

## Titel

# Digitaler Fingerabdruck zur markierungsfreien, branchenübergreifenden Bauteilidentifikation in der zerspanenden Prozesskette

IGF-Nr.: 21235 N

---

## Forschungseinrichtungen

Forschungseinrichtung 1: Leibniz Universität Hannover, Institut für Fertigungstechnik  
und Werkzeugmaschinen, Garbsen (IFW)



Institut für Fertigungstechnik  
und Werkzeugmaschinen

Ansprechpartner beim Institut:

M. Sc. Hendrik Voelker  
0511 / 762 8078  
voelker@ifw.uni-hannover.de

## Danksagungen

Das IGF-Vorhaben 21235 N der Forschungsvereinigung Forschungsgemeinschaft  
Werkzeuge und Werkstoffe e.V. – FGW, Papenberger Straße 49, 42859 Remscheid  
wurde über die AiF im Rahmen des Programms zur Förderung der Industriellen  
Gemeinschaftsforschung (IGF) vom Bundesministerium für Wirtschaft und Klimaschutz  
aufgrund eines Beschlusses des Deutschen Bundestages gefördert.

Gefördert durch:



Bundesministerium  
für Wirtschaft  
und Klimaschutz

aufgrund eines Beschlusses  
des Deutschen Bundestages



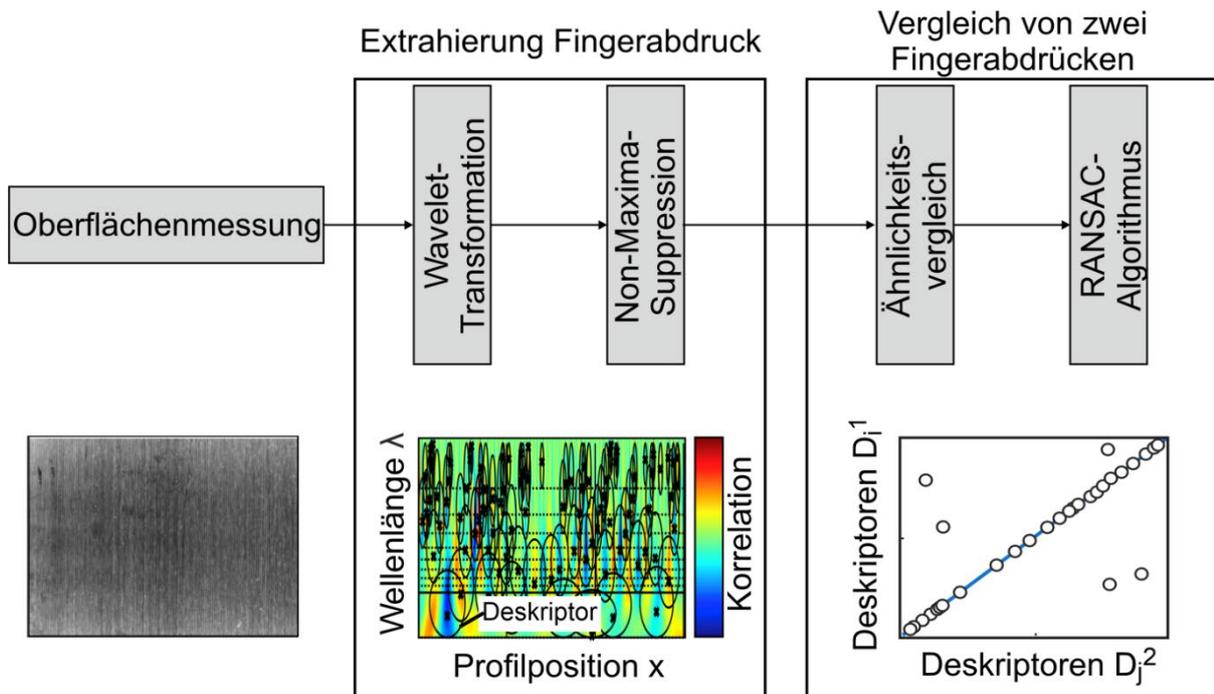
---

## Ausgangssituation

Der Maschinenbau in Deutschland ist ein Wirtschaftszweig, der sich durch Innovationskraft und ein hohes Exportvolumen auszeichnet. Der Rückruf fehlerhafter Bauteile, aber insbesondere die Produktfälschung von Dritten stellen jedoch ein stetig wachsendes Problem dar. Allein der monetäre Schaden durch Plagiate betrug 2020 für deutsche Unternehmen 7,6 Milliarden Euro [VDM20]. Die Folge von Fälschungen oder fehlerhaften Bauteilen sind Ersatzansprüche der Kunden an den Hersteller. Zur Ablehnung von Schadensersatzzahlungen ist der Produzent in der Pflicht den Nachweis zu erbringen, dass zum Zeitpunkt der Auslieferung das Bauteil nach aktuellem Stand der Technik im fehlerfreien Zustand war. Im Falle eines Plagiates muss der Hersteller nachweisen, dass das Bauteil nicht von ihm produziert wurde. In beiden Fällen ist eine Rückverfolgung während des kompletten Lebenszyklus notwendig. Dafür müssen Bauteile eindeutig markiert sein. Hierfür verwenden Unternehmen aktuell verschiedene Arten von aktiven Markierungen. Aktive Markierungen sind zusätzlich auf der Oberfläche applizierte Kennzeichnungen. Dabei kann es sich um 1D- oder 2D-Codes (z.B. QR-Code) handeln. Diese müssen jedoch über mindestens einen zusätzlichen Prozessschritt auf der Oberfläche appliziert werden und sind für Dritte einfach zu kopieren. Eine höhere Fälschungssicherheit bieten RFID-Chips. Jeder Chip enthält eine individuelle Kennung, die für eine Identifikation übermittelt wird. Die Kennung ist verschlüsselt, sodass eine Fälschung nicht möglich ist. Allerdings ist auch hier ein ergänzender Prozessschritt notwendig. Zusätzlich besteht die Möglichkeit die Chips von der Oberfläche zu entfernen. Dieses Forschungsprojekt griff die Nachteile der aktiven Markierung auf und beschäftigt sich mit dem Einsatz einer fälschungssicheren, effizienten und branchenübergreifenden Methode zur Bauteilidentifikation. Passive Markierungen verwenden inhärente Oberflächeneigenschaften, um Bauteile markierungsfrei zu identifizieren. Diese Eigenschaften der Oberfläche müssen sich selbst bei primären Bedingungen in der Herstellung unterscheiden. Im Sonderforschungsbereich (SFB) haben das Institut für Informationsverarbeitung (TNT) und das Institut für Fertigungstechnik und Werkzeugmaschinen (IFW) der Leibniz Universität Hannover einen Ansatz entwickelt, der die stochastischen Merkmale über eine optische oder taktile Messung extrahiert. Aus der Messung können durch die kontinuierliche Wavelet-Transformation die Merkmale im Frequenzbereich extrahiert werden. Über einen Vergleich der Merkmale kann eine Identifikationssicherheit von  $10^{-20}$  erreicht werden [DRA11, BRE16, BRE17].

