



# Automatisiertes Messverfahren

## Robotergestützte Oberflächenanalyse additiv gefertigter Bauteile

Bei der individuellen oder Kleinserienfertigung im additiven Verfahren sind manuelle Einzelstückprüfungen oft noch Stand der Technik. Für die berührungslose, optische 3D-Oberflächenanalyse wurde nun von Partnern eines Kooperationsprojekts ein automatisiertes Messverfahren entwickelt, das ohne anwenderbasierte Programmierung des Messsystems auskommt. Die dreidimensionalen Oberflächeninformationen sind für eine Klassifizierung nutzbar.

Gerd Witt, Tobias Grimm, Georg Wiora und Claudia Delto

**E**in zentrales Thema von Industrie 4.0 ist die Produktindividualisierung [2]. Konventionelle Fertigungsverfahren stoßen in dieser Hinsicht aufgrund der werkzeug- beziehungsweise formgebundenen Bauteilherstellung schnell an ihre wirtschaftlichen Grenzen. Im Gegensatz dazu bieten

die additiven Fertigungsverfahren, umgangssprachlich auch als 3D-Druck bezeichnet, durch ihr werkzeugloses Fertigungsprinzip ein hohes Realisierungspotenzial dieser sogenannten individuellen Massenproduktion [4]. Mit der steigenden Individualität in der Produktion von morgen steigen auch

die Anforderungen an die dazugehörigen Prozesse, wie beispielsweise die Qualitätssicherung. Im Bereich von Kleinserien und Individualbauteilen ist die aus der Massenproduktion bekannte Stichprobenprüfung zur Sicherung der Produktqualität ebenso wenig anwendbar wie zerstörende Prüfver-

fahren [1]. Aufwendige, manuelle Einzelstückprüfungen sind bei der individuellen oder Kleinserienfertigung daher vielfach noch Stand der Technik. Eine Automatisierung solcher Prozesse erfordert bislang noch viel Interaktion des menschlichen Benutzers, wodurch die Effizienz eines solchen Ansatzes stark beeinträchtigt ist [3].

Aus diesem Grund haben die Nanofocus AG, Oberhausen, und der Lehrstuhl für Fertigungstechnik der Universität Duisburg-Essen in einem über die AiF im Rahmen des Zentralen Innovationsprogramms Mittelstand (ZIM) geförderten Kooperationsprojekt einen Ansatz für eine praxistaugliche Automatisierung des Qualitätssicherungsprozesses für Kleinserien und Individualbauteile entwickelt.

### Messplanung auf Basis von CAD-Daten

Dazu wurde der Ansatz einer zerstörungsfreien, berührungslosen, optischen und dreidimensionalen Oberflächenanalyse gewählt. Denn die Beschaffenheit der Bauteiloberfläche spielt eine wesentliche Rolle im Hinblick auf deren spezifische Funktionserfüllung. Im Allgemeinen sind fehlerhafte Oberflächen als Ursache für eine Produktausfallrate von circa 10 Prozent auszumachen [7]. Zentraler Bestandteil des entwickelten Qualitätssicherungsverfahrens ist dabei ein robotertauglicher kompakter Konfokalmesskopf von Nanofocus.

Die Besonderheit des Verfahrens liegt in der Nutzung von 3D-CAD-Daten des Bauteils, um kritische Oberflächensegmente zu definieren und daraus eine vollautomatische Messplanung abzuleiten. Die Vorpositionierung des konfokalen Sensors wird von einem 6-Achs-Vertikal-Knickarmroboter durchgeführt, dessen Pfadplanung durch herstellerunabhängige Algorithmen erstellt wird.

Die Grundlage dafür bildet eine CAD-basierte Selektion der zu prüfenden Oberflächenbereiche. Hier hat der Anwender die Möglichkeit, einer Vorselektion zu folgen. Diese nutzt erfahrungsbasierte Regeln, die entsprechend dem eingesetzten Herstellungsverfahren Oberflächenbereiche auswählen, in denen Fertigungsabweichungen typischerweise auftreten.

