

# Multisensor

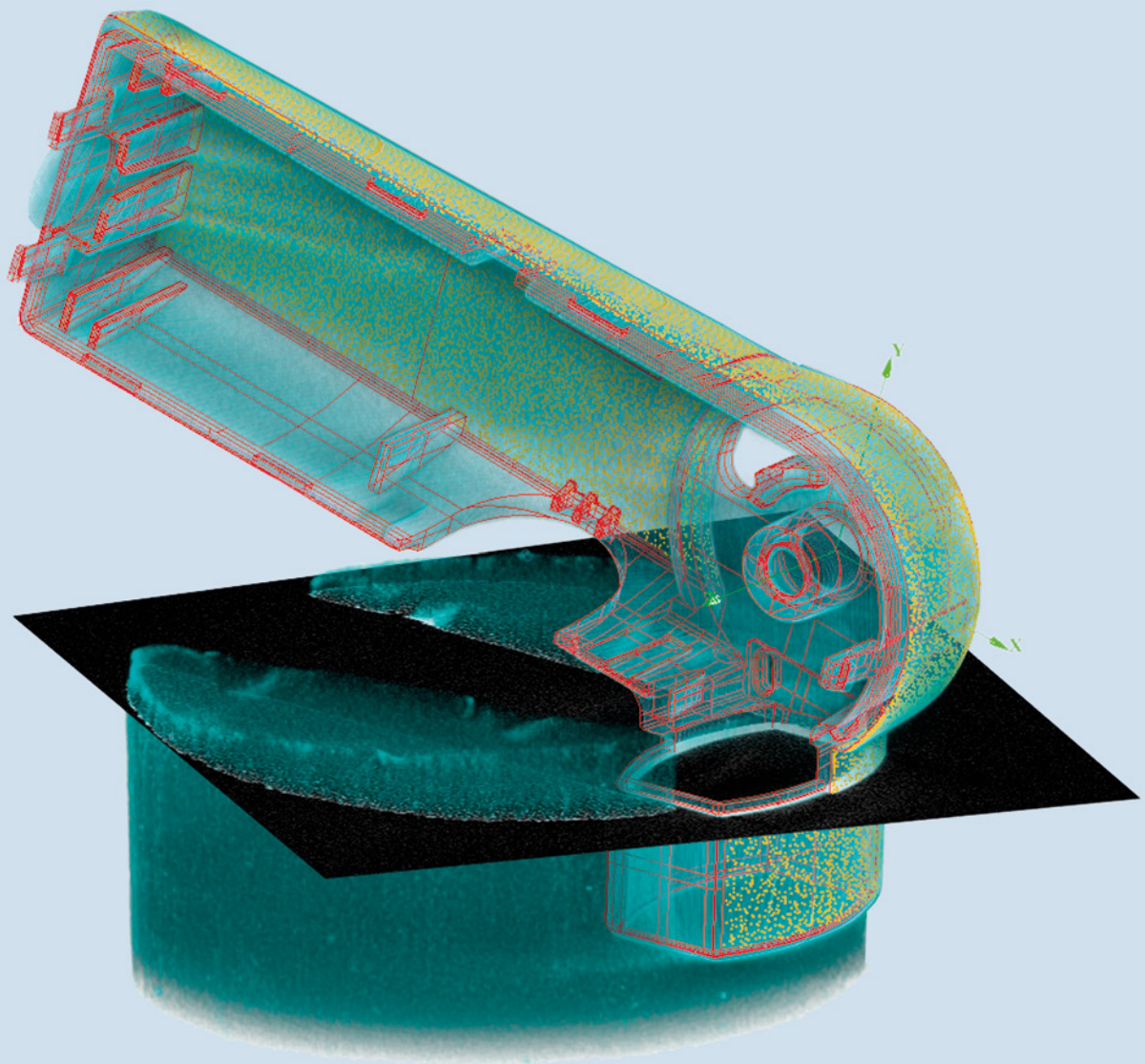
Ausgabe 2018

Durch Innovation immer einen Schritt voraus

ScopeCheck® FB DZ

WinWerth® 8.42

Werth Interferometer Probe



**Titelbild**

WinWerth® 3D Grafik mit Volume Rendering:  
CAD-Modell (rote Linien), Voxelvolumen  
(grün) und Messpunktewolke (gelb)



*Die neue Version des ScopeCheck® FB DZ erlaubt  
Multisensor-Messungen ohne Einschränkungen*

## Durch Innovation immer einen Schritt voraus

Wie in jedem Jahr freuen wir uns, Ihnen die neue Ausgabe des „Multisensor“ zu präsentieren. Mit Informationen zu Produktneuheiten, einem interessanten Anwenderbericht, Nachrichten zur Unternehmensgruppe und unseren Handelspartnern im Ausland sowie einem Beitrag zur Entwicklung der Multisensorik in den letzten 25 Jahren wollen wir Ihnen Anregungen für die Lösung Ihrer täglichen Aufgaben bieten.

Innovation bedeutet nicht nur eine ständige Erweiterung und Aktualisierung der Produktpalette, sondern auch frühzeitiges Erkennen neuer Entwicklungsrichtungen. Zum Erfolg der letzten 25 Jahre haben unter anderem die starke Orientierung an den Wünschen unserer Kunden und die Kooperation mit kompetenten Partnern verschiedener Forschungseinrichtungen beigetragen. An dieser Stelle möchten wir uns für das entgegengebrachte Vertrauen und die oft langjährige gute Zusammenarbeit bedanken.

