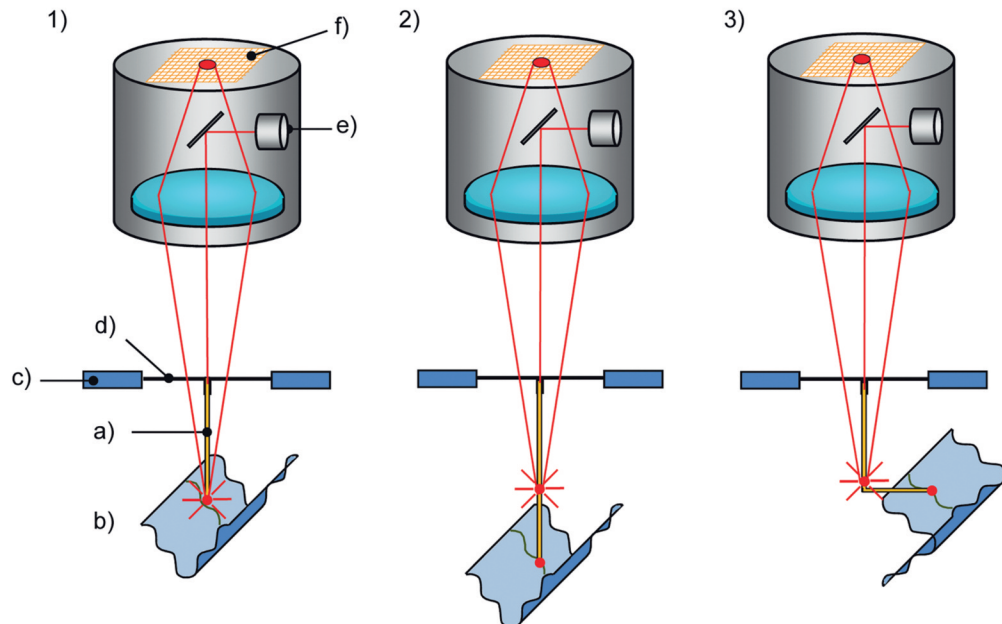


# Messen von Mikrogeometrien mit dem Fasertaster

Die voranschreitende Miniaturisierung in der Industrie führt zu immer höheren Ansprüchen an die Messtechnik. Neue **MIKROTASTER**-Konzepte wie der Fasertaster ermöglichen sogar bei kleinen, komplexen Merkmalen und leicht deformierbaren Werkstücken eine präzise Messung.

**Bild 1. 1) Schematischer Aufbau des 3D-Fasertasters mit**  
 a) Fasertasterelement,  
 b) Werkstück,  
 c) Wechseleinheit,  
 d) flexiblem Halteelement,  
 e) Abstandssensor (z),  
 f) Bildverarbeitungssensor (x,y) [1];  
 2) Zweikugeltaster;  
 3) L-Taster