Im konkreten Anwendungsfall der additiven Fertigung steht die Oberflächengüte unter anderem in hoher Abhängigkeit zur

Orientierung des Bauteils während des Herstellungsprozesses. Daher erfolgt eine verfahrensspezifische Analyse und Auswertung des Polarwinkels eines jeden Oberflächensegments. Neben dieser Vorselektion sind auch eigene Prüfmuster umsetzbar, sodass eine bauteilindividuelle Folge aus zu prüfenden Oberflächensegmenten generiert wird.

Zur kollisionsfreien Umsetzung der dafür notwendigen Roboterbewegungen werden für jedes zu prüfende Bauteil ein individuelles achsparalleles Sperrvolumen sowie eine sogenannte sichere Ebene – ebenfalls auf Algorithmen basierend – erzeugt. Jede Neuausrichtung des konfokalen Sensors auf eine neue Prüffläche erfolgt ausschließlich oberhalb dieser sicheren Ebene. Ein Eindringen in das Sperrvolumen zur Prüfpositionierung wird lediglich entlang des Normalenvektors des zu prüfenden Oberflächensegments umgesetzt.

Für diese sichere Messstrategie werden neben den Prüfpunkten auch Stützpunkte innerhalb der Pfadplanung algorithmisch implementiert. Durch diesen Ansatz, der durch eine Simulation der Roboterbewegungen im Vorfeld des realen Prüfprozesses zusätzlich visualisier- und validierbar ist, lässt sich ein automatisierter Oberflächenanalyseprozess für individuelle Bauteile kollisionsfrei umsetzen. Kernstück der

Oberflächenmessung ist ein optisch-konfokaler Kompaktmesskopf, der für die Verwendung am Roboterarm optimiert ist. Der Messkopf erfüllt notwendige Eigenschaften wie Schwingungsunempfindlichkeit und Einsatzmöglichkeiten in allen Raumlagen ohne Abstriche bei den Anforderungen an eine profiltreue Abbildungsqualität und Messpräzision. Das Ergebnis einer konfokalen Oberflächenmessung ist die dreidimensionale Oberflächenstruktur des Prüfkörpers (Bild 1).

Das optisch-konfokale Messverfahren von Nanofocus zeichnet sich durch die profiltreue Wiedergabe feinsten Oberflächenmerkmale sowie eine hohe Reproduzierbarkeit der Messwerte aus. Mit dem flächenhaften Messprinzip können Rauheit, Geometrie, Ebenheit, Traganteile und weitere Parameter präzise bestimmt werden. Die berührungslosen und damit zerstörungsfreien Messungen benötigen keine vorherige Probenvorbereitung. Dank kurzer Messzeiten stehen die Messdaten unmittelbar zur Auswertung zur Verfügung.

### Breites Anwendungspotenzial für die Methodik

Die mit der Methodik ermittelbaren dreidimensionalen Oberflächentexturen bilden die Basis für den Qualitätssicherungs- >>>

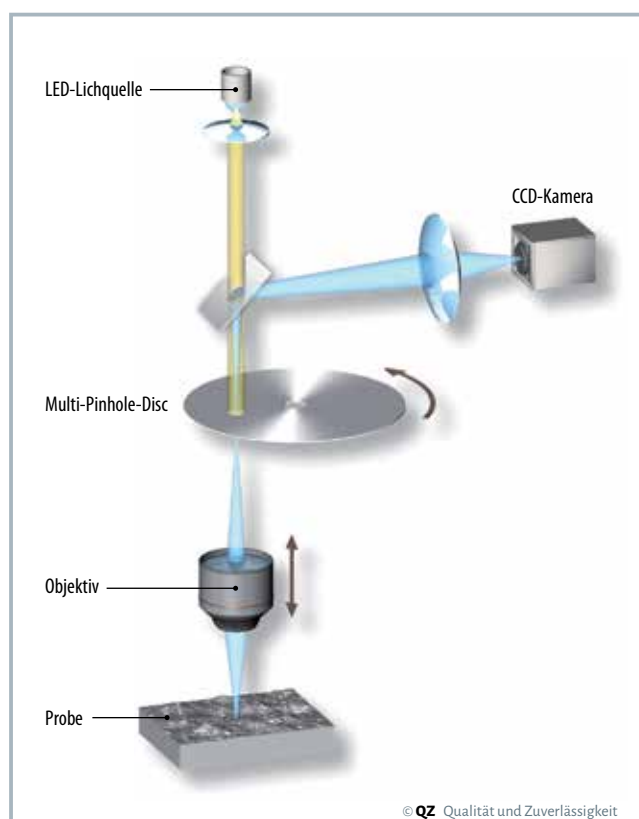


Bild 1. Prinzip der Konfokalmikroskopie  
(© Quelle: Nanofocus AG)