Wirtschaftliche Messtechnik hilft unseren Kunden, wettbewerbsfähig zu bleiben. Die Multisensorik löst durch optimale Anpassung an die jeweilige Anwendung nahezu alle dimensionellen Messaufgaben im Unternehmen. Der modulare Aufbau unserer Koordinatenmessgeräte sorgt für einen technischen Vorteil und für Sicherheit auch bei steigenden Anforderungen in der Zukunft. Die Röntgentomografie beschleunigt mit effizienter Erstbemusterung und Werkzeugkorrektur den gesamten Produktentwicklungsprozess. Bei leicht zu durchstrahlenden Materialien wie Kunststoff wird dieses Messverfahren schon bald eine zwingende Voraussetzung für die Wettbewerbsfähigkeit der Hersteller sein. Mit dem TomoScope® XS bieten wir hierfür das optimale Messgerät.

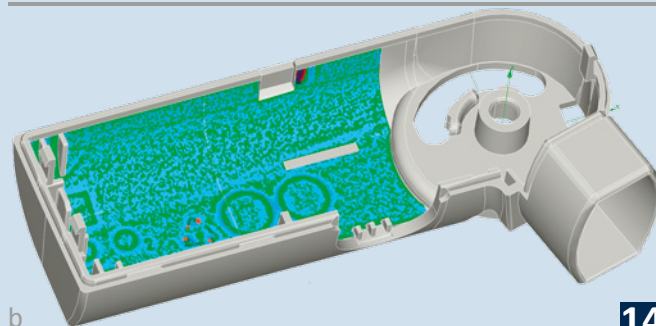
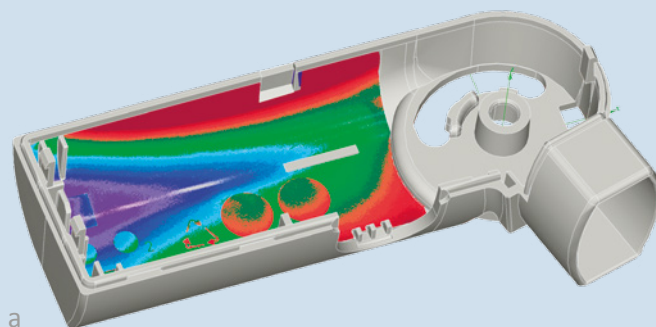
Neu stellen wir in diesem Jahr eine kompaktere Version der Gerätereihe ScopeCheck® FB DZ mit größeren Messbereichen und zwei unabhängigen Sensorachsen vor. Die Geräte ermöglichen noch flexibleres Messen in der Fertigungsumgebung. Der optische Abstandssensor Werth Interferometer Probe WIP ist besonders für berührungslose Messungen schwer zugänglicher und empfindlicher Geometrien geeignet. Mit dem WIP/RS können zum Beispiel auch Rundheitsmessungen an Bohrungen oder Wellen mit geringsten Messabweichungen von etwa 100 Nanometern durchgeführt werden.

Die neue Version 8.42 unserer Messsoftware WinWerth® enthält unter anderem das Verfahren FormCorrect, das auf Basis der CT-Messdaten direkt mit der Messsoftware ein modifiziertes CAD-Modell zur Korrektur von Geometrieabweichungen erzeugt. Damit entfällt die aufwendige Flächenrückführung und die Anzahl der Korrekturschleifen im Entwicklungsprozess von Kunststoffspritzguss-Werkzeugen oder in der additiven Fertigung wird minimiert. Die Erstellung des Messablaufplans ist jetzt auf der Grundlage von PMI-Daten möglich – die vom Konstrukteur definierten Maße inklusive Sollwerte und Toleranzen können direkt aus dem CAD-Modell übernommen werden.

Lassen Sie sich begeistern von den vielfältigen Anwendungsmöglichkeiten unserer 3D-Koordinatenmessgeräte!



Dr.-Ing. habil. Ralf Christoph  
Inhaber und Geschäftsführer der  
Werth Messtechnik GmbH Gießen



**14**

Mit WinWerth® FormCorrect werden die Abweichungen des Kunststoffspritzguss-Werkstücks (a) aufgrund der hohen Präzision häufig schon in einer Schleife korrigiert (b)

Mit zunehmender Vielfalt und Komplexität der Werkstücke sind die Messaufgaben mit einem Sensor allein häufig nicht mehr zu lösen

## Inhalt

Durch Innovation immer einen Schritt voraus	3	25 Jahre rasante Entwicklung der Koordinatenmesstechnik (Fachbeitrag)	18
Inhalt	4		19
WinWerth® 8.42 – viele neue Funktionen	5		20
Einfaches Messen mit PMI-Unterstützung	5	Erweiterte Maßdarstellung in der WinWerth® 3D-Grafik	22
Wenn der Standard versagt – kleinste Merkmale in höchster Präzision optisch messen	6	Neue Messstrategie für CT-Daten – Volumen-Patchselektion	21
	7		
Zum Wohl des Patienten (Anwenderbericht)	8	WinWerth® 3D-Grafik mit Volume Rendering	23
	9		
	10	ScopeCheck® FB DZ – Multisensorik jetzt noch flexibler einsetzbar	24
	11		25
Neues Werkstückwechselsystem für TomoScope®	12	Taktile Messstrategien an Punktwolken	26
Reduzierung von Kegelstrahl- und Streustrahl-Artefakten	12	Hohe Genauigkeit für schnelles Messen während der Bewegung	26
Ausrichten und Einlernen per Mausclick	13	Förderung von Wissenschaft und Technik	27
WinWerth® Profilprojektor-Funktion	13	Werth Messtechnik Österreich	27
		Neuer Partner in der Türkei	
WinWerth® FormCorrect – ein neues 3D-Korrekturverfahren für Werkstücke	14	Innovationspreis für TomoScope® XS	
	15		
25 Jahre rasante Entwicklung der Koordinatenmesstechnik (Fachbeitrag)	16	Impressum	28
	17		