## **BENJAMIN HOPP, ULRICH NEUSCHAEFER-RUBE UND JÖRG VOIGTSBERGER**

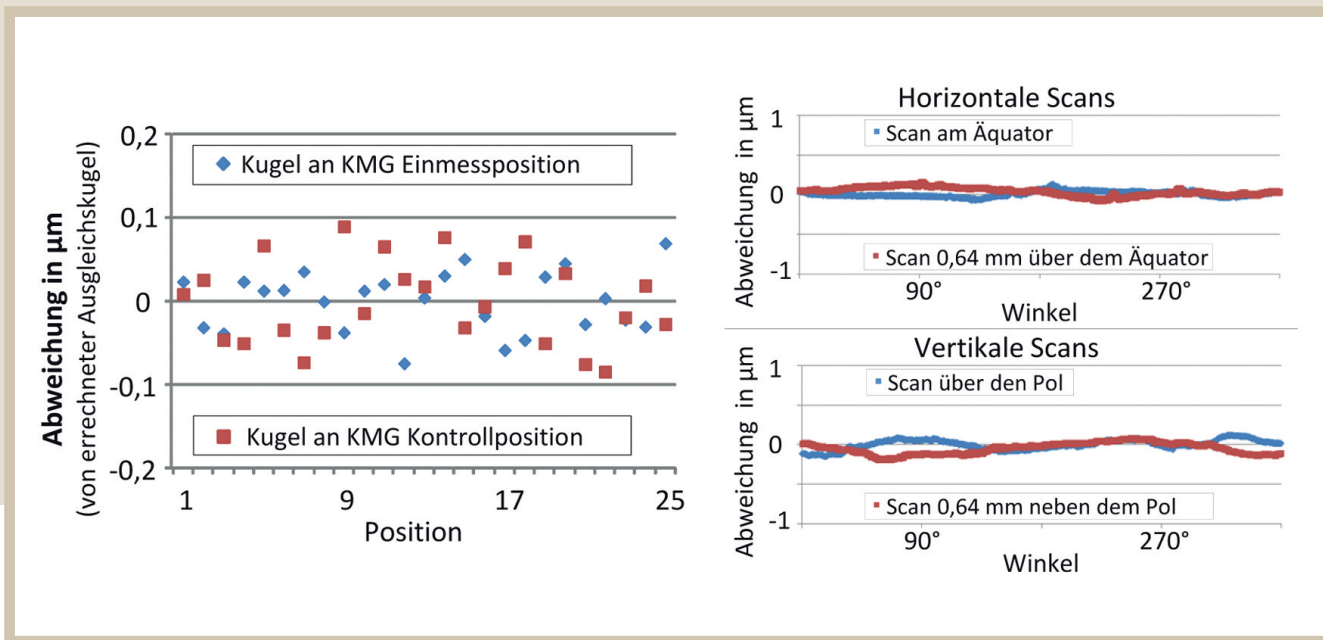
**H**erkömmliche, taktil-elektrische Taster benötigen einen starren Schaft zur mechanischen Signalübertragung, da ein elastischer Schaft zu stark verrauschten Signalen führen würde. Derartige Taster sind meist zu groß für die Messung kleiner, komplexer Merkmale. Durch die hohe Anstastkraft können leicht deformierbare Werkstücke beschädigt werden. Nach mehrjähriger erfolgreicher Zusammenarbeit zwischen der Physikalisch-Technischen Bundesanstalt (PTB) in Braunschweig und dem Unternehmen Werth Messtechnik aus Gießen wurde 1998 eine kommerzielle Lösung für dieses Problem, der 2D-Fasertaster (WFP – Werth Fiber Probe), vorgestellt. 2011 erweiterte Werth mit dem 3D-WFP das Mikrotaster-Prinzip auf die dritte Dimension. Mithilfe der taktil-optischen Signalübertragung umgehen diese Taster die Einschränkungen herkömmlicher Tastsysteme. Seit 2015 bietet Werth auch einen 3D-Zweikugeltaster und

den zum Patent angemeldeten abgewinkelten L-Taster an [2]. Der WFP wird seit Jahren erfolgreich für verschiedene Messaufgaben eingesetzt, zum Beispiel zur Messung von Handykamlinsen und Mikroverzahnungen, bei Bohrungen an Einspritzdüsen und Turbinenschaufeln sowie an kleinen Innengewinden.

### **> KONTAKT**

**HERSTELLER**  
**Werth Messtechnik GmbH**  
 35394 Gießen  
 Tel. +49 641 7938-0  
 Fax +49 641 7938-719  
[www.werth.de](http://www.werth.de)

**INSTITUT**  
**Physikalisch-Technische Bundesanstalt (PTB)**  
 38116 Braunschweig  
 Tel. +49 531 592-0  
[www.ptb.de](http://www.ptb.de)



### Taktil-optisches Funktionsprinzip

Der WFP ist ein taktil messender Sensor mit optischer Signalverarbeitung [1]. Es findet demnach keine mechanische Übertragung des Signals über den Schaft statt, sodass sehr geringe Antastkräfte (wenige  $\mu\text{N}$ ) und mit den dünnen Schäften auch sehr kleine Antastelemente (bis 20  $\mu\text{m}$ ) möglich sind [3]. Der aus einer Glasfaser bestehende Schaft dient nur zur Positionierung und optional zur Beleuchtung des Antastelements, jedoch nicht zur Signalübertragung. Die Auslenkung in lateraler Richtung wird durch eine in das Koordinatenmessgerät (KMG) integrierte telezentrische Optik bestimmt. Dabei wird die Position des Antastelements mithilfe des Bildverarbeitungssensors (BV) erfasst (Bild 1f). Beim 3D-WFP ist das Messprinzip des 2D-WFP um einen in axialer Richtung messenden Laserabstandssensor (Werth Laser Probe – WLP, Bild 1e) erweitert [4]. Der sowohl im Einzelpunkt- als auch im Scanning-Betrieb einsetzbare Sensor ist an einer Wechseinheit angebracht (Bild 1c), sodass kombinierte Messungen mit anderen Sensoren möglich sind.

