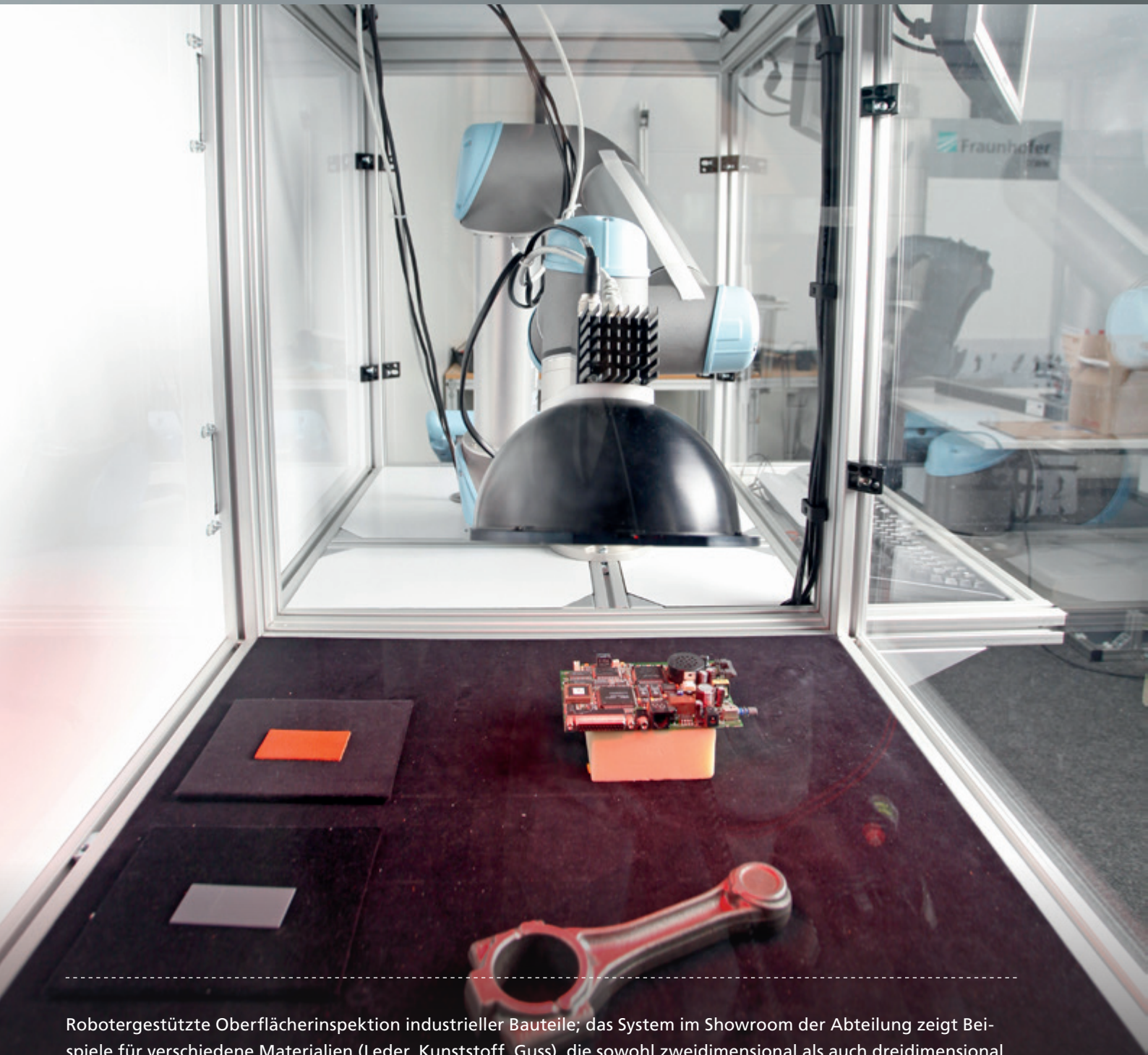




BILDVERARBEITUNG



Roboter-gestützte Oberflä-cherinspektion industrieller Bauteile; das System im Showroom der Abteilung zeigt Beispiele für verschiedene Materialien (Leder, Kunststoff, Guss), die sowohl zweidimensional als auch dreidimensional geprü-ft werden können.