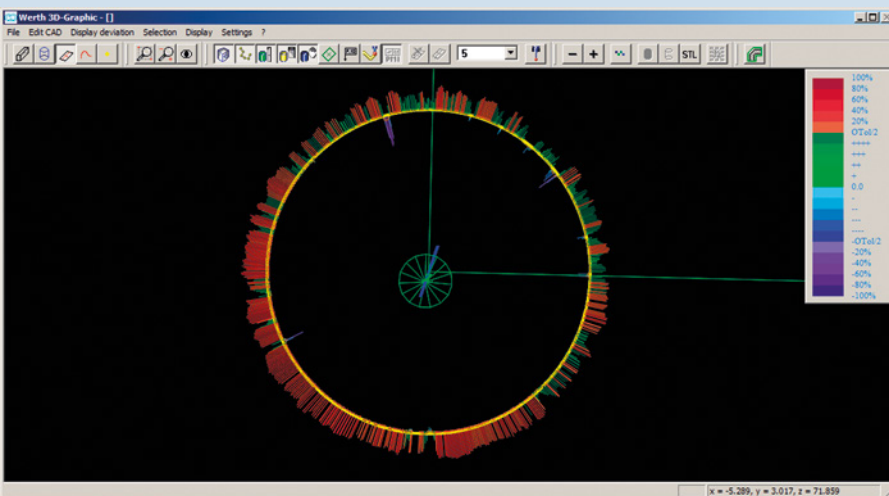
## WinWerth® 8.42 – viele neue Funktionen

Die Messsoftware WinWerth® 8.42 bietet viele neue Funktionen für Multisensorik und Röntgentomografie. Für Koordinatenmessgeräte mit Multisensorik wurden neben dem einfachen Messen mit PMI-Unterstützung (siehe unten) beispielsweise die Funktionen 2D-CAD-Online® und 2D-CAD-Offline® in die 3D-Grafik integriert, der Funktionsumfang hängt vom 2D- oder 3D-CAD-Modell ab (siehe S. 13).

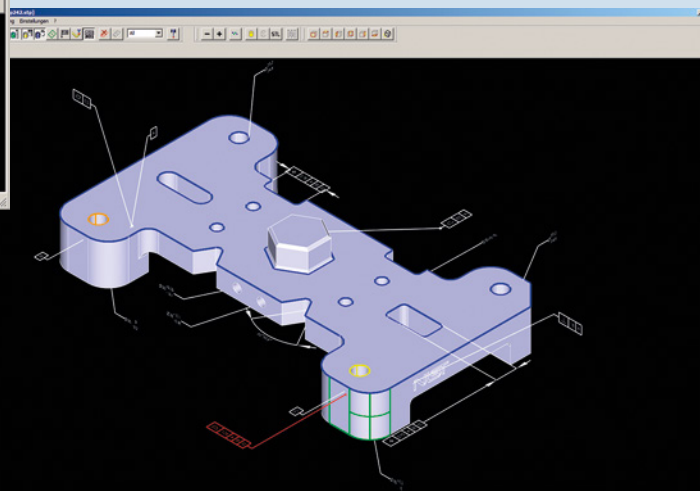
Im Bereich der Röntgentomografie ermöglicht das neue Verfahren FormCorrect eine Beschleunigung des Produktentwicklungsprozesses (siehe S. 14–15). Die Volumen-Patchselektion beispielsweise erlaubt das

Messen von Mehr-Material-Werkstücken mit hoher lateraler Auflösung bis zum äußersten Rand des Werkstücks (siehe S. 22). Im 3D-Modul kann zusätzlich zu CAD-Modell und Messpunktewolke jetzt auch das Voxelvolumen im selben Koordinatensystem dargestellt werden (siehe S. 23).

Viele Details wie eine erweiterte Maßdarstellung in der 3D-Grafik (siehe S. 22), die automatische Erkennung des Geometrieelements beim Anklicken des CAD-Modells und farbcodierte Abweichungsdarstellungen mit einstellbarer Stachelbreite zur besseren Übersicht erhöhen den Bedienkomfort.