### Genauigkeitsanforderungen werden erfüllt

Für die Messung kleiner Merkmale oder von Mikroteilen muss ein Taster, neben seiner geringen Größe und Antastkraft, auch eine hohe Genauigkeit erzielen. Für den Vergleich verschiedener Sensoren ist in DIN EN ISO 10360-5 eine Vorschrift zur Bestimmung der Antastabweichung definiert. Auf einem hochgenauen KMG (Werth VideoCheck UA) wurden ISO-konforme Messungen an einem kalibrierten Kugelnormal durchgeführt. Für die Antastabweichung im Einzelpunktbetrieb wurden 25 Punkte gemessen und jeweils Abweichungen für Durchmesser ( $P_S$ ) und Form ( $P_F$ ) der Kugel ermittelt. Bei zweifacher Wiederholung an

unterschiedlichen Positionen auf dem KMG ergaben sich Werte von  $P_S < 100 \text{ nm}$  und  $P_F < 200 \text{ nm}$  (Bild 2 links). Für den Scanning-Betrieb ohne vordefinierte Bahn (in Anlehnung an das Verfahren in DIN EN ISO 10360-4) wurden mehrere Bahnen an unterschiedlichen Stellen der Kugel aufgenommen. Es ergab sich eine Abweichung von THN (zukünftig  $P_{\text{Form,Sph,HiD:NDP}}$  mit HiD = high density, NDP = non-predefined path)  $< 400 \text{ nm}$  zur kalibrierten Prüfkugel (Bild 2 rechts). Der 3D-WFP erreicht somit sehr geringe Antastabweichungen und ist daher zur Messung von Mikrogeometrien ideal geeignet.

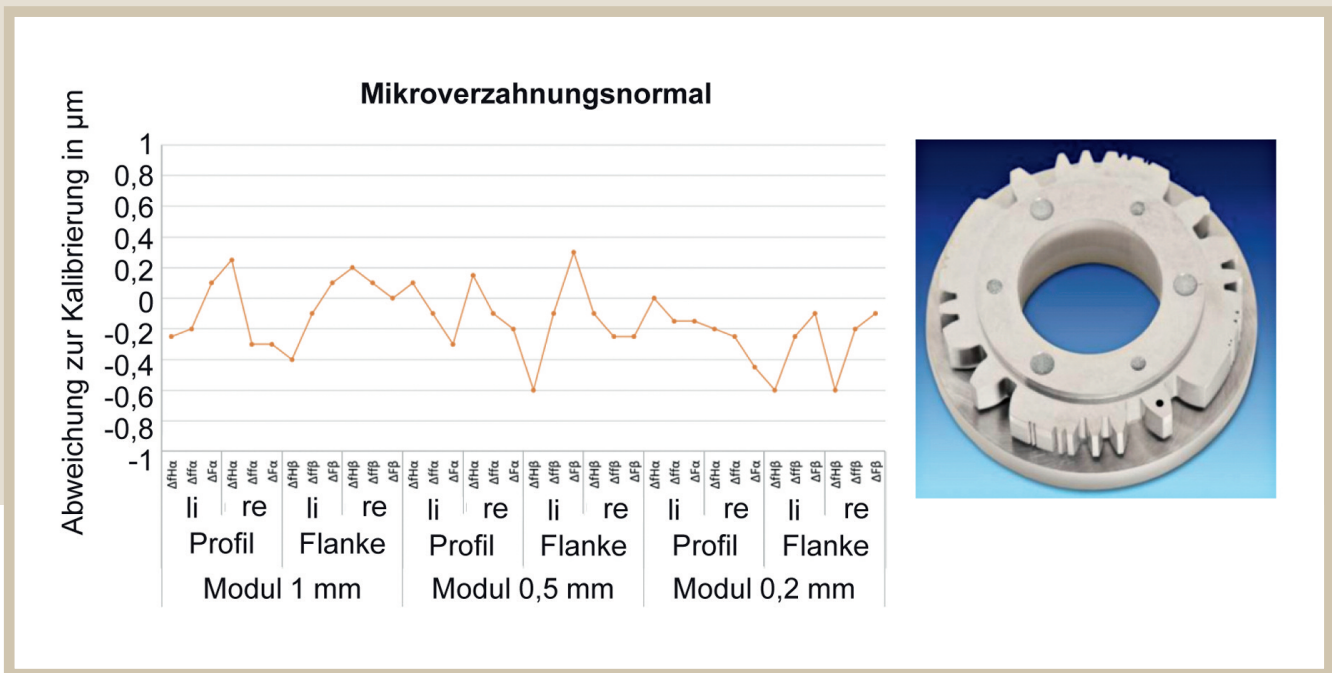
### Zweikugeltaster für vertieft liegende Merkmale

