine weitere Fehlerdetektion gefordert, so kann die Bildaufnahme auf Beobachtung der zwei Fadenhauptrichtungen und der Durchlichtbeleuchtung reduziert werden. Durch die farbliche Kodierung dieser Richtungen, in zum Beispiel einem RGB-Bild, wird die Bestimmung der Gewebeeigenschaften mit einer Aufnahme möglich und dadurch eine effiziente Inline-Texturanalyse von Endlosmaterial durchführbar.

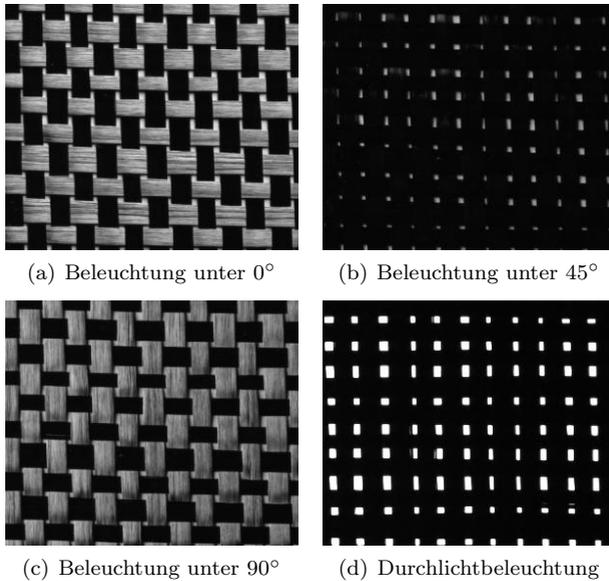


Abbildung 17.5: Beispiele aus der Beleuchtungsserie von Abbildung 17.4.

3 Ableitung von Gewebeeigenschaften (Auswertung)

3.1 Belegungsgitter der Faserbündel

Aus dem reinen Segmentierungsergebnis der Faserbündel, lässt sich nicht nur eine Zuordnung zu einzelnen Fäden durchführen, sondern auch ein Belegungsgitter für Kett- und Schussfäden ableiten. Dazu werden die Schwerpunkte der einzelnen Faserbündel betrachtet (Abbildung 17.8).

In einer Merkmalsmatrix können außerdem unter jedem Schwerpunkt zusätzlich noch weitere Informationen, wie zum Beispiel die Höhe oder die Breite des jeweiligen Bündels (Rechteckmodell der Faserbündel), abgelegt werden. Diese Matrix kann als strukturell-statistische Beschreibung bzw. Modell der Webstruktur angesehen werden. Mit ihr ist auch eine Synthese möglich (Abbildung 17.9).

Das Belegungsgitter gibt dabei einen visuellen Eindruck über die Gewebedichte und ermöglicht eine qualitative Einschätzung der Webstruktur.

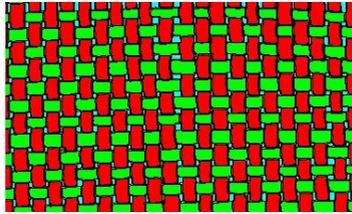
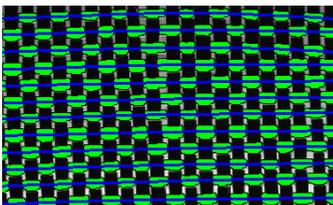
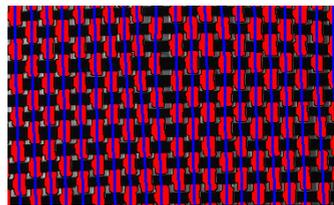


Abbildung 17.6: Segmentierungsergebnis (grün: Faserbündel Schussfäden, rot: Faserbündel Kettfäden, blau: Fadenzwischenräume).



(a) Schussfäden



(b) Kettfäden

Abbildung 17.7: Fadenzuordnung einzeln segmentierter Faserbündel.

tur. Außerdem kann durch Beachtung der Lagebeziehung der einzelnen Faserbündel von Kett- und Schussfäden untereinander zusätzlich der Bindungstyp der Webstruktur festgestellt und auf Fehler untersucht werden.

3.2 Qualitätsmerkmale für Webstrukturen

Mit Hilfe der in Abschnitt 2.3 segmentierten Kett- und Schussfäden und den Fadenzwischenräumen lassen sich verschiedene Merkmale zur Beurteilung der Qualität der Webstruktur bestimmen.