Spanende Oberflächen werden häufig in eine kinematische und stochastische Rauheit unterteilt. Die kinematische Rauheit wird über die Prozessstellgrößen und Werkzeugform generiert und ist bei gleichbleibenden Parametern identisch. Über mathematische Modell ist es möglich die kinematische Rauheit vorherzusagen. Im Gegensatz hierzu unterscheidet sich die stochastische Rauheit selbst bei gleichbleibenden Prozessstellgrößen. Sie entsteht z. B. durch Vibrationen in der Werkzeugmaschine oder dem Werkzeugverschleiß und kann aktuell nicht vorhergesagt werden. Daher bietet sie großes Potenzial Bauteile eindeutig zu beschreiben und

dementsprechend zu identifizieren. Aktuell werden die kinematische und stochastische Rauheit in der Industrie und Forschung nach der ISO-Norm 25178 charakterisiert. Diese Parameter genügen aber nicht aus die Oberfläche eindeutig und robust zu beschreiben. So können z. B. mehrere Oberflächenformen dieselbe mittlere arithmetische Höhe  $S_a$  besitzen. Zusätzlich sind die Parameter nicht robust gegenüber Oberflächenänderungen und hängen stark von dem verwendeten Messequipment ab. Daher greift die markierungsfreie Bauteilidentifikation auf Methoden der statistischen Signalverarbeitung zurück, um signifikante Merkmale der stochastischen Rauheit zu extrahieren. Die komplette Funktionsweise ist im Bild 1 dargestellt.



VI/116441 © IFW

Bild 1: Funktionsweise der markierungsfreien Bauteilidentifikation

Um die Methoden aus der Signalverarbeitung zu verwenden, wird ein 2D Profilschnitt aus der Oberflächenmessung extrahiert. Über die kontinuierliche Wavelet-Transformation (CWT) wird dieser in den Frequenzraum transferiert. Die CWT ermöglicht im Gegensatz zur Fourier Transformation eine Zeit-Frequenz-Lokalisierung von Merkmalen. Darüber hinaus ist die CWT skalunabhängig, wodurch sie für jedes Profil und Prozessunabhängig eingesetzt werden kann. Das Ergebnis ist ein Lokalspektrum (Amplitude der lokalen Ortsfrequenz in Abhängigkeit vom Ort). Die Non-Maxima-Suppression extrahiert aus dem Lokalspektrum lokale Extrempunkte, die über einen definierten Schwellenwert liegen. Ein Merkmal ist dabei über seine Profilposition  $X$  und der dazugehörigen Frequenz  $f$  definiert. Um zwei Merkmale zu vergleichen, wird ein Vektor aus den an den Merkmalen anliegenden Frequenzen und Profilpositionen gebildet und durch das Skalarprodukt verglichen. Das Ergebnis aus dem Vergleich aller Merkmale von zwei Fingerabdrücke wird mit dem RANSAC (Random Sample Consensus) Algorithmus validiert. Dieser Algorithmus ist ein statistisches Verfahren für die Bestimmung der Ähnlichkeit zweier Datensätze.

---

## **Forschungsziel**

Das Ziel des Forschungsvorhabens bestand in dem Nachweis der Einsatzfähigkeit des digitalen Fingerabdrucks für die spanende Fertigung und den Einfluss von Korrosion und mechanischem Verschleiß der Oberflächen auf die Identifizierung zu ermitteln.

Zunächst wurde in AP1 ein Messsystem aufgebaut, das dem Anwender ermöglicht den digitalen Fingerabdruck reproduzierbar und wirtschaftlich zu messen. Für die Validierung wurde der Nachweis der Funktionsfähigkeit des Systems an Realbauteilen der Partner durchgeführt. Dafür wurden verschiedene algorithmische Ansätze entwickelt, welche die Ausrichtung von zwei Messungen zueinander ermöglichen. Es wurde bei dem Messsystem beachtet, dass alle Komponenten für die Partner auf dem Markt verfügbar sind. Mit dem Messsystem wurde in AP 2 die Identifikationssicherheit von gefrästen und gedrehten Bauteilen analysiert. Im ersten Schritt wurde eine Analyse der Oberfläche und der Merkmalsposition durchgeführt. Mit diesem Wissen konnte der Identifikationsalgorithmus angepasst werden. Untersucht wurden die Profilposition und die Parameter der kontinuierlichen Wavelet-Transformation. AP3 erweiterte die Untersuchungen an den gefrästen und gedrehten Proben, in dem der Einfluss von Verschleiß untersucht wurde. Mit den Partnern wurden realitätsnahe Szenarien ausgearbeitet. Diese wurden zuerst simulativ betrachtet und anschließend durch Versuche validiert. Mit dem Wissen über Messsystem und Identifikationsalgorithmus wurde in AP4 ein Demonstrator aufgebaut. Durch einen modularen Aufbau kann dieser sowohl in die Fertigung integriert werden (AP4.1) wie auch Werkzeuge (AP4.2) identifizieren. Zusätzlich wurden in AP4.1 und AP4.2 Versuche bei den Partnern durchgeführt. Dafür wurden Bauteile entlang der Prozesskette identifiziert, um Möglichkeiten und Grenzen der Methode zu erforschen. Mit dem Ende des AP4 steht der Nachweis über eine automatisierte Identifikation von 500 Proben in der Fertigung.