Bei Messungen vertieft liegender Merkmale, zum Beispiel in engen Bohrungen, kann es zur Abschattung des Antastelements durch das Werkstück kommen, die sich negativ auf die Messgenauigkeit auswirkt. Für diese Anwendungen wurde der Zweikugeltaster (Bilder 1 und 2) entwickelt, der über eine zusätzliche Kugel oberhalb des Antastelements verfügt. Die Auslenkung dieser Marke wird gemessen, während die untere Kugel das Werkstück antastet. Die exakte Position des Antastelements wird durch eine Übertragungsfunktion berechnet, die die Software beim Einmessen des Tasters automatisch bestimmt. Der laterale Abstand der Kugeln sowie deren Größe können individuell an die Messaufgabe angepasst werden.

### Messung kleiner Verzahnungen und Bohrungen

Eine große Herausforderung für herkömmliche Taster stellen die mit dem Voranschreiten der Miniaturisierung immer kleiner werdenden Mikroverzahnungen dar. Um die Vergleichbarkeit verschiedener Sensoren bei der Verzahnungsmessung zu

Bild 2. Messung der Antastabweichung Form eines Fasertasters mit 250- $\mu\text{m}$ -Tastelement. Links: zwei Einzelpunktmessungen an einer 10-mm-Prüfkugel (Punktmuster nach DIN EN ISO 10360-5). Rechts: vier Scanning-Messungen an einer 2-mm-Rubin-Prüfkugel [2]



**Bild 3. Messung eines kalibrierten Mikroverzahnungsnormal's der PTB [6] mit Modulen von 1 mm bis zu 0,1 mm, Abweichungen zum Kalibrierwert**

ermöglichen, wurde an der PTB ein Mikroverzahnungsnormal entwickelt [5]. Es besteht aus Verzahnungen vom Modul 1 mm bis zu 0,1 mm in jeweils vierfacher Ausführung (**Bild 3 rechts**). Der Modul 0,1 mm konnte nicht kalibriert werden, da die Zahnücken zu schmal waren. Mit dem WFP als Zweikugeltaster und dem in die Mess-Software WinWerth integrierten Software-Tool ›GearMeasure‹ lassen sich jedoch Flanken und Profile aller Module automatisch messen. Für die kalibrierten Module wurden bei allen Zähnen Abweichungen von deutlich unter 1  $\mu\text{m}$  zum Kalibrierwert festgestellt (in Winkel-, Form- und Gesamtabweichung von Flanke/Profil, **Bild 3 links**). Auch der Modul 0,1 mm konnte mit dem WFP gemessen werden.

**Bild 4. Das abgewinkelte Antastelement des L-Tasters ermöglicht Messungen an Hinterschnitten**

Eine weitere Anwendung, bei der es auf höchste Präzision ankommt, ist die Messung kleiner Bohrungen, wie sie in Benzin- und Diesel-Einspritzdüsen vorkommen. Bei Einspritzlöchern, die üblicherweise einen Durchmesser von circa 0,1 mm aufweisen, sind Position, Größe, Ausrichtung und Form der Boh-

rung entscheidend für das Einspritzverhalten. Über ein parametrisiertes Programm werden die Düsen zuerst optisch ausgerichtet und anschließend automatisch mit dem WFP gemessen. Eine vergleichbare Vorgehensweise wird auch bei der Messung der Kühlbohrungen von Turbinenschaufeln angewendet.