- Gewebefeinheit: Anzahl der Kett-/Schussfäden pro Gewebebreite/-länge
- Gewebedichte: Abstände der Fäden untereinander und Anteil der Fadenzwischenräume an der Gewebegesamtfläche
- Fadenspreizung: Verteilung der Fadendicke über einen Faden und komplette Webstruktur (Abbildung 17.10)

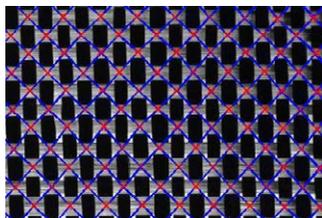


Abbildung 17.8: Beispiel der Gitterbelegung für Schussfädenfaserbündel.

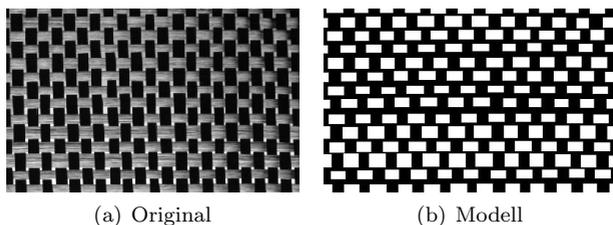
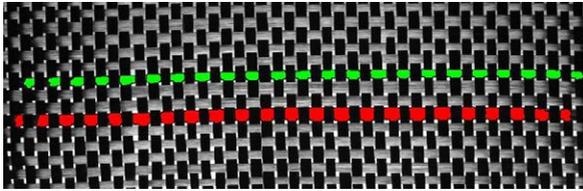
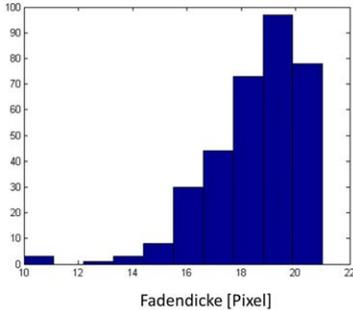


Abbildung 17.9: Modellierung der Schussfäden mit Hilfe von Belegungsgitter und Rechteckmodell der Faserbündel.

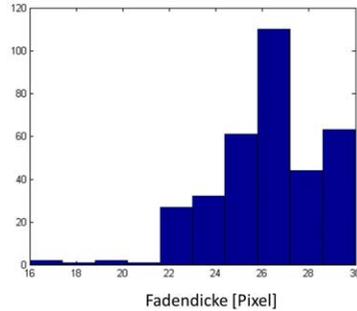
Die Bestimmung der Gewebefinheit beruht dabei rein auf dem Abzählen der segmentierten Fäden. Die Gewebedichte setzt zum einen die Fläche der segmentierten Fadenzwischenräume, die direkt aus dem Durchlichtbild entnommen werden kann, in Bezug zur Gesamtfläche und bestimmt zum anderen aus den Koordinaten der zu benachbarten Fäden zugeordneten Faserbündel (Abbildung 17.7) die jeweiligen Fadenabstände. So wird zum Beispiel bei der Bestimmung des Abstandes zweier Schussfäden der Mittelwert aller horizontalen Lagen der Faserbündel eines Fadens im Vergleich zum genauso bestimmten Mittelwert eines benachbarten Fadens betrachtet. Analog kann dies auch für die vertikalen Lagen der Faserbündel von Kettfäden durchgeführt werden. Die Bestimmung der Fadenspreizung erfordert die Messung des Breitenverlaufs der segmentierten Faserbündel eines Fadens. Dazu werden die Grenzen dieser Faserbündel senkrecht zur Fadenlaufrichtung gemessen. Abbildung 17.10 stellt ein Beispiel einer solchen Bestimmung der Fadenspreizung dar, mit deren Hilfe eine Beurteilung der Fadendicke möglich ist.



(a) Auswahl Fäden zur Bestimmung der Fadenspreizung



(b) Breitenhistogramm: Faden dünn (grün)



(c) Breitenhistogramm: Faden dick (rot)

Abbildung 17.10: Histogrammvergleich bei der Ermittlung der Fadenspreizung.

3.3 Fehlerdetektion

Zur Detektion von Fehlern können die Bilder der Beleuchtungsserie herangezogen werden, die nicht in Fadenhaupttrichtung liegen. Analog zur Vorgehensweise bei der Segmentierung von Kett- und Schussfäden werden Orte an denen in diesen Bildern hohe Intensitäten auftreten als Fehler ausgegeben. Fehler, die durch diese Vorgehensweise detektiert werden können sind:

- Gewebeverzüge
- Gewebeverunreinigungen
- Gewebebeschädigungen

Abbildung 17.11 zeigt Ergebnisse dieses Detektionsverfahrens für unterschiedliche Fehlerbilder.