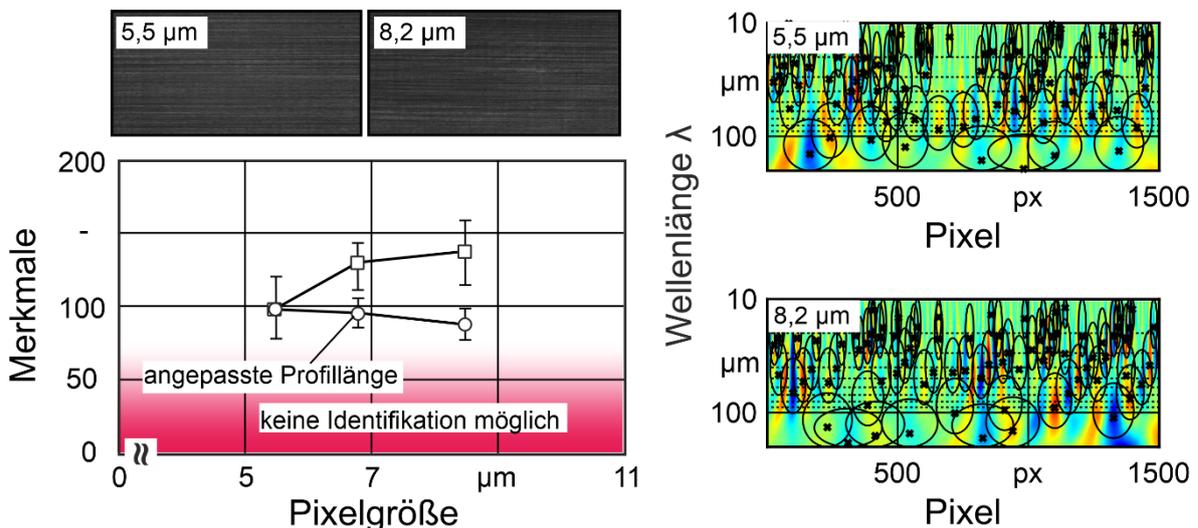
---

## **Vorgehensweise und Forschungsergebnisse**

In Arbeitspaket 1 wurden unterschiedliche Messmethoden für den Einsatz der markierungsfreien Bauteilidentifikation validiert. Es wurde bei der Auswahl der Hardwarekomponenten darauf geachtet, dass diese für alle auf dem Markt vorhanden sind. Das Messgerät hat für die spätere Implementierung in der Serienfertigung den größten Einfluss auf die Identifikationssicherheit. Für eine hohe Sicherheit müssen die stochastischen Merkmale detailliert in der Messung abgebildet werden. Dabei darf die Genauigkeit auch durch Umgebungseinflüsse (z.B. Sonnenlicht, Temperatur, Verschmutzungen, etc.) nicht abnehmen. Die höchste Wirtschaftlichkeit für einen Einsatz in der Industrie hatte die Industriekamera. Die nachfolgenden Ergebnisse wurden mit der Industriekamera Basler acA5472-17um Kamera ausgeführt. Diese ist mit einem Sony IMX183 1“ CMOS Sensor ausgestattet und hat eine Auflösung von

5472 px x 3648 px. Die Pixelgröße kann über ein Objektiv variiert werden, beträgt aber minimal 2,4  $\mu\text{m}/\text{px}$ . Die Kamera wird mit dem Objektiv KOWA LM50FC24M verknüpft. Dieses Objektiv ermöglicht es die Blende zwischen 1,8 und 16 sowie den Fokusbereich ab 0,2 bis unendlich einzustellen. In der Kombination aus Objektiv und Kamera ergibt sich ein Mindestarbeitsabstand, engl. minimum working distance (M.W.D) von 200 mm, der durch Zwischenringe verkleinert werden kann. Als Beleuchtung kommt das Ringlicht HDF-05-WT-s zum Einsatz, das durch den flachen Eintreffwinkel sehr gut zum Prüfen von Objektoberflächen und Kanten ist.

Zuerst wurde die Detailliertheit der Oberfläche anhand der Messung von geschliffenen Proben über die Pixelgröße bestimmt. Mit der eingesetzten Kombination aus Kamera und Objektiv ist eine Pixelgröße von 2,4  $\mu\text{m}/\text{px}$  möglich. Eine Anpassung der Pixelgröße ist über die Einstellung des Fokusbereichs – kleine Fokusbereiche erzeugen kleinere Pixelgrößen – am Objektiv und über die Integration von Zwischenringen möglich. Jedoch wird durch die Verringerung der Pixelgröße der Schärfetiefenbereich geringer, wodurch eine genauere Einstellung des M.W.D notwendig ist. Für die Untersuchungen kam ein Zwischenring von 10 mm zum Einsatz und die Pixelgröße wurde über den Fokusbereich am Objektiv eingestellt. Es wurden drei Einstellungen untersucht, die Pixelgrößen von 5,5  $\mu\text{m}/\text{px}$ , 6,8  $\mu\text{m}/\text{px}$  und 8,2  $\mu\text{m}/\text{px}$  ergeben. Da die Auflösung des Sensors sich nicht ändert, wird mit geringeren Pixelgrößen der Bildbereich kleiner und somit bei derselben Anzahl von Messpunkten die Profillänge. Geringe Pixelgrößen können hochfrequente Informationen besser darstellen, wodurch trotz geringerer Profillänge mehr Merkmale vorhanden sein sollten. Bild 2 zeigt die Korrelation zwischen Pixelgröße und Profillänge zu den extrahierten Merkmalen. Im niederfrequenten Bereich gehen durch die kleinere Profillänge mehr Merkmale verloren als durch die hochauflösende Pixelgröße hinzukommen. Im zweiten Schritt wurde die Profillänge



