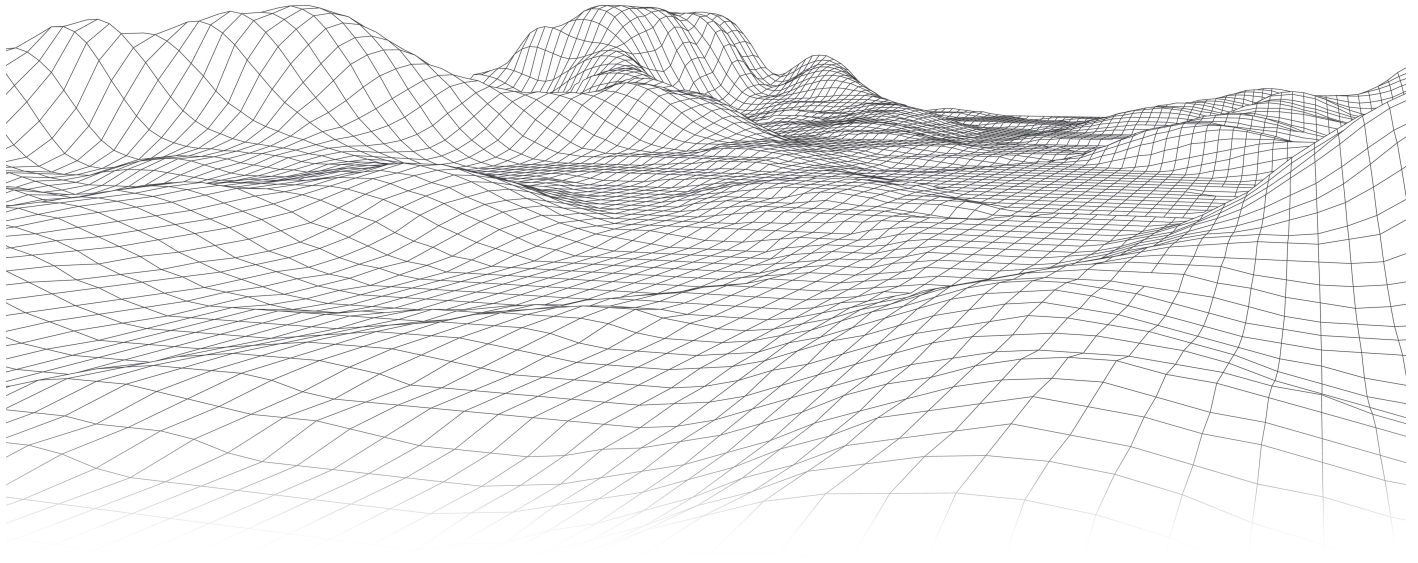




Transparenz in der Fertigungslinie

Bauteilrückverfolgung dank einzigartiger Oberflächenmerkmale

Im vom Bundesministerium für Wirtschaft und Klimaschutz (BMWK) geförderten Projekt „Markierungsfreie Bauteilidentifikation“ (IGF-Vorhaben-Nr. 21235 N) hat das Institut für Fertigungstechnik und Werkzeugmaschinen (IFW) der Leibniz Universität Hannover zusammen mit Partnern aus der Industrie eine innovative Methode zur Bauteilrückverfolgung anhand einzigartiger Oberflächenmerkmale erforscht.

Prof. Dr. Bernd Breidenstein, Marcel Wichmann, Dr. Emanuel Tack, Hendrik Voelker

Anforderungen an ein Qualitätsmanagementsystem, wie etwa in der IATF 16949, betreffen Transparenz und Rückverfolgbarkeit im gesamten Produktlebenszyklus. Infolgedessen müssen Bauteile eine Markierung besitzen, die während des kompletten Lebenszyklus verfügbar ist. Oerlikon Balzers ist ein weltweit agierender Anbieter von Oberflächenlösungen, die die Leistungsfähigkeit und Lebensdauer von Präzisionsbauteilen sowie von Werkzeugen für die Metall- und Kunststoffverarbeitung verbessern. Eine Rückverfolgbarkeit der Bauteile auf ein Beschichtungsdatum und eine Beschichtungsscharge ist hier bereits heute Stand der

Technik. Die Ermittlung der genauen Position eines Bauteils in der Beschichtungsanlage ist mit den aktuellen Kennzeichnungsmethoden aber nur schwer umsetzbar. Allerdings kann mit diesem Wissen, in Kombination mit einem Kundenfeedback hinsichtlich Performance der Beschichtung in der Anwendung, der Beschichtungsprozess gezielt optimiert werden.