## INFORMATION &amp; SERVICE

## LITERATUR

- 1 VDI-Richtlinie 3405: Additive Fertigungsverfahren – Grundlagen, Begriffe, Verfahrensbeschreibungen, Beuth Verlag, Berlin 2014
- 2 Bauernhansl, T.; ten Hompel, M.; Vogel-Heuser, B.: Industrie 4.0 in Produktion, Automatisierung und Logistik. Anwendung, Technologien und Migration. Springer Fachmedien, Wiesbaden 2014
- 3 Berndt, D.; Trostmann, E.: In-Prozess-Prüfung von Montagebaugruppen. In: Michael Sackewitz (Hrsg.): Leitfaden zur optischen 3D-Messtechnik. Fraunhofer Verlag, Stuttgart 2014, S. 67–69
- 4 Gibson, I.; Rosen, D.; Stucker, B.: Additive manufacturing technologies. Rapid prototyping to direct digital manufacturing, Springer, New York 2010
- 5 Grimm, T.; Wiora, G.; Witt, G.: Quality Control Process for Additive Manufactured Parts. In: B. Müller (Hrsg.): Proceedings/DDMC 2016, Fraunhofer Direct Digital Manufacturing Conference, March 16–17, 2016, Berlin. Fraunhofer Verlag, Stuttgart 2016, S. 1–6
- 6 Grimm, T.; Witt, G.; Wiora, G.: Three-dimensional surface measurement for the quantification of mechanical properties of laser-sintered parts. In: MP 58 (2016) 4, Carl Hanser Verlag, München, S. 293–301. DOI: 10.3139/120.110851
- 7 Leach, R. (Hrsg.): Optical measurement of surface topography. Springer Verlag, Berlin 2011

## AUTOREN

**Prof. Dr.-Ing. habil. Gerd Witt**, geb. 1956, ist Inhaber des Lehrstuhls Fertigungstechnik an der Universität Duisburg-Essen, Fakultät für Ingenieurwissenschaften, Institut für Produkt Engineering.

**Dipl.-Ing. Tobias Grimm**, geb. 1983, ist wissenschaftlicher Mitarbeiter ebendort.

**Dr. Georg Wiora**, geb. 1967, ist zuständig für Strategische Entwicklung & Innovationsmanagement bei der Nanofocus AG, Oberhausen.

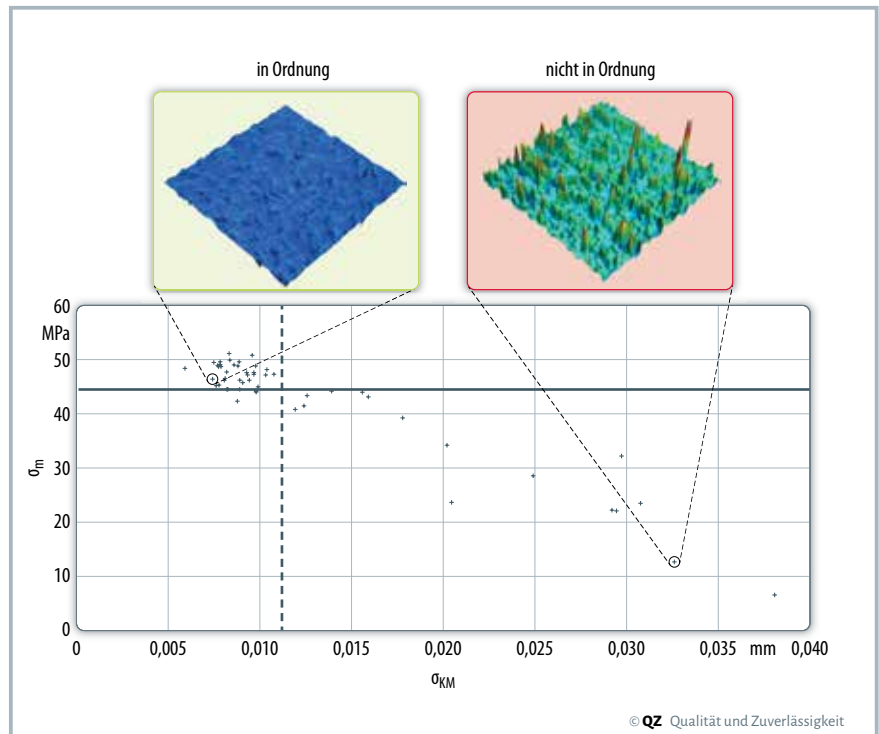
**Claudia Delto**, geb. 1980, arbeitet in der Unternehmenskommunikation ebendort.