Schleifen	Parameter	Messtechnik
Schneidstoff Diamant	$v_f = 100 - 200 \text{ mm/min}$	Basler acA5472-17um
Korngröße D54	$v_c = 15 - 22 \text{ m/s}$	KOWA LM50FC24M
Rohling T10MG	$a_e = 0,2 - 0,8 \text{ mm}$	MBJ HDF-05-WT-s

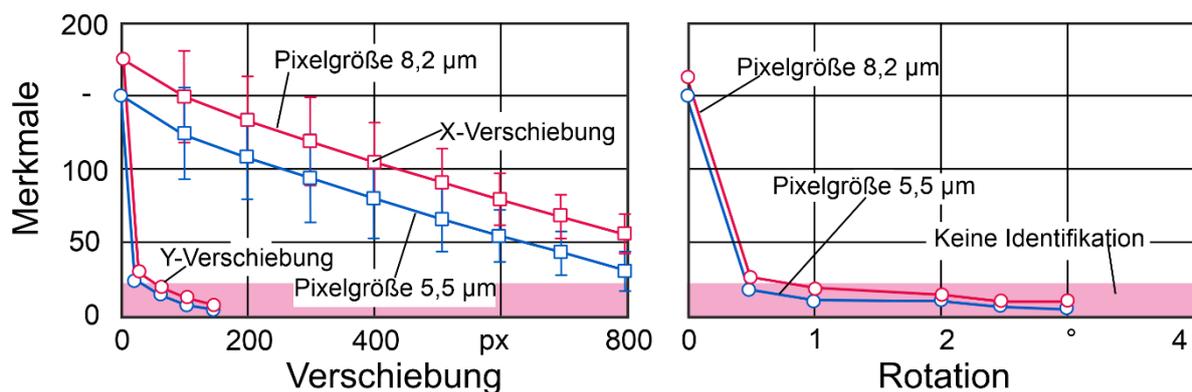


VI/116444 © IFW

Bild 2: Einfluss der Pixelgröße und Profillänge auf die Identifikation von geschliffenen Oberflächen

angepasst, sodass sie für alle Pixelgrößen identisch ist. Im niederfrequenten Bereich gehen dieselbe Anzahl von Merkmalen verloren und somit weisen kleinere Pixelgrößen mehr Merkmale auf. Für eine spätere Anwendung in der Fertigung bedeutet dies, dass eine höhere Pixelgröße (im Bereich von 6  $\mu\text{m}/\text{px}$  bis 10  $\mu\text{m}/\text{px}$ ) durch einen längeren Profilquerschnitt ausgeglichen werden können. Dabei ist zu beachten, dass die Pixelgröße nicht oberhalb 10  $\mu\text{m}/\text{px}$  liegen sollte, da sonst eine Identifikation geschliffener Oberflächen nicht möglich ist. Das Zusammenspiel von Profillänge und Pixelgröße ist ebenfalls von der vorhandenen Fläche abhängig. Ist nur ein kleiner Ausschnitt der Oberfläche für eine Identifikation vorhanden, muss über das Messequipment die Auflösung erhöht werden.

In den vorherigen Versuch wurden die Proben auf einem Halter platziert, der gewährleistet, dass derselbe Bildausschnitt miteinander verglichen werden kann. Jedoch ist dies in der Praxis nur schwer umsetzbar und soll nach Rücksprache mit den Projektpartnern vermieden werden. Deshalb wurde im Rahmen dieses Forschungsprojekts ein Softwareansatz zur Ausrichtung der Aufnahmen entwickelt. Für die Auslegung der Genauigkeit des Ansatzes wurde in Versuchsreihen der Einfluss einer Verschiebung des Profilquerschnitts in X- und Y-Richtung sowie einer Rotation untersucht. Bei der Rotation und einer Verschiebung der Y-Richtung verändert sich das vergleichende Profil an jeder Profilposition X. Im Gegensatz hierzu gibt es bei einer Verschiebung in X-Richtung immer noch einen überlappenden Bereich der beiden Profile, über den eine Identifikation durchgeführt werden kann. Bild 3 zeigt den Einfluss der Verschiebung und der Rotation. Ab einer Verschiebung in X-Richtung von 4 mm ist eine Identifikation nicht mehr realisierbar. Die mögliche Verschiebung hängt auch von der Profillänge ab. Je länger das Profil, desto größer darf die Verschiebung sein. Jedoch sollte für geschliffene Proben eine Überlappung von mindestens 750 Messpunkte gewährleistet sein. Ein ähnliches Verhalten ist für gefräste und gedrehte Proben zu erwarten. In Y-Richtung ist ab einer Länge von 200  $\mu\text{m}$  keine Identifizierung mehr



#### Schleifen

Schneidstoff Diamant  
Korngröße D54  
Rohling T10MG

#### Parameter

$v_f = 100 - 200 \text{ mm/min}$   
 $v_c = 15 - 22 \text{ m/s}$   
 $a_e = 0,2 - 0,8 \text{ mm}$