Farbcodierte Darstellung der Rundlaufabweichungen



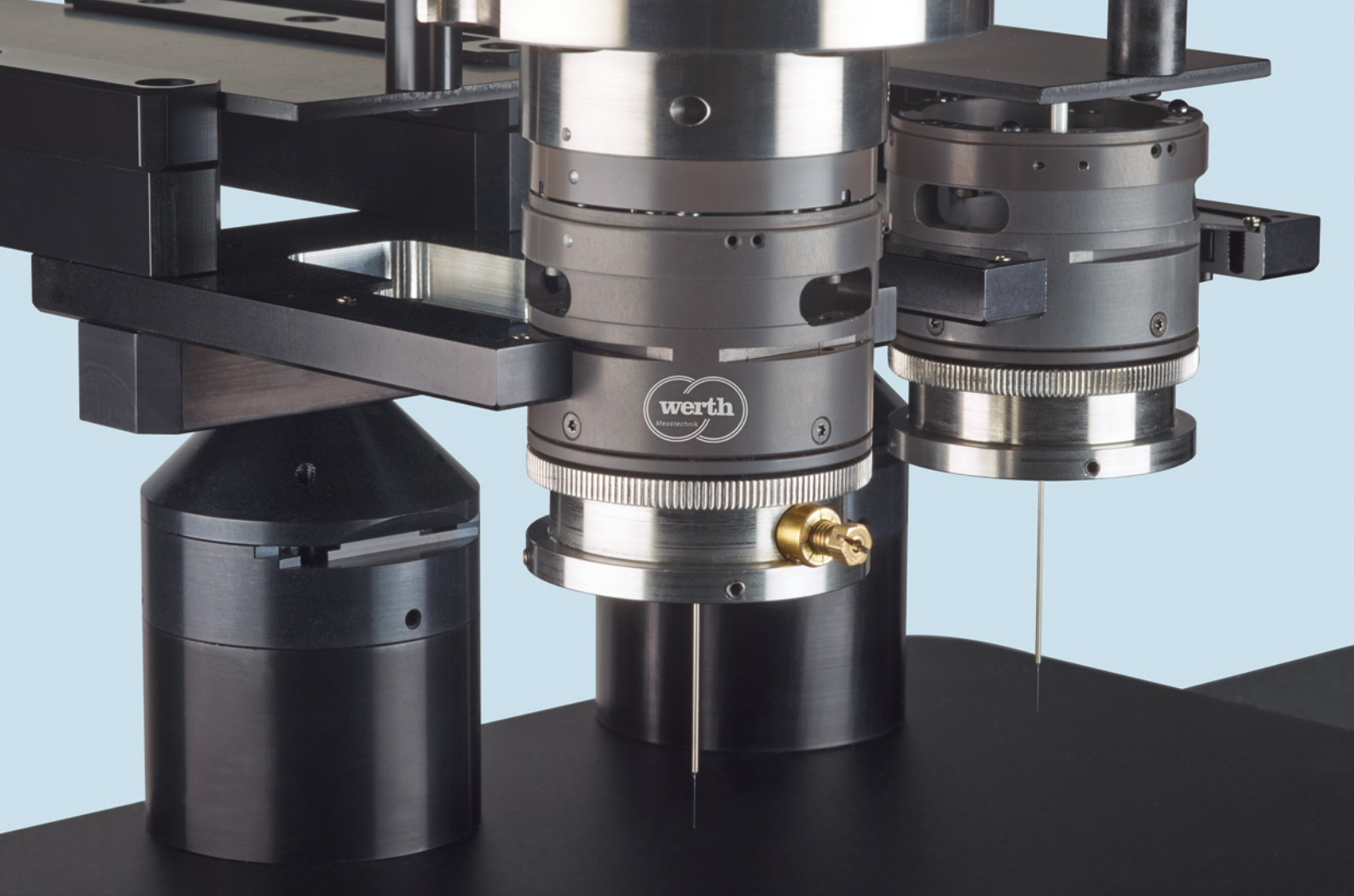
Bei Anklicken der geometrischen Eigenschaft werden die zur Messung notwendigen Elemente zum Beispiel durch blaue Umrandung farblich hervorgehoben

## Einfaches Messen mit PMI-Unterstützung

Viele CAD-Systeme bieten mittlerweile die Möglichkeit, PMI-Daten (Product and Manufacturing Information) zu integrieren. Die hieraus resultierenden CAD-Datensätze enthalten dann zusätzlich zur Geometriebeschreibung der CAD-Elemente auch die vom Konstrukteur festgelegten Bemaßungen inklusive Toleranzen und Bezugselementen. Diese Informationen bilden nun das perfekte Grundgerüst zur Erstellung des Messablaufplans mit der Messsoftware WinWerth®. Bei Anklicken der gewünschten geometrischen Eigenschaft werden alle damit verbundenen, zur Lösungsfindung zu verknüpfenden Geometrieelemente farblich markiert. Zur Messung mit automatischer Scanbahn- und Punktverteilung kann der Anwender die Geometrieelemente der Reihe nach anklicken, gegebenenfalls die Antast-

strategie modifizieren und im CAD-Online®-Modus auch sofort messen. Nach der Messung besteht die Möglichkeit, Sollwerte und Toleranzen per Knopfdruck aus den PMI-Daten in das Messprotokoll zu übernehmen und ebenfalls manuell zu modifizieren.

Durch Überlagerung von CAD-Modell, PMI-Farbmarkierung und Darstellung der bereits gemessenen Elemente sind die weiteren Arbeitsschritte leicht zu erkennen. Mit PMI lassen sich die tolerierten Elemente auf einen Blick identifizieren, und auch das Suchen von Bezugselementen in der Zeichnung entfällt. Damit wird die Interpretation der Aufgabenstellung vereinfacht und Übertragungsfehler minimiert.