Bei PVD/PACVD-Beschichtungsanlagen befinden sich die Bauteile auf einem Karussell mit unterschiedlichen Spindeln und Ebenen. Werden die Bauteile nach der Beschichtung sequenziell aus der Anlage entnommen, ist mit der hier beschriebenen Methode eine eindeutige Zuordnung der

Position des Bauteils in der Anlage möglich.

Hierfür wird ein Teil der Bauteiloberfläche nach der Entnahme mit einer Industriekamera aufgenommen und zusammen mit der Position des Bauteils in der Anlage in der Datenbank abgespeichert. Zusätzlich ist es möglich, Prozessparameter und Qualitätsdaten bauteilbezogen abzuspeichern. Über eine weitere Aufnahme des Bauteils können zu jedem weiteren Zeitpunkt im Produktlebenszyklus die Daten wieder aufgerufen werden.

Aktuelle Möglichkeiten der Bauteilkennzeichnung

Heutzutage können Kennzeichnungen

durch verschiedene Fertigungsverfahren (z.B. Lasermarkierung oder Prägen) auf die Bauteiloberfläche appliziert werden. Neben Seriennummern kommen 1D- oder 2D-Codes (z.B. Barcode, DMC-Code oder QR-Code) zum Einsatz. Je nach Bauteilform ist jedoch mindestens ein zusätzlicher Prozessschritt für die Applikation notwendig. Zusätzlich steigen Aufwand und Investment mit kleiner werdenden Werkstücken. Die Forschung hat sich in den vergangenen Jahren daher auf die Bauteilidentifikation anhand einzigartiger Oberflächenmerkmale spezialisiert.

Inspiziert von bereits in der Industrie verbreiteten Methoden, wie der Laser-Surface Authentication-Methode (LSA), ist es im Forschungsprojekt gelungen, zerspante Oberflächen eindeutig anhand ihrer Merkmale zu identifizieren. Dabei konnte nachgewiesen werden, dass eine Identifikation trotz Veränderung der Oberfläche durch Alterung, Bearbeitungsspuren oder Verschmutzungen möglich ist. Die mögliche Fehlerkorrektur der Methode erreicht ähnliche Sicherheiten, wie die in der Industrie gängigen QR-Codes.

Die Werkstückoberfläche kann mehr

In der Fertigungstechnik werden Oberflächen traditionell nach der ISO-Norm 25178 charakterisiert. Die in der Norm formulierten Parameter können jedoch die Oberfläche nicht eindeutig und robust beschreiben. Jede Oberfläche verfügt allerdings über einzigartige (stochastische) Merkmale. Diese Merkmale können zum Beispiel durch Vibrationen in der Werkzeugmaschine oder dem Werkzeugverschleiß entstehen und unterscheiden sich selbst bei gleichbleibenden Prozessbedingungen.

Der neuartige Ansatz extrahiert diese Merkmale über Methoden der statistischen Signalverarbeitung. So ist für die Identifikation nur ein 2 bis 5 mm langer Profilschnitt der Oberfläche notwendig, der durch eine optische oder taktile Messung extrahiert werden kann. Der Profilschnitt wird über die kontinuierliche Wavelet-Transformation aus dem Zeitbereich in den Raum-Frequenz-Bereich umgewandelt. Durch die orts aufgelöste Darstellung der Frequenzen steigt die Informationsdichte, was für die Identifikation notwendig ist. Stochastische Merkmale spiegeln sich durch auffällige Positionen (Minimum und Maximum) im