Bildverarbeitung ist heutzutage ein wichtiger Bestandteil der industriellen Produktion geworden. Seit einigen Jahren werden Prüfsysteme direkt bei der Planung einer Fertigungsstraße berücksichtigt statt nachträglich installiert zu werden. Vor allem die Oberflächeninspektion, d. h. die Prüfung des optischen Erscheinungsbildes eines Produktes, ist eine der wichtigsten Qualitätssicherungsmaßnahmen geworden. Fehler können dabei funktioneller oder ästhetischer Art sein. Insbesondere für ästhetische »Fehler« ist es schwierig, subjektives Empfinden in mathematischen Modellen abzubilden. Die Abteilung entwickelt mathematische Modelle und Bildanalysealgorithmen und setzt diese in industrietaugliche Software, vorwiegend in der Produktion, um. Die Anwendungsgebiete umfassen anspruchsvolle Oberflächenprüfungen und Analyse von Mikrostrukturen. Die Mikro- und Nanostruktur moderner Werkstoffe bestimmt maßgeblich deren makroskopische Materialeigenschaften. Das Fraunhofer ITWM entwickelt Algorithmen zur Charakterisierung und stochastischen Modellierung solcher Werkstoffe. Die Analyse der räumlichen Geometrie und der Struktur-Eigenschafts-Beziehungen in Werkstoffen ermöglicht dann die Optimierung der Materialeigenschaften durch virtuelles Materialdesign.

Zusammengefasst realisiert die Abteilung in enger Zusammenarbeit mit Partnern aus Industrie und Forschung maßgeschneiderte Lösungen auf dem Gebiet der Bild- und Signalverarbeitung.

SCHWERPUNKTE

- Qualitätssicherung und -optimierung
- Oberflächen- und Materialcharakterisierung
- Bildverstehen und Szenenanalyse

Kontakt

markus.rauhut@itwm.fraunhofer.de
www.itwm.fraunhofer.de/bv





DECKENPLATTENINSPEKTION – MODELLBASIERTES LERNEN IN DER OBERFLÄCHENKONTROLLE

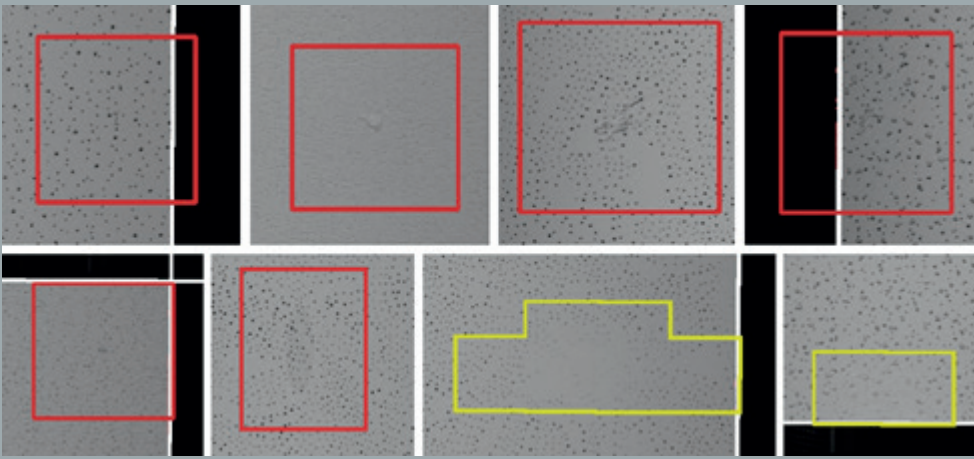
1 Inspektionssystem »MASC Stex 2«

Industrielle Bildverarbeitung wird zur Qualitätskontrolle in vielen Produktionsumgebungen eingesetzt. Man versucht dabei zunächst möglichst optimale Bildaufnahmebedingungen zu schaffen. Mittels Algorithmen der Bildverarbeitung wird dann das Bild verschiedenen mathematisch transformiert, um potenzielle Fehlerregionen zu finden und damit das Produkt zu klassifizieren. Das Finden der Fehlerregionen besteht in der Regel aus einer Kombination klassischer Bildverarbeitungsverfahren, wie etwa Glättung durch verschiedene Filter, Segmentieren, Kantendetektion, morphologische Operationen etc. Mit Erstarben des Machine Learnings in den letzten Jahren, speziell dem Bereich Deep Learning, wächst der Wunsch, diesen anpassungsintensiven Teil der industriellen Bildverarbeitung – die händische Parametrisierung großer Algorithmenketten – zu automatisieren. Die Oberflächeninspektion von Mineralfaserplatten eignet sich, um aufzuzeigen, an welchen Stellen diese Automatisierung in der Abteilung Bildverarbeitung betrieben wird und wo ihre Grenzen liegen.