*Werth Interferometer Probe WIP – die Messsonde ist eine lange lichtleitende Glasfaser mit einem Standard-Durchmesser von 125 µm*

## **Wenn der Standard versagt – kleinste Merkmale in höchster Präzision optisch messen**

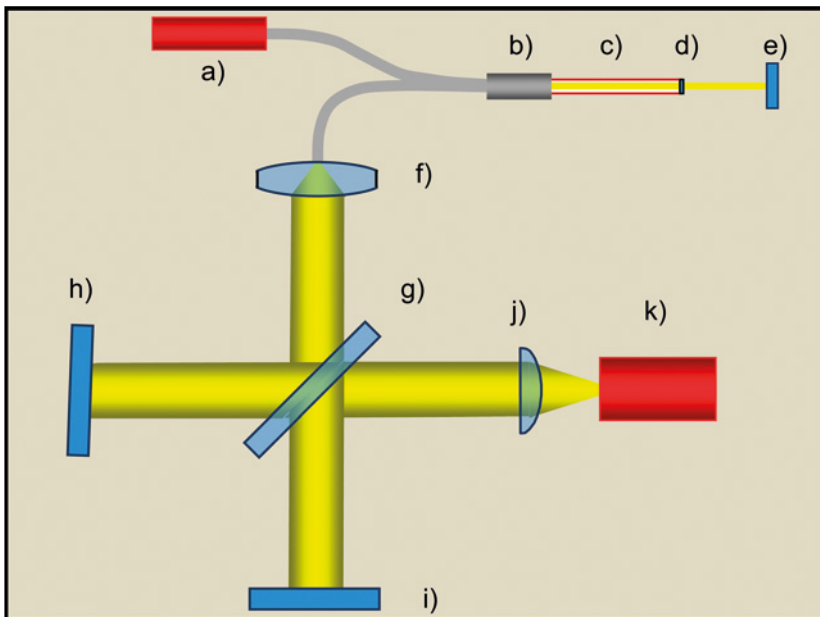
Mit herkömmlichen optischen Sensoren sind schmale und tiefliegende Merkmale, wie zum Beispiel Luftspalte an Elektromotoren oder Rundheiten von feinen Düsenbohrungen, oft nicht messbar. Laserabstandssensoren, chromatische Fokussensoren und konfokale Sensoren beispielsweise scheitern an der Apertur der Objektive, und oftmals ist auch der Arbeitsabstand zu gering. Mit dem Werth Interferometer Probe WIP/RS steht nun ein hochgenauer optischer Fasersensor zur Verfügung, der das Messen über Interferenz ermöglicht.

### **Funktionsprinzip**

Der WIP nutzt den physikalischen Effekt der Interferenz zur Bestimmung des Abstands zwischen der Austrittsfläche der Messsonde und der Werkstückoberfläche. Der Referenzstrahl wird an der Austrittsfläche reflektiert, der Messstrahl entsteht durch Reflexion an der Werkstückoberfläche und wird mit dem Referenzstrahl überlagert. Das Licht wird mit einer Superlumineszenzdiode (SLD) erzeugt. Dies ermöglicht zum einen eine

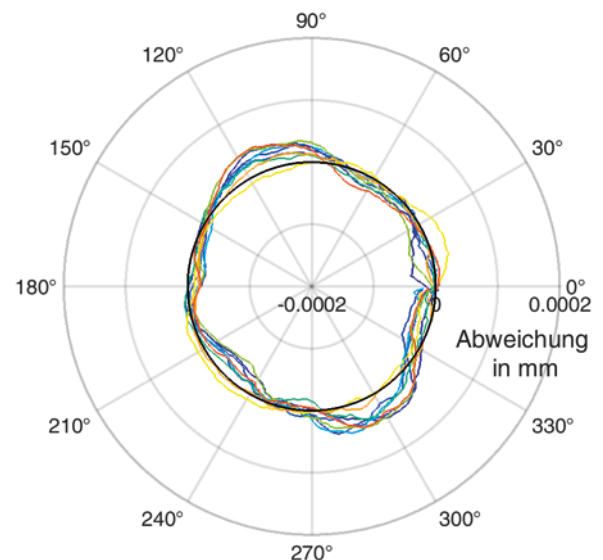
hochgenaue interferometrische Messung der Position der Werkstückoberfläche. Zum anderen entsteht durch die verschiedenen Wellenlängen der SLD ein Schwebungssignal. Da dieses über eine deutlich höhere Wellenlänge als das Licht verfügt, wird der Messbereich des Sensors auf technisch sinnvolle Werte erhöht.

Das Auswertinterferometer teilt den Lichtstrahl mit dem Schwebungssignal in zwei Strahlengänge mit unterschiedlichen Weglängen auf. Damit gleicht man die Weglängendifferenz der beiden Lichtstrahlen aus, sodass sie interferieren können. Durch Kippen eines der beiden Spiegel wird die axiale Lageinformation der Strahlen (abhängig von der Lage der Werkstückoberfläche) in eine lateral auswertbare Information umgewandelt. Abhängig davon, an welcher Position des Spiegels der Strahl reflektiert wird, entstehen lateral unterschiedliche Intensitäten und somit Interferenzmuster. Mit einer Kamera werden diese erfasst und anschließend der Abstand zwischen Referenzfläche und Werkstückoberfläche ermittelt.