#### Messtechnik

Basler acA5472-17um  
KOWA LM50FC24M  
MBJ HDF-05-WT-s



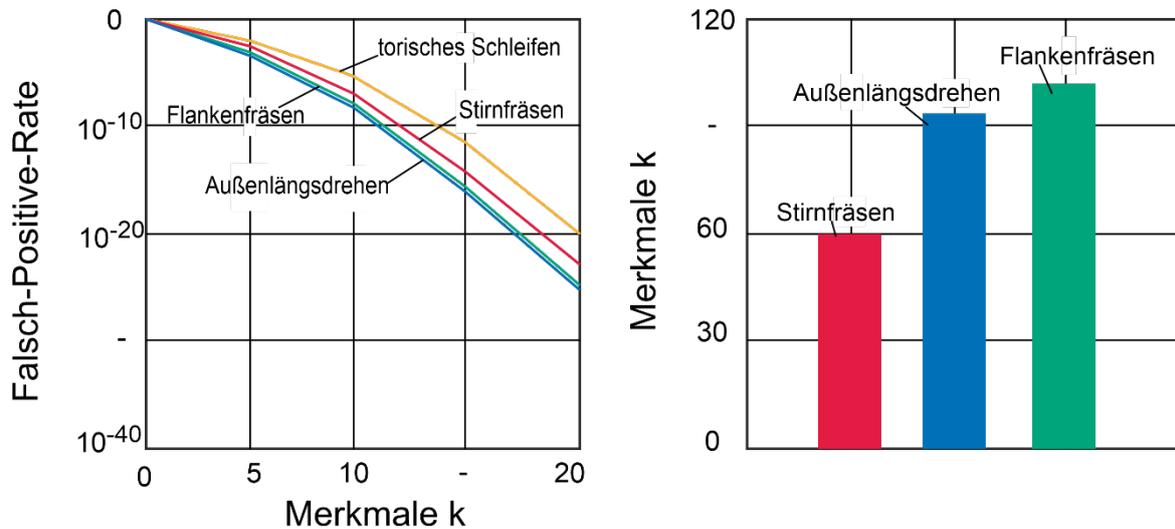
VI/116450 © IFW

Bild 3: Einfluss der Positioniergenauigkeit auf die Identifikationssicherheit

realisierbar. Bei der Rotation ist ein ähnliches Verhalten wie bei der Verschiebung in Y-Richtung festzustellen. Nach der Rotation des Profils um einen Grad ist keine Identifikation möglich, weil kein übereinstimmender Bereich mehr vorhanden ist. Dies zeigt die Einzigartigkeit der Identifikationsmethode sowie die Herausforderung für einen Transfer in die Industrie. Im Folgenden werden drei Ansätze beschrieben, mit denen eine Ausrichtung der Proben möglich ist. Im Rahmen dieses Forschungsprojekts wurden drei in der Literatur verwendete Ansätze zur Ausrichtung von Werkstücken genauer verfolgt. Im ersten Ansatz werden geometrische Eigenschaften von Bauteilen bestimmt und daran die Ausrichtung durchgeführt. Geometrische Eigenschaften können Bohrungen, Kanten oder Stufen sein. Über eine Binarisierung des Bildes können diese lokalisiert und der Winkel zur x- oder y-Achse für die Drehung bestimmt werden. Neben den geometrischen Eigenschaften ist ein Ausgleich über die Textur der Oberfläche möglich. Beim Flankenfräsen und Außenlängsdrehen können die Vorschubrillen verwendet werden, um die Rotation zu bestimmen. Wie die Kanten können die Rillen extrahiert und die Rotation zu einer gegebenen Achse bestimmt werden. Die Software MountainsMap® von Digital Surf hat diese Funktion implementiert. Die Translation kann über dieses Verfahren nicht ausgeglichen werden. Daher muss nach dem Rotationsausgleich noch ein Template-Matching wie bei den Kanten durchgeführt werden. Ein unabhängiger Rotationsausgleich kann über neuronale Netze durchgeführt werden. 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 Winkel bestimmen. Wieder muss die Translation ausgeglichen werden. Der Vorteil bei der Aufgabenstellung ist, dass für die Regression ein homogener Datensatz aufgebaut werden kann, mit dem das Netz die Problemstellung lernen kann.

Das Ziel von Arbeitspaket 2 war es aufbauend auf den Ergebnissen von Arbeitspaket 1, die Identifikationssicherheit anhand von prozessnahen Analogiebauteilen für die wesentlichen Zerspanprozesse zu ermitteln. Hierfür wurde mit dem Wissen um die Merkmalszusammensetzung von gefrästen und gedrehten Oberflächen die Erkennungssicherheit der einzelnen Prozesskinematiken analysiert. Dazu wurde das Wahrscheinlichkeitsmodell von Dragon et al. verwendet [DRA11]. Mittels der Ergebnisse in Bild 4 lässt sich festhalten, dass die falsch-positiv-Raten für die untersuchten Prozesskinematiken nahezu identisch sind. Jedoch zeigt sich im Vergleich zum Schleifen eine erhöhte Identifikationssicherheit. Diese Steigerung ist auf die Oberflächenstruktur beim Drehen und Fräsen zurückzuführen. Dadurch können mehr einzigartige Merkmale extrahiert werden, wodurch sich die Bauteile mit einer höheren Sicherheit identifizieren lassen. In vorherigen Versuchsreihen wurden die Proben mit unterschiedlichen Prozessstellgrößen hergestellt. Somit konnte nachgewiesen werden, dass die Identifikation unabhängig der Stellgrößen ist. Für die Industrie ist jedoch die Identifikation bei gleichen Stellgrößen gefordert. Daher wurde in diesem Schritt die Identifizierung von stirngefrästen Oberflächen realitätsnah durchgeführt. Dafür werden Proben bei konstanten Parametern bearbeitet und nur das Fräswerkzeug ausgewechselt. Für die Identifikation werden 107 verschiedene Proben zweimal gemessen und gegeneinander verglichen. In Bild 5 ist das Ergebnis als Konfusionsmatrix dargestellt. Eine Identifikation ist dann erfolgreich, wenn die Anzahl