Bei der Oberflächeninspektion von Mineralfaserplatten geht es darum, Fehler in verschiedenen Musterungen zu finden. Wie für viele Fertigungsprodukte typisch, ist die Anwendung eines vollständig automatischen Machine-Learning-Verfahrens zur Fehlerdetektion nicht möglich, da Fehler sehr selten auftreten und das händische Markieren teuer und aufwändig wäre. Demzufolge ist in guten Produktionen der Ausschuss gering. Daher kann davon ausgegangen werden, dass der Großteil der produzierten Platten als »gut« einzustufen ist. Anstatt also alle Fehlerklassen zu lernen und repräsentieren zu müssen, werden hier im Gegenteil die »guten« Produkte gelernt. Man verwendet dafür die Ein-Klassen-Klassifikation oder das sogenannte PU (positive and unlabelled data-) Learning. Muss also ein neues Design oder Muster angelernt werden, benutzt man eine möglichst große Stichprobe der aktuellen Produktion dieses Designs und nimmt an, dass diese im Durchschnitt repräsentativ ist. Anhand dieser Stichproben von 20 bis 200 Platten wird dann der Ein-Klassen-Klassifikator trainiert.

Essenziell ist nun das Einbringen von Vorwissen in sinnvolle Features – anders ausgedrückt: das Modellieren der Charakteristika. Bei den Deckenplatten werden – wegen ihrer sehr unterschiedlichen Ausprägungen – zwei Eigenschaften unterschieden und algorithmisch behandelt:

Die erste Eigenschaft ist die Nadelung mit ihrer typischen Form, Struktur und Beschaffenheit. Die Nadelung einer Deckenplatte ist kontrastreich sowie sehr gut und schnell zu segmentieren. Als Basis für die Feature-Berechnung werden daher nicht Pixel oder generische Regionen gewählt, sondern die segmentierten Nadelstiche. Da die Nadelstiche gestanzt werden, also mechanisch aufgebracht, sollten sie im Gutfall geometrisch ähnlich sein, im Schlechtfall/Fehlerfall



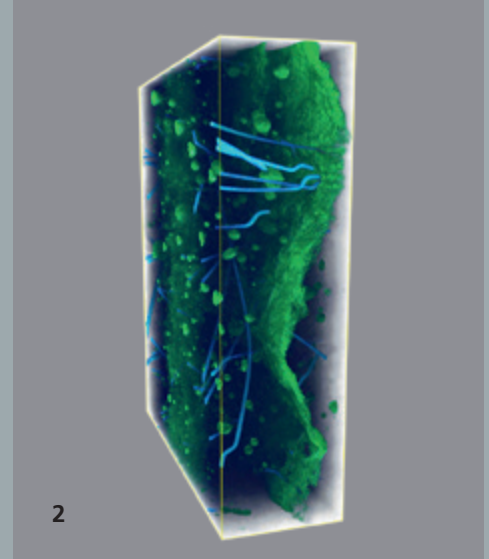
2 Beispiele für Oberflächen- und Designfehler bei der Produktion von Deckenplatten

geometrisch auffällig. Es werden entsprechende Features berechnet, u. a. Fläche, Rundheit, Achsenverhältnis sowie mittlerer Grauwert.

Die zweite Eigenschaft ist das großflächige Aussehen der Platte, also der Farbauftrag, die strukturelle Homogenität, die Existenz oder das Fehlen der Nadelung, ihre Verteilung usw. Hier werden entsprechend nicht lokale Punkte oder segmentierte Regionen als Feature-Basis benutzt, sondern es wird die gesamte Platte in einander überlappende Fenster repräsentativer, aber fester Größe aufgeteilt. Für jedes dieser Fenster berechnet die Software als Features Histogramme, die u.a. die Grauwertverteilung und das Verhältnis von Nadelung und Hintergrund enthalten.

Für die beiden Klassen wird anhand der Trainingsdaten dann je ein Ein-Klassen-Klassifikator trainiert. Zu diesem Zweck erfolgt die Repräsentation der Daten mithilfe sogenannter k-Means-Clusterzentren. Da es auch im Normal- oder Gutfall verschiedene Featureausprägungen gibt, wird eine Überrepräsentation der Daten gewählt, d. h. die Anzahl der vorgegebenen Clusterzentren ist eher zu hoch. Im Anschluss werden Cluster mit wenigen Repräsentanten gelöscht, also sogenanntes Pruning betrieben. Damit vermeidet man einerseits das sogenannte Overfitting, andererseits wird beachtet, dass es sich nicht ausschließlich um Repräsentanten der Normal- oder Gutteile handelt, sondern auch Schlechteile in der zufälligen Stichprobe vorhanden sein können.