Prinzip des interferometrischen Punktsensors (WIP):  
 a) Superlumineszenzdiode, b) Faserkoppler, c) Sonde,  
 d) Sondenaustritts- und Referenzfläche, e) Werkstück-  
 oberfläche, f) Kollimatorlinse, g) Strahlteiler, h) Spiegel 1,  
 gekippt, i) Spiegel 2, j) Zylinderlinse, k) Zeilenkamera

Rundheitsmessungen  
 mit geringsten  
 Messabweichungen  
 von etwa 100 nm



## Unterschiedliche Sondengeometrien

Die Messsonde ist eine lichtleitende Glasfaser mit einem Standard-Durchmesser von 125  $\mu\text{m}$ , kleinere Sonden sind möglich. Durch die Führung der Faser in einem Metallröhrchen können die Sonden in sehr großer Länge für große Eintauchtiefen realisiert werden. Die Sondengeometrie lässt sich individuell an die Anforderungen der Messaufgabe anpassen, beispielsweise sind gerade oder abgewinkelte Sonden möglich. Der Anschluss der Sonde bestimmt den Austrittswinkel des Messstrahls zwischen  $0^\circ$  und  $90^\circ$ . Sonden mit  $90^\circ$ -Winkel werden zum Beispiel zur Messung der Mantelflächen kleiner Bohrungen eingesetzt.

## Hochgenaue Rundheitsmessung mit WIP/RS

Mit dem WIP in RS-Ausführung ist eine hochgenaue Rundheitsmessung mit drehbarer Sonde möglich, bei der nur die geometriekorrigierte Sensor-Drehachse bewegt wird. Der Bediener kann die Sonde von der

Mitte nach außen verschieben und so auf den gewünschten Radius des zylinderförmigen Geometrieelements einstellen. Damit lassen sich Rundheitsmessungen mit Messabweichungen von etwa 100 nm durchführen. Alternativ kann die Sonde auch während der Drehung mit den kartesischen Achsen des Koordinatenmessgeräts auf einer Kreisbahn bewegt werden, um größere Geometrielemente zu messen.

Der Werth Interferometer Probe WIP ermöglicht die Messungen eng tolerierter Maße in tiefen Bohrungen und schmalen Schlitzen mit langen Messsonden. So kann beispielsweise der Kegelsitz in Kraftstoff-Einspritzdüsen in einer Tiefe von einigen 10 mm submikrometergenau gemessen werden. Ein weiteres Beispiel ist die Messung der Ebenheit an tiefliegenden, empfindlichen Lagerflächen in Getriebegehäusen. Auch für berührungslose Rauheitsmessungen eignet sich dieser Sensor. Hierbei kommt der Genauigkeitsvorteil gegenüber Triangulationsverfahren und Fokusvariation besonders zu tragen.



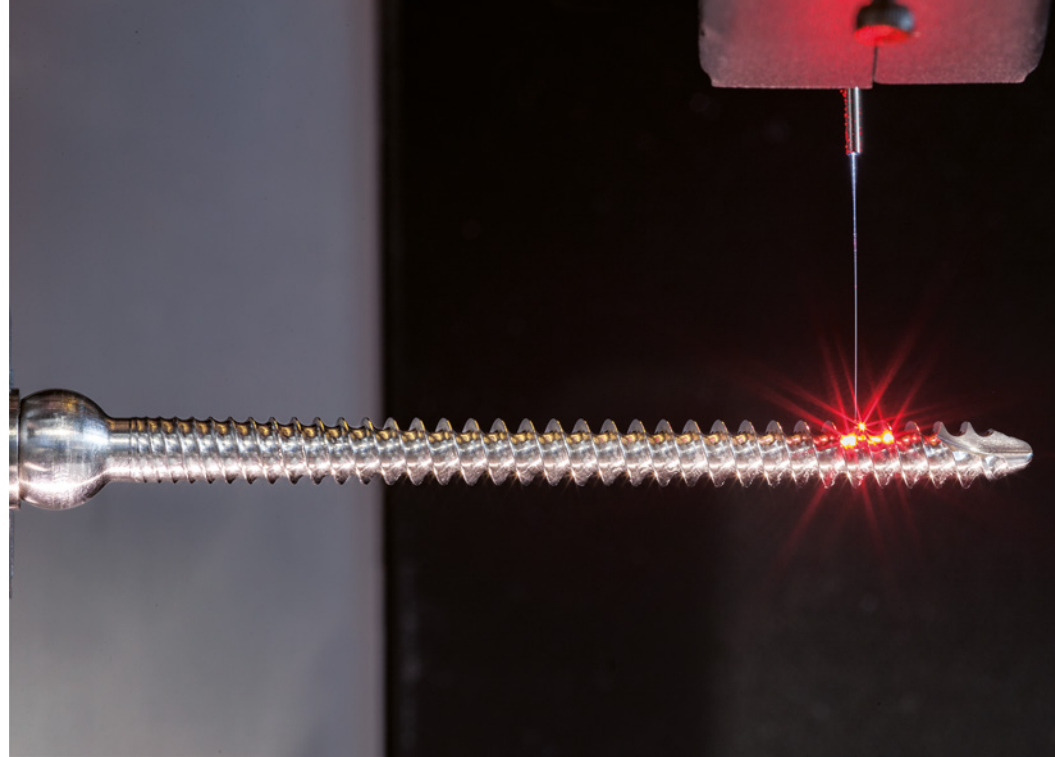
**Multisensor-Messtechnik für  
chirurgische Werkzeuge und  
Implantate**

**Zum Wohl des  
Patienten**

Keine andere Branche unterliegt so großen regulatorischen Vorgaben und Kundenansprüchen wie die Medizintechnik. Um alle Qualitätsanforderungen zu erfüllen, setzt Gebr. Brasseler auf modernste Messtechnik, die sich softwareseitig in die digitale Prozesskette des Unternehmens einfügt. Durch die Vernetzung mit CAD, CAM und CAQ gelingt es den Medizintechnikern, höchste Qualität zu liefern und trotzdem schnell auf dem Markt zu sein.