### Messungen an Hinterschnitten und Innengewinden

Bei Werkstücken mit Mikromerkmalen an Hinterschnitten waren bisher oft mehrere Messungen in verschiedenen Aufspannungen oder Dreh-Schwenk-Stellungen notwendig. Seit 2015 bietet Werth den WFP als L-Taster an. Diese Version des Fasertasters hat ebenfalls zwei Kugeln am Schaft, der jedoch direkt unter der oberen Kugel abgewinkelt ist (**Bild 4**). Wie beim geraden Zweikugeltaster wird auch hier die Position der Marke gemessen und die des Antastelements über die beim Einmessen bestimmte Übertragungsfunktion berechnet. Auch hier können Winkel, Länge des abgewinkelten Schaftstücks und

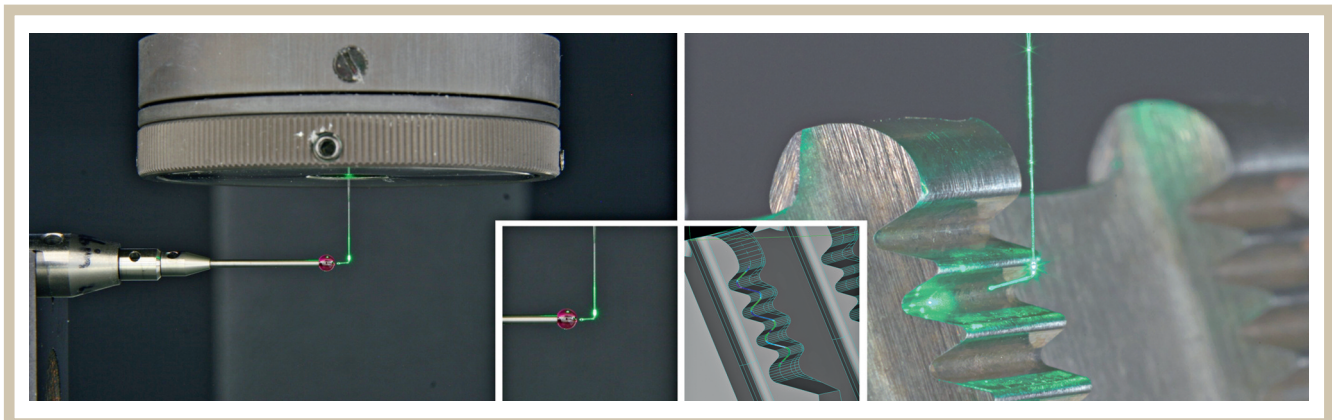
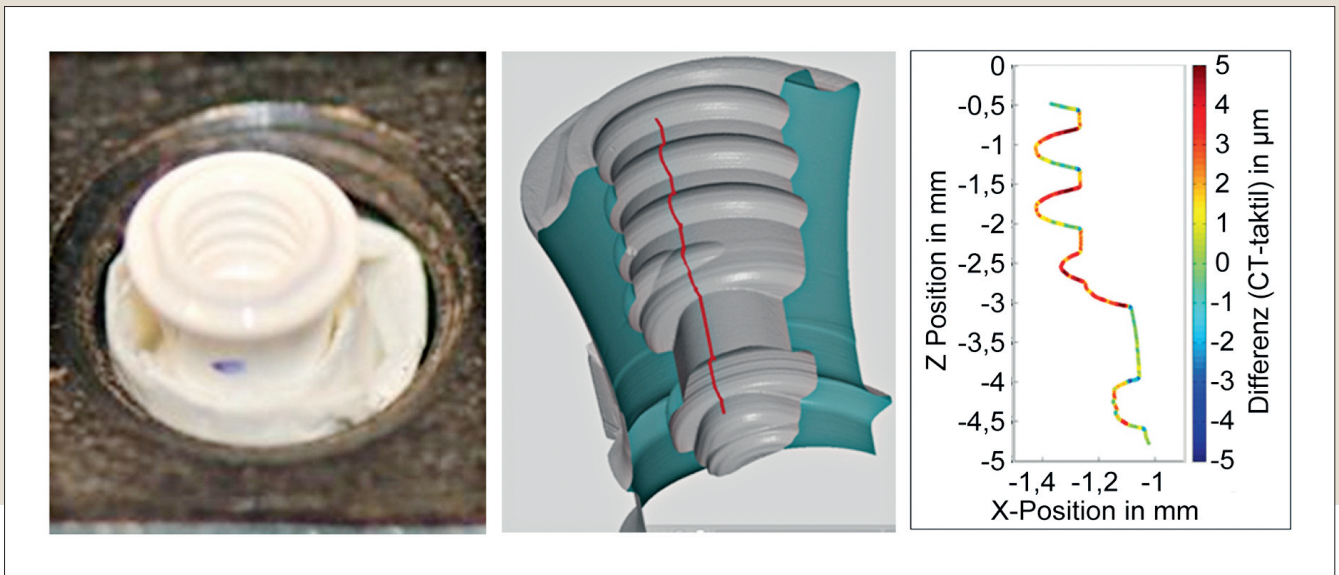