Die tatsächliche Klassifikation im Testfall erfolgt durch die Berechnung der Nearest-Neighbor-Distanz. Da es sich um unterschiedliche Feature-Typen handelt, werden verschiedene Distanzfunktionen benutzt. Für die geometrischen Features der Nadelung eignet sich die euklidische Distanz, für Histogramm-Abstände ist die Mahalanobis-Distanz am geeignetsten. Die Schärfe des Prüfsystems wird durch Schwellwerte für die beschriebenen Distanzen eingestellt und kann so während der Produktion angepasst werden. Zu den Oberflächen- und Designfehlern, die mit dem vorgestelltem Verfahren robust in der Produktion gefunden werden, gehören beispielsweise Verfärbungen, Farbkleckse und Abweichungen im Muster.



BILDANALYSE VON STAHLFASERN IN BETON

1 *Herausgeschnittener Rissbereich aus einem Balken nach Prüfung (3-Punkt Biegeversuch)*

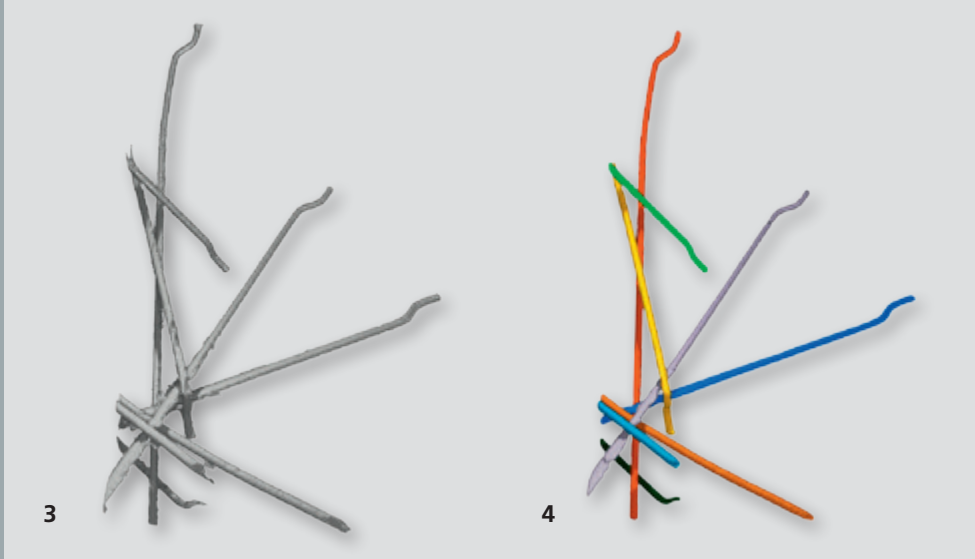
2 *Volumenrendering der rekonstruierten tomografischen Aufnahme*

Stahlfaserbeton ist ein Verbundwerkstoff aus Beton und Stahlfasern, welche im flüssigen Zustand beigemischt werden. Je nach Form und Dosierung der Fasern ändern sich die Eigenschaften des ausgehärteten Materials. Dieses kann Kräfte besser aufnehmen und wirkt bei einer Rissbildung dem möglichen Bruch stabilisierend entgegen. In enger Zusammenarbeit mit Bauingenieuren der TU Kaiserslautern forschen Wissenschaftler der Abteilung Bildverarbeitung daran, die Auswirkungen der Beimischung von Stahlfasern besser zu verstehen. Dabei ist vor allem interessant, wie sich der Beton verhält, nachdem sich ein Riss gebildet hat und welche Rolle dabei die beigefügten Fasern spielen. Vereinfacht ausgedrückt wird das Nachrissverhalten des Stahlfaserbetons von den rissquerenden Fasern bestimmt. Infolgedessen ist für die Analyse eine gemeinsame Betrachtung von Fasern und Riss erforderlich.