Messung mit dem Werth Fasertaster® (WFP): Gewinde einer Pedikelschraube zur Stabilisierung von Wirbeln



Gebr. Brasseler ist ein international operierendes Medizintechnik-Unternehmen mit über 1.000 Mitarbeitern am Stamm- und Produktionssitz Lemgo. Bereits seit über 90 Jahren steht der Markenname „Komet“ vor allem für hochwertige Zahnbohrer. Mit solchen rotierenden Instrumenten und anderen Dentalwerkzeugen gelang es dem Unternehmen, weltweit eine Vorreiterrolle hinsichtlich Innovation und Qualität zu übernehmen. Aus dieser Stärke heraus entwickelte Gebr. Brasseler in den 90er Jahren „Komet Medical“, einen Unternehmensbereich, der rotierende Instrumente, Sägeblätter, Fixierungs- und Navigationspins und weitere Produkte für die HNO- und Neurochirurgie sowie Orthopädie herstellt. Ab dem vierten Quartal 2017 wurde das fertigungstechnologische Angebot um die Produktgruppe „Wirbelsäulenimplantate“ erweitert. Allerdings wird Komet Medical in diesem Bereich lediglich als Contract Manufacturer auftreten.

Während die Komet Medical-Markenprodukte weltweit über Händler als Katalogware verkauft werden, ist der seit 2013 als eigene Business Unit geführte Unternehmensbereich auch als Produktionspartner zahlreicher PLM (Private Label Manufacturer) aktiv. Jens Haverkamp, General Manager Komet Medical, erklärt: „Für manchen PLM liefern wir inzwischen sogar komplett steril-verpackte Produkte mit deren Label. Ein Zeichen dafür, dass unsere Qualität wirklich erstklassig ist und der Kunde Vertrauen in unsere komplette Prozesskette hat.“

Kein Wunder, denn im Hause Brasseler wird durchgängig mit einem zertifizierten Qualitätsmanagementsystem gemäß den Normen EN ISO 9001 und EN ISO 13485 gearbeitet. Jedoch sind die regulatorischen Anforderungen in den letzten Jahren gewaltig gewachsen.

Um alle Vorgaben sicher zu erfüllen, benötigt der Entwicklungsprozess, der stets mit einer Risikoanalyse nach DIN EN ISO 14791 beginnt, inzwischen oft bis zu einem Jahr. „Das übt enormen Druck auf das Projekt- und Produktmanagement aus“, berichtet Jens Haverkamp. „Schließlich soll die Produkteinführungszeit aus Wirtschaftlichkeitsgründen so kurz wie möglich sein.“

### Optimierte Prozesse im Sinne von Industrie 4.0

Gebr. Brasseler hat bereits vor einigen Jahren reagiert und den gesamten Prozess von der Produktentwicklung bis zur Auslieferung der fertigen Teile optimiert. Investitionen in neue Hard- und Software gingen einher mit der Entwicklung optimierter Konstruktionsmethoden und digitalem Datenfluss.

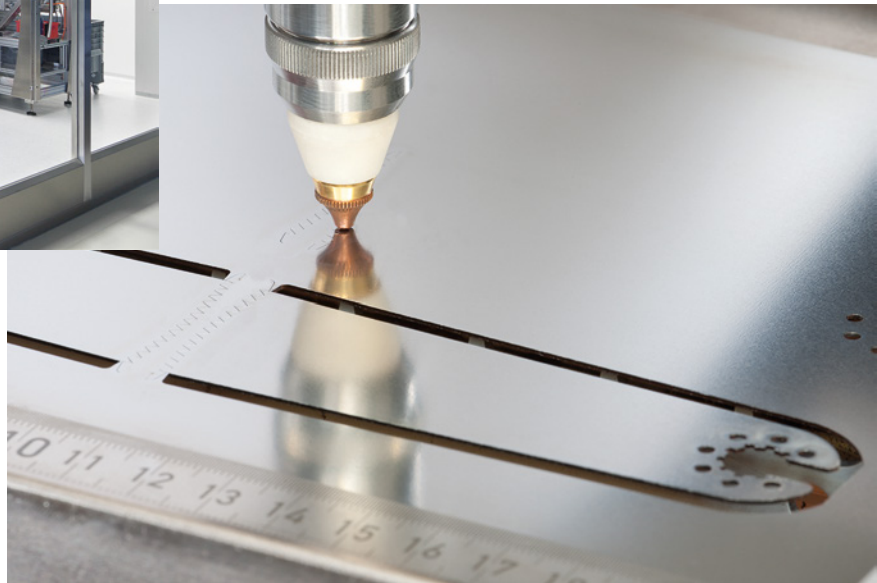
Der Optimierungsprozess schloss auch die Qualitätssicherung und Messtechnik ein, die in den Augen von Jens Haverkamp in der Zukunft einen sehr großen Anteil am Herstellprozess übernehmen wird: „Um alle Vorgaben zu erfüllen, benötigen wir nachvollziehbare und jederzeit reproduzierbare Prozesse. Das gelingt nur mit einer hochgenauen Messtechnik, die den gesamten Prozess begleitet und in unser digitales Netzwerk eingebunden ist.“