Bild: Werth



**Bild 5. Lückenloses Erfassen der Werkstückoberfläche durch Scanning am Innengewinde eines Zahnimplantats und Vergleich mit einer CT-Messung**

Größe der Antastkugel an die Messaufgabe angepasst werden. Der L-Taster nutzt die gleiche Wechseleinheit wie Ein- und Zweikugeltaster und lässt sich daher problemlos in eine Multisensor-Messung einbinden.

Mithilfe des L-Tasters kann die komplette Kontur einer Verzahnung aufgenommen werden (**Bild 4 rechts**). Nach der Messung wird häufig ein Soll-Ist-Vergleich zwischen aufgenommener Kontur und CAD-Modell durchgeführt (**Bild 4, rechtes Inset**). Auf diese Weise lassen sich Abweichungen farb-codiert darstellen und für eine Werkzeugkorrektur nutzen.

Auch bislang kaum zugängliche Merkmale, beispielsweise Innengewinde von Zahnimplantaten (**Bild 5 links**), sind mit dem L-Taster messbar. Dieses aus Kunststoff bestehende Implantat zeichnet sich durch einen Innendurchmesser von circa 2 mm, jedoch 5 mm Tiefe aus. Bislang war die zerstörungsfreie Messung eines solchen Werkstücks nur mit einem KMG mit Computertomografie (CT) möglich. Jetzt wurde eine etwa 4,5 mm lange Kontur des Implantat-Innengewindes mit dem hochgenauen WFP L-Taster gemessen (**Bild 5 Mitte**). Die Ergebnisse können als Referenzwerte genutzt werden, mit deren Hilfe die CT-Serienmessung eine Sub-µm-Genauigkeit erreicht.

Die verschiedenen Ausführungen des WFP ermöglichen es, nahezu jedes Merkmal mit extrem geringen Messabweichungen zu bestimmen. Gerade dort, wo herkömmliche Taster an ihre Grenzen stoßen, kann der Fasertaster seine Stärken voll auspielen. Verschiedene Taststiftgeometrien und aufgabenspezifische Konfigurationen erschließen neue Einsatzbereiche. ■ MI110423

#### Danksagung

Wir danken für die Förderung des Projekts ›Rückführbare taktil-optische 3D-Messung mit sehr kleinem Antastelement‹ im Rahmen des Förderprogramms ›MNPQ-Transfer‹ des BMWI, durch das Teile der Arbeiten finanziert wurden

#### AUTOREN

BENJAMIN HOPP ist in der Vorentwicklung bei Werth Messtechnik in Gießen tätig  
 ULRICH NEUSCHAEFER-RUBE ist Leiter der Arbeitsgruppe Multisensor-Koordinatenmesstechnik an der Physikalisch-Technischen Bundesanstalt (PTB) in Braunschweig  
 JÖRG VOIGTSBERGER ist Assistent der Entwicklungsleitung bei Werth Messtechnik in Gießen; mail@werth.de

#### LITERATUR

- 1 R. Christoph, H.-J. Neumann: Multisensor-Koordinatenmesstechnik. Verlag Moderne Industrie, München 2013
- 2 U. Neuschaefer-Rube, H. Bremer, B. Hopp, R. Christoph: Recent Developments of the 3D-Fiber probe, Proc. 11th Laser Metrology for Precision Measurements and Inspection in Industry, Tsukuba, Japan, 2014
- 3 A. Weckenmann, T. Estler, G. Peggs, G., und D. McMurtry: Probing Systems in Dimensional Metrology, STC P, CIRP Annals, 51(2), S. 657 (2004)
- 4 R. Christoph, M. Andräs, I. Schmidt, M. Hechler, B. Hopp: Verfahren und Anordnung zur taktil-optischen Bestimmung der Geometrie eines Messobjekts. Patent WO 2011/064339
- 5 V. Dunovska, M. Krause, K. Kniel: Messung von Mikroverzahnung – Entwicklung von Verfahren zur Eignungsprüfung von Messgeräten für die Mikroverzahnungsmessung. Forschungsvereinigung Antriebstechnik e.V., Abschlussbericht Nr. 567 II, Heft 1144, 2015