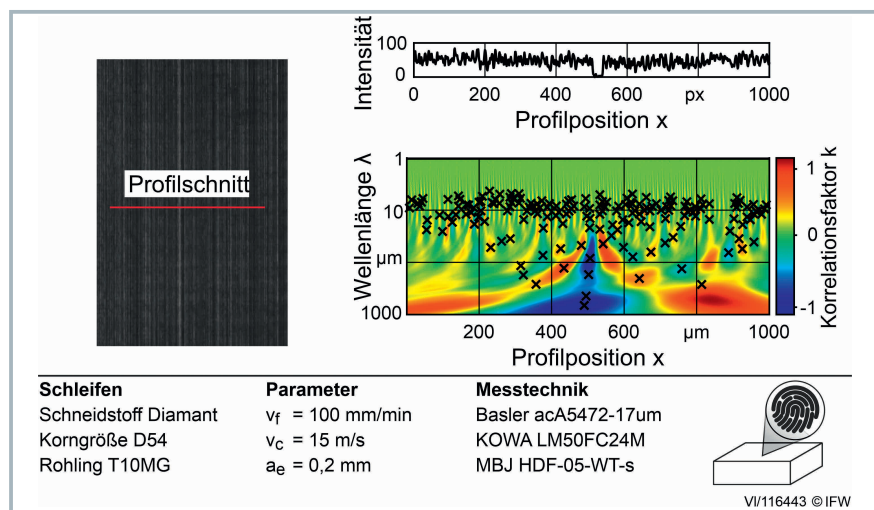
Die Beschichtungsanlage Innoventa Kila. © Oerlikon Balzers

Raum-Frequenz-Bereich wider.

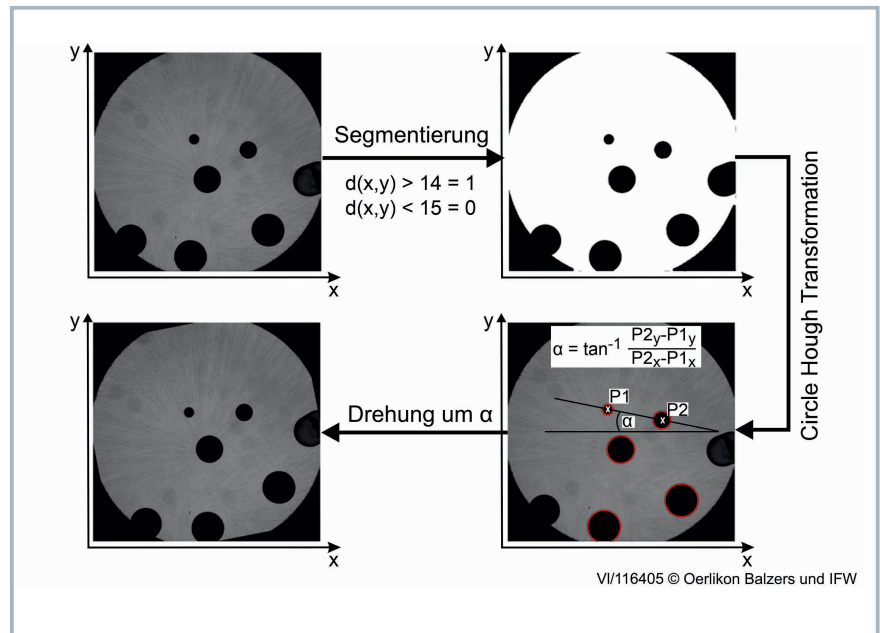
Diese Positionen werden lokal vom Algorithmus erkannt und als Merkmal definiert. Die Anordnung der Merkmale ergibt ein charakteristisches Muster, das für jedes Bauteil einzigartig ist und als Fingerabdruck bezeichnet wird. Um ein Bauteil zu identifizieren, wird der Fingerabdruck mit allen Einträgen in einer Datenbank abgeglichen. Dabei werden alle Merkmale des Fingerabdrucks mit allen Merkmalen des zu vergleichenden Fingerabdrucks auf ihre räumliche Übereinstimmung überprüft. Überschreitet das Ergebnis einen vorher festgelegten Schwellenwert, wird das Merkmal als Übereinstimmung angesehen. Aus den Untersuchungen im Rahmen des Forschungsprojekts ist bekannt, dass 19 Übereinstimmungen einer Identifikationssicherheit von 10^{20} entsprechen.