Bisherige Verfahren zur Analyse der Faserorientierung und -menge haben den Nachteil, dass zur Untersuchung des Rissbereiches die Probe aufgebrochen oder zersägt wird. Eine ungestörte Analyse der rissquerenden Fasern ist somit nicht möglich. Die Analyse des Materials mithilfe von 3D-Volumenbildern, aufgenommen mit einem Computertomographen (CT), bietet hingegen die Möglichkeit, den Rissbereich zerstörungsfrei zu untersuchen. Dies unterbindet gleichzeitig mögliche Verfälschungen durch nachträgliches Ausziehen der Fasern beim Aufbrechen.

Eine besondere Herausforderung bei der Auswertung der 3D-Bilder von Stahlfaserbeton ergibt sich aus der Größe der zu untersuchenden Proben. Die Probengröße ist durch die mittels moderner μ CT-Technik aufnehmbaren Maße begrenzt und erlaubt in einigen Fällen keine klare Trennung der einander berührenden Fasern. Da jedoch Einzelfasern für die weitere Auswertung benötigt werden, wurde am Fraunhofer ITWM ein Algorithmus entwickelt, welcher Ansammlungen einander berührender Fasern, sogenannte Faserigel, in einzelne Fasern separiert. Dies ermöglicht beispielsweise das Extrahieren der rissquerenden Fasern, die zur Kraftübertragung beitragen. Weiterführend können für die Analyse wichtige Parameter wie Faserlänge, Orientierung und auch Einbindelängen entlang des Risses bestimmt werden.

Der Algorithmus zur Detektion von Faserclustern und deren Separierung wurde entwickelt mit ToolIP (Tool for Image Processing), einer Software für die Erstellung von Lösungen zur Bildverarbeitung und -analyse. Um zunächst alle Ansammlungen von Fasern zu ermitteln, geht man folgendermaßen vor: Für jedes Objekt im 3D-Bild wird die Distanz zwischen den beiden entferntesten Punkten berechnet, wobei Entfernungen hier nur im Inneren des Objektes berechnet werden. Der Algorithmus nimmt als vereinfachende Modellannahme an, dass eine Einzelfaser die Form eines Zylinders besitzt, dessen Länge die berechnete Distanz ist.



Dieses Vorgehen erlaubt eine Volumenabschätzung, welche mit dem berechneten Volumen des Objektes im Bild verglichen wird. Im Falle einer Ansammlung von Fasern ist ein signifikanter Unterschied zu dem des vorhandenen Zylindermodells gegeben und das Objekt wird als Fasercluster klassifiziert. Stimmen die Volumina dagegen annähernd überein, so klassifiziert der Algorithmus das Objekt als Einzelfaser. Sollte das zu untersuchende 3D-Bild starke Rauschartefakte aufweisen, muss der Anwender Grenzfälle manuell untersuchen.

Die Vereinzelung der Ansammlungen läuft danach wie folgt ab: Zunächst reduziert der Algorithmus das Oberflächenrauschen, indem die Fasern selbst hervorgehoben werden. Dazu wird an jeder Position der Oberfläche entschieden, ob diese röhrenartig ist. Anschließend wird die Position der Faserachse abgeschätzt, indem Punkte mit größtem Abstand zur Faseroberfläche bestimmt werden. Entlang der zuvor gefundenen Achsen setzt der Algorithmus Faserstücke zusammen, indem er die restlichen Punkte der Faser der nächstgelegenen Achse zuordnet. Dabei kann es aufgrund verbliebener Rauscheffekte zu einer Übersegmentierung (Faser besteht aus mehreren Stücken) kommen und es können sogar Teilstücke fehlen. Um entstandene Lücken wieder zu schließen, vergrößert der Algorithmus alle gefundenen Stücke innerhalb der Oberfläche der Ausgangsfasern. Anschließend setzt der Anwender, unter Zuhilfenahme eines interaktiven Tools, die wenigen Teilstücke zu unterschiedlichen Einzelfasern zusammen.

Die oben beschriebene Methode unterstützt Materialwissenschaftler, indem sie Teile der Auswertung von Stahlfaserbeton automatisiert und dadurch die Analyse des Materials erleichtert. Für die Arbeit mit dem vorgestellten Tool werden keine Bildverarbeitungskennnisse auf Seiten der Materialwissenschaftler vorausgesetzt.

3 *Beispiel für einen Fasercluster: Mehrere Einzelfasern berühren sich in einer beliebigen räumlichen Anordnung.*

4 *Beispiel für einen segmentierten Fasercluster: Einzelne Fasern werden als unterschiedliche Objekte erkannt und ermöglichen somit eine individuelle Auswertung.*