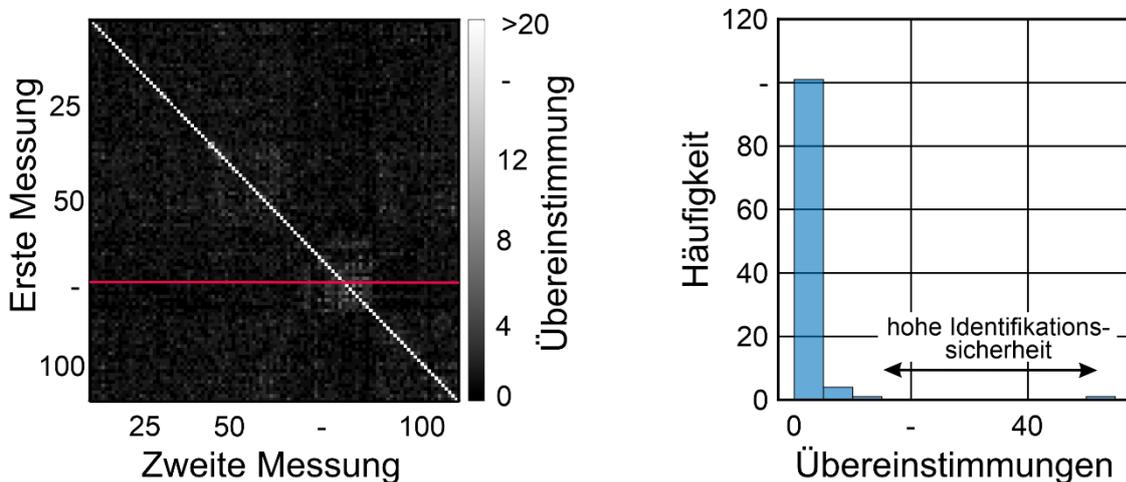
von 19 Merkmalen überschritten ist. Dies ist bei allen Proben der Fall. Zusätzlich sind keine fehlerhaften Übereinstimmungen vorhanden. Für das Ergebnis wurden das Messequipment aus Arbeitspaket 1 sowie die Erkenntnisse der Parameter des Identifikationsalgorithmus.



Stirnfräsen	Flankenfräsen	Außenlängsdrehen	Messtechnik
AlSi 12	Al 7075 42CrMo4	100Cr6, X20CR13, C45 H6, 16MnCr5	Industriekamera
$f_z = 0,059 \text{ mm}$	$f_z = 0,05 - 0,1 \text{ mm}$	$f_z = 0,05 - 0,25 \text{ mm}$	$y_{res} = 2,4 \text{ } \mu\text{m/px}$
$v_c = 200 \text{ m/min}$	$v_c = 230 - 570 \text{ m/min}$	$v_c = 230 - 570 \text{ m/min}$	$x_{res} = 2,4 \text{ } \mu\text{m/px}$
$a_p = 4 \text{ mm}$	$a_p = 0,1 - 3 \text{ mm}$	$a_p = 0,1 \text{ mm}$	

VI/111461 © IFW

Bild 5: Identifikationssicherheit der in dem Forschungsprojekt untersuchten Fertigungsprozesse



Stirnfräsen	Parameter	Messtechnik
Durchmesser 10 mm	$f_z = 0,06 \text{ mm/min}$	Basler acA5472-17um
Zähnezahl 4	$v_c = 160 \text{ m/s}$	KOWA LM50FC24M
Schneidstoff HM	$a_e = 5 \text{ mm}$	MBJ HDF-05-WT-s
Beschichtung TIALN	$a_p = 6 \text{ mm}$	

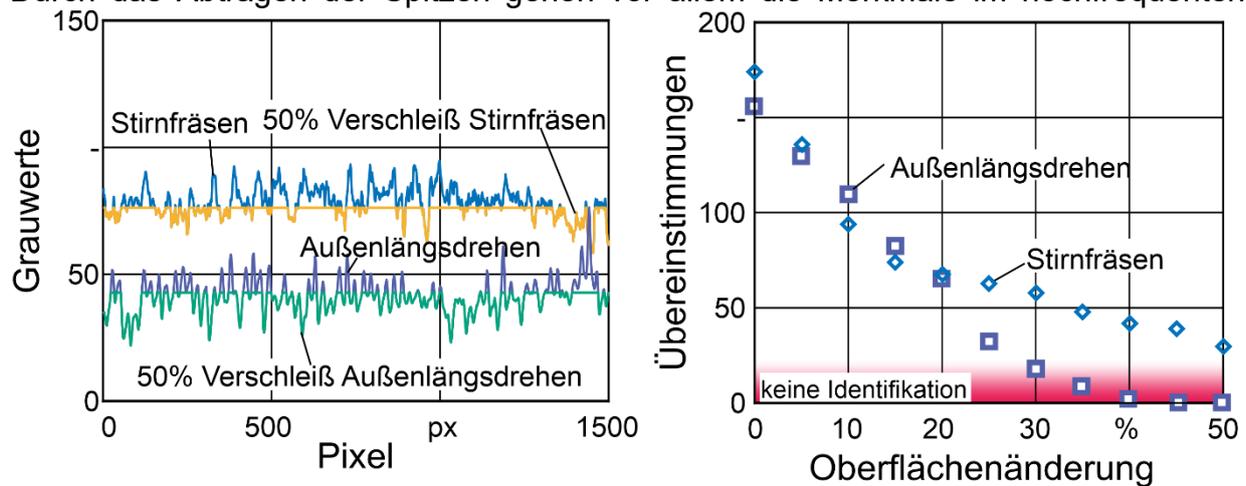


VI/116452 © IFW

Bild 4: Validierung der Industriekamera für stirngefräste Bauteile

Für einen späteren Einsatz in der Industrie ist das Wissen über den Einfluss von Oberflächenänderung auf die Identifikationssicherheit notwendig. Das Ziel von