Eine Industriekamera reicht aus

Das Forschungsprojekt hatte das Ziel, die Rahmenbedingungen für eine Implementierung der markierungsfreien Bauteilidentifikation in die Fertigung aufzuzeigen. Aus den Ergebnissen ging hervor, dass die Messung der Oberfläche den größten Einfluss auf die Identifikationssicherheit hat. Am Anfang des Projekts wurde davon ausgegangen, dass eine Höheninformation der Oberfläche vorliegen muss. Im Rahmen des Forschungsprojekts konnte gezeigt werden, dass ein einfaches Grauwertbild zur Identifizierung ausreicht, wodurch der kostentechnische Aufwand deutlich reduziert werden kann. Für die Untersuchungen kam die Kamera acA5472-17um der Firma Basler in Kombination mit dem Objektiv Kowa LM50FC24M und einer resultierenden Pixelgröße von 10 $\mu\text{m}/\text{px}$ zum Einsatz. »»



Fingerabdruck einer flachgeschliffenen Probe. © IFW



Ausrichtung von Ventilplatten anhand geometrischer Eigenschaften. © Oerlikon Balzers und IFW

Für eine konstante Beleuchtung wurde das Ringlicht HDF-05-WT-s verwendet, das durch den flachen Eintreffwinkel sehr gut zum Prüfen von Objektoberflächen und Kanten geeignet ist.

Damit ein Bauteil markierungsfrei identifiziert werden kann, muss derselbe Profilschnitt verglichen werden, der nach der Fertigung erfasst wurde. In der Fertigung liegen Bilder oft mit einem translatorischen oder rotatorischen Versatz vor. Bei Rotation und Translation verändert sich das zu vergleichende Profil an jeder Profilposition, wodurch ab einem Winkel von 1° und einer Verschiebung von 200 µm keine Identifikation mehr möglich ist. Deshalb müssen die beiden zu vergleichenden Aufnah-

men über eine Softwarelösung ausgerichtet werden. Ein Ansatz ist die Verwendung von Methoden der Bildverarbeitung zur Bestimmung der Position von geometrischen Eigenschaften (Bohrungen, Kanten, etc.). Nach der Binarisierung des Bildes können über die Circular Hough Transformation (CHT) zwei Mittelpunkte bestimmt werden. Durch die Punkte wird eine Gerade gelegt und der Winkel zur x-Achse über den Arcustangens (arctan) bestimmt. Anschließend kann dieser Winkel über eine Rotationsmatrix ausgeglichen werden. Für die Translation kann der Mittelpunkt P1 auf eine vorgegebene Koordinate gelegt werden. Weiterhin wäre es möglich, die Rotation über die Textur der Oberfläche oder künstli-

INFORMATION & SERVICE

AUTOREN

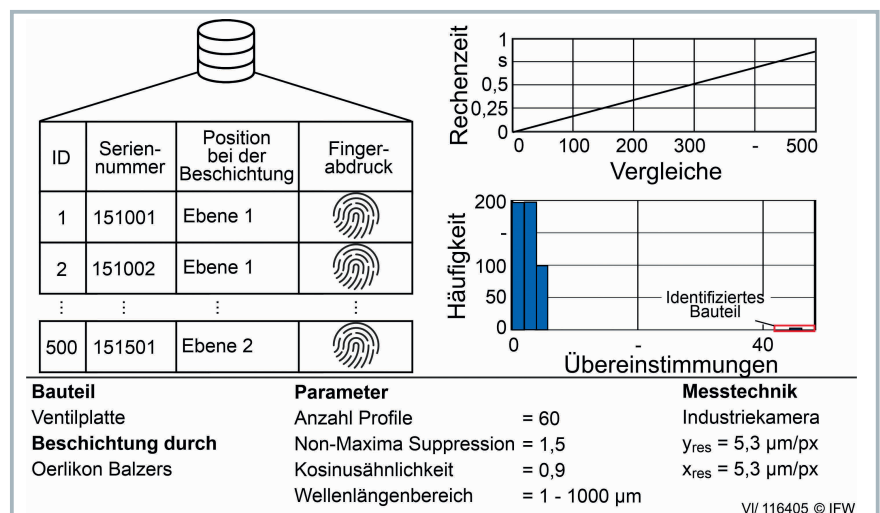
apl. Prof. Dr. rer. nat. habil. Bernd Breidenstein, Marcel Wichmann und Hendrik Voelker, alle Leibniz Universität Hannover, Institut für Fertigungstechnik und Werkzeugmaschinen (IFW)
Dr.-Ing. Emanuel Tack, Oerlikon Surface Solutions AG, Pfäffikon, Zweigniederlassung Balzers