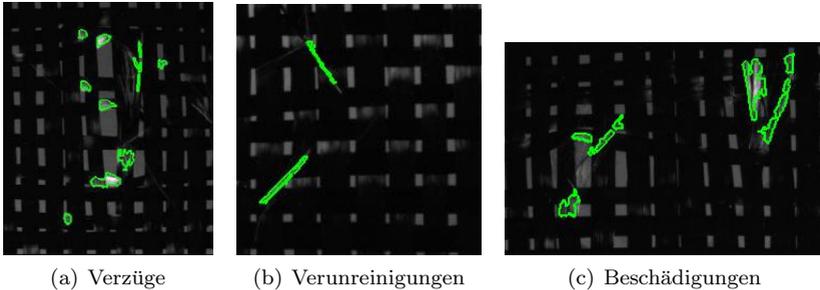


Abbildung 17.11: Fehlerdetektion mit Hilfe von Beleuchtungsrichtungen ungleich der Fadenhaupttrichtungen.

4 Zusammenfassung

Die vorgestellte Vorgehensweise ermöglicht eine komplette Untersuchung von textilen Flächenhalbzeugen. Durch Ausnutzung der Reflexionseigenschaften der Webstruktur wird auf Basis einer Bildserie eine Segmentierung der Kett- und Schussfäden und der Fadenzwischenräume durchgeführt. Dabei basiert die Segmentierung auf den Aufnahmen mit Beleuchtung in Fadenrichtung und Durchlicht, welche zur Vereinfachung des Beleuchtungsaufbaus auch farblich kodiert werden können. Auf Grundlage des Segmentierungsergebnisses kann ein Modell zur Beschreibung der Struktur angegeben und außerdem verschiedene Gewebeeigenschaften abgeleitet werden. Die übrigen Beleuchtungsrichtungen der Bildserie können zur Fehlerdetektion herangezogen werden. Durch Zusammenfassung aller untersuchten Eigenschaften wird eine qualitative und quantitative Bewertung der vorliegenden Webstruktur erreicht.

Literatur

1. J. Sobus, B. Pourdeyhimi, J. Gerde und Y. Ulcay, „Assessing changes in texture periodicity due to appearance loss in carpets: Gray level co-occurrence analysis“, *Textile Research Journal*, Vol. 61, S. 557–567, 1991.
2. Y. F. Zhang und R. R. Bresee, „Fabric defect detection and classification using image analysis“, *Textile Research Journal*, Vol. 65, S. 1–9, 1995.
3. A. Conci und C. B. Proença, „A system for real-time fabric inspection and

- industrial decision“, in *Proceedings of the 14th international conference on Software engineering and knowledge engineering*, Ser. SEKE '02, 2002, S. 707–714.
4. A. Kumar und G. K. H. Pang, „Defect detection in textured materials using gabor filters“, *IEEE Transactions on Industry Applications*, Vol. 38, S. 425–440, 2002.
 5. E. J. Wood, „Applying fourier and associated transforms to pattern characterization in textiles“, *Textile Research Journal*, Vol. 60, Nr. 4, S. 212–220, 1990.
 6. S. A. Hosseini Ravandi und K. Toriumi, „Fourier transform analysis of plain weave fabric appearance“, *Textile Research Journal*, Vol. 65, S. 676–683, 1995.
 7. C.-H. Chan und G. K. H. Pang, „Fabric defect detection by fourier analysis“, in *IEEE Transactions on Industry Applications*, Vol. 36, Nr. 5, 2000, S. 1267–1276.
 8. X. Yang, G. K. Pang und N. Yung, „Fabric defect classification using wavelet frames and minimum classification error training“, in *Conference Record - Ias Annual Meeting (IEEE Industry Applications Society)*, Vol. 1, 2002, S. 290–296.
 9. A. Palmer und W. Hall, „Surface evaluation of carbon fibre composites using wavelet texture analysis“, *Composites: Part B*, Vol. 43, S. 621–626, 2012.
 10. F. S. Cohen, Z. Fan und Attali, „Automated inspection of textile fabrics using textural models“, *IEEE Transactions on Pattern Analysis and Machine Intelligence*, Vol. 13, Nr. 8, S. 803–808, 1991.
 11. C. Lindner, J. Arigita und F. Puente León, „Illumination-based segmentation of structured surfaces in automated visual inspection“, in *Society of Photo-Optical Instrumentation Engineers (SPIE) Conference Series*, Vol. 5856, 2005, S. 99–108.
 12. C. Lindner und F. Puente León, „Segmentierung strukturierter Oberflächen mittels variabler Beleuchtung“, *Technisches Messen*, Vol. 73, S. 200–207, 2006.
 13. L. Nachtigall, A. Pérez Grassi und F. Puente León, „Ein effizientes Verfahren zur Extraktion rotationsinvarianter Merkmale aus Beleuchtungsreihen“, *Forum Bildverarbeitung*, S. 301–312, 2010.