Arbeitspaket 3 war es, den Einfluss des mechanischen und des chemischen Verschleißes auf die Identifikationssicherheit zu ermitteln. Dabei wurden in Simulation und Versuchen Kratzer, Reibung, fertigungsbedingte Rücklagen (Kühlschmierstoff, Öl, Späne) und Korrosion untersucht. In Bild 6 ist die Simulationsanalyse der Reibung auf Identifikationssicherheit dargestellt. Es wird angenommen, dass das abgetragene Material sich nicht neu auf der Oberfläche ansammelt. Somit kann realisiert werden, dass die Spitzen des Initialprofils abgetragen werden, wofür ein prozentualer Anteil vorgegeben werden kann. Über diesen Anteil werden die abzutragenden Spitzen bestimmt. Beim Außenlängsdrehen ist ein schnellerer Abfall zu erkennen als beim Stirnfräsen, wo mit einer Änderung von mehr als 50 % eine Identifikation realisierbar ist. Durch das Abtragen der Spitzen gehen vor allem die Merkmale im hochfrequenten



**Stirnfräsen**

$f_z = 0,04 \text{ mm}$   
 $v_c = 160 \text{ m/min}$   
 $a_p = 6 \text{ mm}$

**Außenlängsdrehen**

$f = 0,05 - 0,25 \text{ mm}$   
 $v_c = 50 - 200 \text{ m/min}$   
 $a_p = 0,2 \text{ mm}$

**Messtechnik**

Basler acA5472-17um  
 20 MP  
 Pixelgröße 3,1  $\mu\text{m}$



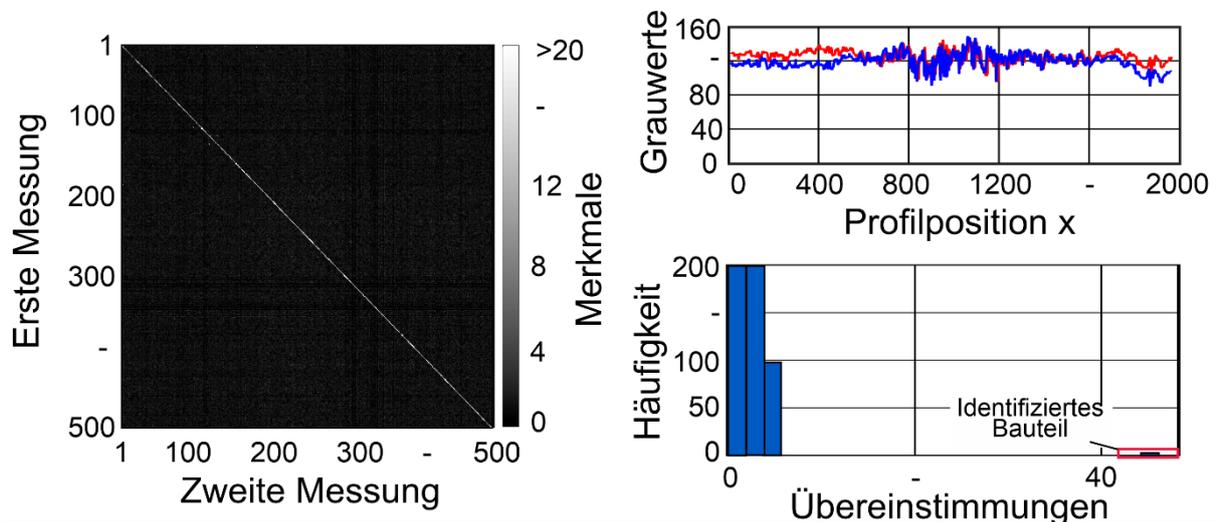
VI/ 116401 © IFW

Bild 6: Einfluss von Reibung auf die Identifikationssicherheit

Bereich verloren. Wohingegen Merkmale wie der Zahnvorschub im niederfrequenten Bereich gleichbleiben. Für das Außenlängsdrehen ist der Vorschub kleiner, wodurch dieser hochfrequenter dargestellt und schneller abgetragen wird. Das Messequipment ist zusätzlich beim Stirnfräsen in der Lage hochfrequente Merkmale, die zwischen den Vorschubrillen auftreten, abzubilden. Diese werden beim Abtrag der Spitzen nicht beeinflusst und bleiben somit für die Identifikation erhalten. Mit dem gewählten Setup ist die Darstellung dieser Merkmale beim Außenlängsdrehen nicht möglich. Insgesamt konnte bei den Verschleißuntersuchungen festgestellt werden, dass eine Identifikation auch dann noch möglich ist, wenn 50 % des Initialprofils verändert wurden sind.

Im letzten Arbeitspaket wurden die Ergebnisse transferiert. Hierfür wurde am IFW drei von Oerlikon Balzers Coating Germany GmbH in der Fertigung aufgenommene Datensätze untersucht. Für die Messung wird eine Industriekamera mit einer Auflösung von 5  $\mu\text{m/px}$  verwendet. Der erste Datensatz besteht aus 180 Aufnahmen von Ventilplatten nach einer Beschichtung. Drei Ventilplatten wurden wiederholt gemessen. Dieser Datensatz wird zum Anlernen der Parameter des Identifikationsalgorithmus

verwendet. Anschließend werden diese Parameter auf den zweiten und dritten Datensatz angewendet. Der dritte Datensatz besteht aus 500 Aufnahmen, wobei 3 Ventilplatten doppelt gemessen werden. Die Bezeichnung der drei Ventilplatten ist unbekannt und soll über die Identifikationsmethode bestimmt werden. Im dritten Datensatz sind 20 Aufnahmen von Ventilplatten vorhanden. Alle 20 Proben sind vor und nach der Beschichtung gemessen. Die Aufnahmen liegen mit einer Rotation vor, sodass zunächst eine Ausrichtung über geometrische Eigenschaften durchgeführt wird (vgl. Arbeitspaket 1). Mit den ausgerichteten Bildern in Datensatz 1 (Ventilplatten) wurden die Parameter des Identifikationsalgorithmus antrainiert. Diese Parameter werden auf den Datensatz 2 (Ventilplatten) übertragen. In Bild 7 ist die Konfusionsmatrix dargestellt, woraus die drei doppelten Aufnahmen identifiziert werden können. Während in Arbeitspaket 1 und 2 die Anzahl von Übereinstimmungen noch bei mehr als 50 lag, ist sinkt diese auf 40. In Arbeitspaket 1 und 2 wurden seriennahe Bedingungen simuliert, die Messungen aber im Labor durchgeführt. Hier wird Messung direkt in der Fertigung durchgeführt, wodurch die Anzahl von Übereinstimmungen sich reduziert.