INSTITUT

Institut für Fertigungstechnik und Werkzeugmaschinen
Produktionstechnisches Zentrum der Leibniz Universität Hannover / PZH
An der Universität 2
30823 Garbsen

INDUSTRIEPARTNER

Oerlikon Surface Solutions AG, Pfäffikon, Zweigniederlassung Balzers
Iramali 18, 9496 Balzers
Liechtenstein



Nachweis der Funktionsfähigkeit der Methode anhand von Ventilplatten in der Serie von Oerlikon Balzers. © IFW

che Intelligenz zu berechnen. Dabei werden Convolutional Neural Networks (CNN), die für eine Klassifikation aufgebaut sind, verwendet. Über die Umwandlung zu einem Regressionsmodell kann das Netz zu einem gegebenen Eingangsbild den Rotationswinkel bestimmen.

Erfolgreicher Nachweis der Funktionalität in der Serienfertigung

Ziel war es, den Nachweis der Funktionalität unter seriennahen Bedingungen zu erbringen. In Kooperation mit Oerlikon Balzers wurde das Identifizieren von beschichteten Ventilplatten in der Serienfertigung umgesetzt. Aufgenommen wurden die Teile mit einer Industriekamera mit einer Auflösung von $5,3 \mu\text{m}/\text{px}$. Aus den Messungen sind zwei Datensätze entstanden. Im ersten Datensatz befanden sich 180 Aufnahmen von Ventilplatten. Drei Ventilplatten wurden wiederholt gemessen. Dieser Datensatz wurde zum Anlernen der Parameter des Identifikationsalgorithmus verwendet.

Diese Parameter müssen für alle Bauteiltypen neu eingestellt werden. Somit ist vor jeder Implementierung eines neuen Bauteiltyps eine Versuchsreihe mit 200 Bauteilen notwendig. Die Parameter wurden anschließend auf den zweiten Datensatz übertragen, der aus 500 Aufnahmen bestand. Wieder sind drei Ventilplatten zweifach gemessen worden. Mit den angelernten Parametern ist es möglich, die drei gesuchten Ventilplatten in den 500 Aufnahmen zu finden. Hierfür wurden für alle Aufnahmen die Fingerabdrücke in einer Datenbank gespeichert.

Die Größe des Datensatzes für ein Bauteil entspricht durchschnittlich 25 kB. Der Abgleich von 500 Bauteilen ist mit der Methode in weniger als einer Sekunde möglich. Mit jedem weiteren Eintrag in der Datenbank steigt die Rechenzeit linear an. 10.000 Vergleiche sind demnach in ungefähr 20 s durchführbar. Damit ein Bauteil erfolgreich identifiziert wird, muss das Ergebnis des Vergleichs 19 Übereinstimmun-

gen überschreiten. Im Identifikationsergebnis ist zu sehen, dass ein Bauteil über 40 und die anderen 499 zwischen 1 bis 5 Übereinstimmungen besitzen. Je größer der Abstand zwischen den Übereinstimmungen ist, desto höher ist die Identifikationssicherheit. In dieser Versuchsreihe konnte eine Sicherheit von 10^{25} erreicht werden.

Der Aufbau der Datenbank kann für jeden Anwendungsfall individuell angepasst werden. Einzig ein Identifier (ID) und der Fingerabdruck müssen vorhanden sein. Der Fingerabdruck ist dabei als Matrix abgespeichert, wobei in den Zeilen und Reihen die Koordinaten der Merkmale stehen. Das Forschungsprojekt konzentrierte sich überwiegend auf zerspannte Oberflächen, jedoch konnten in Stichproben auch Spritzgussbauteile validiert werden, wodurch die zukünftigen Einsatzmöglichkeiten der Methode über die spanende Fertigung hinausgehen. ■