## KONTAKT

Dr. Georg Wiora  
T 0208 6200063  
wiora@nanofocus.de

## QZ-ARCHIV

Diesen Beitrag finden Sie online:  
[www.qz-online.de/2240201](http://www.qz-online.de/2240201)



**Bild 2.** Klassifizierung akzeptabler und nicht akzeptabler Ausprägungen der mechanischen Eigenschaft  $\sigma_m$  (Grenzwert: horizontale Linie) durch den dreidimensionalen Oberflächenparameter  $\sigma_{KM}$  (Schwellwert: vertikale Linie) (© Quelle: Universität Duisburg-Essen)

prozess. Diesem liegt eine Analyse der Korrelation zwischen den mechanischen Bauteileigenschaften und den dreidimensionalen Oberflächenparametern zugrunde. Letztgenannte weisen gegenüber zweidimensionalen Kenngrößen einen wesentlich höheren Informationsgehalt sowie eine bessere statistische Absicherung auf. Diese ist insbesondere vor dem Hintergrund, dass pulverbettbasierte additiv hergestellte Oberflächen eine sehr zufällig ausgeprägte Textur aufweisen, von hoher Wichtigkeit – klassische zweidimensionale Analysen erfordern hier eine signifikant höhere Anzahl von einzelnen Messungen.

Der prinzipiell höhere Informationsgehalt dreidimensionaler Oberflächenmessdaten im Vergleich zu einem zweidimensionalen Profil geht gleichzeitig mit einem erhöhten Interpretationspotenzial einher. Bezogen auf die pulverbettbasierten additiven Fertigungsverfahren Laser-Sintern und Laser-Strahlschmelzen wurde im Forschungsprojekt innovatives Expertenwissen generiert [5, 6].

Exemplarisch zeigt Bild 2 die Klassifizierungsmöglichkeit der mechanischen Kenngröße Zugfestigkeit  $\sigma_m$  in Korrelation zur Standardabweichung des dreidimensionalen Oberflächenparameters der

Ko-Ebenheit der Mulden Motive  $\sigma_{KM}$ . Durch den eingezeichneten vertikalen Schwellwert ist eine Klassifizierung eben solcher Bauteile möglich, die eine horizontal eingezeichnete Mindestanforderung der Zugfestigkeit nicht erfüllen.

Der dreidimensionale Parameter der Ko-Ebenheit der Mulden Motive ist dabei ein Indikator für festigkeitsmindernde Vertiefungen auf der Oberfläche, die auf der beispielhaft invers dargestellten nicht akzeptablen Oberflächentextur als vertikale Ausprägungen deutlich zu erkennen sind. Im Vergleich dazu ist eine akzeptable Oberflächentextur durch einen sehr homogenen Charakter gekennzeichnet.

Grundsätzlich eignet sich das Messverfahren für alle additiv gefertigten Bauteile. Denkbar ist ein Einsatz bei aufwendigen und sicherheitsrelevanten Bauteilen, wie sie beispielsweise in der Luftfahrt- und Automobilindustrie zum Einsatz kommen. Doch das Anwendungspotenzial der entwickelten Methodik geht durch den gewählten Automatisierungsansatz weit über die additive Fertigung hinaus. So sind beispielsweise im Bereich der konventionellen Implantat-Technologie Oberflächenprüfungen von individuell angepassten Produkten von großer Bedeutung. ■