Bauteil	Parameter	Messtechnik
Durchm. D = 16,1 mm	Anzahl Profile = 60	Industriekamera
	Non-Maxima Suppression = 1,5	$y_{res} = 5,3 \mu\text{m}/\text{px}$
	Kosinusähnlichkeit = 0,9	$x_{res} = 5,3 \mu\text{m}/\text{px}$
	Wellenlängenbereich = 1 - 1000 $\mu\text{m}$	

VI/ 116405 © IFW

Bild 7: Identifikation von Ventilplatten in der Serie bei Oerlikon Balzers Coating Germany GmbH

## Zusammenfassung

In den letzten Jahren ist die Bedeutung einer eindeutigen Markierung und Identifizierung von Bauteilen durch existierende Forderungen an das Qualitätsmanagementsystem, wie beispielsweise in der Norm IATF 16949 der Automobilbranche, gestiegen. Eine Rückverfolgbarkeit der Bauteile auf eine Charge ist heute bereits Stand der Technik. Mit der markierungsfreien Bauteilidentifikation können nun auch Bauteile innerhalb einer Charge eindeutig identifiziert werden und somit Transparenz und Rückverfolgbarkeit im

gesamten Produktlebenszyklus schaffen. Durch die eindeutige Identifizierung können Daten (z.B. Prozessparameter, Herstellungsdatum, etc.) bauteilbezogen abgespeichert werden. Somit ist ein kontinuierlicher Verbesserungsprozess möglich, der zu einer höheren Kundenzufriedenheit führt und einen wirtschaftlichen Mehrwert bringt. Zum Beispiel können Fertigungsprozesse über Kundenfeedback der Lebensdauer einzelner Bauteile gezielt optimiert werden. Hierfür ist eine Identifikation in der Nutzungsphase notwendig. Die Forschungsergebnisse zeigen auf, dass dies durch die Robustheit der Methode realisiert werden kann. Hierfür wurde eine weitestgehend bedienerunabhängige, präzise Messmethodik aufgezeigt, die zur Extrahierung der inhärenten Oberflächenstrukturen verwendet werden kann. Mit der Methodik konnte gezeigt werden, dass eine exakte Ausrichtung der Proben notwendig ist. Hierfür wurden verschiedene Ansätze ermittelt, wobei sich die Ausrichtung über geometrische Eigenschaften als die Methode mit der höchsten Genauigkeit herausgestellt hat. Durch die Implementierung dieses Messaufbaus in Kombination mit dem durch diese Forschungsarbeiten empfohlenen Parameter des Identifikationsalgorithmus können alle zerspannten Oberflächen markierungsfrei identifiziert werden. Dabei sind keine aufwendigen Versuchsreihen vor der Implementierung notwendig. Zusätzlich konnte aufgezeigt werden, dass auch bei Oberflächenänderungen (z.B. Verschleiß) eine Identifikation realisiert werden kann. Dabei darf sich das Initialprofil bis zu 50 % ändern. Zusätzlich wurden im Rahmen des Forschungsprojekts Versuchsreihen zu Implementierungen in realen Prozessketten durchgeführt. So konnte zusammen mit dem PA gezeigt werden, dass eine Identifikation vor und nach dem Beschichten mit der neuen Methode möglich ist. Dabei wurden Fotos der Bauteile verwendet, die in der Fertigung mit bestehender Kameratechnik aufgenommen worden sind. Anhand der geometrischen Eigenschaften der Bauteile konnten die Bilder zueinander ausgerichtet werden. Dadurch ist es gelungen eine Identifikationssicherheit in der Produktionsumgebung, wie unter Laborbedingungen zu erreichen.

---

Ein besonderer Dank gilt allen Mitgliedern im projektbegleitenden Ausschuss für die gute Zusammenarbeit und für die Unterstützung bei der Durchführung der Forschungsarbeiten.

Eine Langfassung der Forschungsarbeiten kann in Form eines Schlussberichts bei der Forschungsgemeinschaft Werkzeuge und Werkstoffe e.V., Papenberger Str. 49, 42859 Remscheid, [www.fgw.de](http://www.fgw.de), angefordert werden.

Weiter Informationen erhalten Sie bei Herrn M. Sc. Hendrik Voelker unter 0511 762 8078.

## Literatur:

- [BRE16] B. Breidenstein; B. Denkena; T. Mörke; R. Hockauf: Markierungsfreie Bauteil-Identifikation., wt Werkstatttechnik online, Jahrgang 106 (2016), Heft 6, S. 412 – 415; 2016
- [BRE17] B. Breidenstein; T. Mörke; R. Hockauf; J. Ostermann; B. Spitschan: Component identification by means of unique topography features, Cyber-Physical and Intelligent Systems in Manufacturing and Life Cycle., 1. Ausgabe, Elsevier Fachverlag, S. 12 – 28; 2017
- [COW08] R. Cowburn: Laser Surface Authentication - Biometrics for Brand Protection of Goods and Packaging. In: Kerry, J.; Butler, P. (Edit.): Smart Packaging Technologies for Fast Moving Consumer goods. Chichester: John Wiley & Sons; S. 281-303; 2008
- [DRA11] R. Dragon; T. Mörke; B. Rosenhahn; J. Ostermann: Fingerprints for Machines - Characterization and Optical Identification of Grinding Imprints. DAGM Conference 2011, 33rd Annual Symposium of the German Association for Pattern Recognition, Frankfurt am Main; S.276-285; 2011
- [VDM20] N. N.: VDMA-Studie Produktpiraterie 2020.VDMA-Arbeitsgemeinschaft Produkt- und Know-how-Schutz. Frankfurt am Main: VDMA-Verlag 2020