Schon seit langem steht der Firma Brasseler mit Werth Messtechnik ein führendes Unternehmen der Koordinatenmesstechnik mit optischen Sensoren, Multisensorik und Röntgentomografie als Partner zur Seite. So sind in Lemgo zahlreiche Multisensor-Koordinatenmessgeräte vom Typ ScopeCheck® und VideoCheck® im Einsatz. Jens Haverkamp begründet: „Multisensorik ist insbesondere für unsere rotierenden und oszillierenden Instrumente unerlässlich. Um unterschiedliche Merkmale



*Mithilfe moderner Messtechnik werden auch die strengen Vorgaben in der Medizintechnik erfüllt*

*Die nachweisbare, hohe Qualität ist für den anhaltenden Markterfolg der Komet Medical-Sägeblätter entscheidend*



zu erfassen, benötigen wir optische Bildverarbeitungssensoren und Laser ebenso wie verschiedene Taster.“

Komet Medical, wo so anspruchsvolle Instrumente wie die in der Neurochirurgie eingesetzten Highspeed-Bohrer und die neuen Wirbelsäulenimplantate produziert werden, nutzt zum Beispiel den Werth VideoCheck® FB DZ, ein hochgenaues Multisensor-Koordinatenmessgerät in Bauweise „feste Brücke“ mit Luftlagertechnologie. Um die Sensoren flexibel einsetzen zu können, verfügt er zusätzlich zu den drei linearen Achsen über zwei rotierende Koordinatenachsen für Dreh- und Schwenkbewegungen. Neben einem Bildverarbeitungssensor mit konstanter Vergrößerung ist der patentierte Werth Zoom mit dem integrierten optischen Abstandssensor Werth Laser Probe (WLP) ausgerüstet. Der ebenfalls patentierte Werth Fasertaster® (WFP) ermöglicht es, extrem kleine Geometrien hochgenau taktil zu messen.

Die Messtechniker bei Komet Medical nutzen ihn zum Beispiel, um eine Pedikelschraube zu prüfen, die der Stabilisierung von Wirbeln dient. Um den Kerndurchmesser eines Spiralbohrers zu ermitteln, verwenden sie den patentierten Tastschnittsensor Werth Contour Probe (WCP). Mit dem taktil-optischen WCP lassen sich auch Profil- und Rauheitsmessungen durchführen.

Axel Pieper, Gruppenleiter Qualitätstechnik, erklärt: „Wir leiten den Bedarf an Messmitteln aus den jeweils erforderlichen Messaufgaben ab. Wenn hochgenaues Messen oder Multisensorik erforderlich ist, setzen wir in der Regel Werth VideoCheck® oder ScopeCheck®

Geräte ein, sowohl zur prozessintegrierten Messung als auch zur Endkontrolle.“ Für die Produktgruppe Sägeblätter, die ganz andere Messaufgaben stellt, greift die Qualitätssicherung bei Komet Medical auf die aktuellen Geräte der Werth FlatScope Serie zurück. „Das Werth FlatScope war das einzige Messgerät, das unsere Anforderung erfüllen konnte“, betont Axel Pieper.

### **Neben der Technik entscheidet das Gesamtkonzept**

Die erforderlichen Messmittel werden bei Brasseler stets im Team diskutiert. Bei Neuanschaffungen fällt die Entscheidung neutral über festgelegte Key-Faktoren, zu denen auch ein passendes Gesamtkonzept gehört. Qualitätsfachmann Pieper erläutert: „Die Messgeräte und ihre Software müssen sich in unsere Strukturen – auch digitaler Art – einpassen lassen. Wir benötigen zum Beispiel unbedingt den Überbau einer Software mit der Möglichkeit zur Offline-Programmierung. Sie muss zudem in der Lage sein, mit unseren verschiedenen Systemen Daten auszutauschen.“

Denn um die Zeit bis zur Serienreife zu verkürzen, haben die Verantwortlichen bei Gebr. Brasseler die Prozesskette durchgängig digital gestaltet. Im CAD-System wird ein 3D-Volumenmodell erstellt, von dem im CAM-System die für die Zerspanung erforderlichen NC-Programme abgeleitet werden. Parallel dazu wird das Volumenmodell genutzt, um in der WinWerth® Software das Messprogramm offline zu programmieren. Damit sind die Messtechniker bei Komet Medical



*Jens Haverkamp (links) und Axel Pieper sind sich einig: „Wir brauchen zuverlässige, langfristige Partner wie Werth Messtechnik, die uns gute technische Qualität liefern und deren Systeme sich in unser digitales Netzwerk integrieren lassen.“*

in der Lage, für ein neues Produkt bereits das Messprogramm zu erstellen, bevor auch nur ein Werkstück von der Maschine kommt. Die Offline-Programmierung beschleunigt so den Produktionsanlauf und hält das Messgerät für andere Aufgaben frei.

Die Messsoftware WinWerth® beinhaltet neben der CAD-Schnittstelle eine weitere zur CAQ-Software. Werth Messtechnik verfügt über eine Sonderprojekt-Abteilung, die sich um die kundenspezifische Schnittstellenanpassung kümmert. „Durch den Datenaustausch mit der CAQ-Software können wir einen Teil des Messprogramms nutzen, um den Prüfplan zu erstellen. Dieser legt den Prüfablauf fest, wann welches Merkmal gemessen wird und mit welcher Häufigkeit die Prüfung stattzufinden hat. Die Maße und Toleranzen werden aus dem Messprogramm übernommen“, erklärt Pieper.

Stehen die Programme für die prozessintegrierte Messung, fließen die Messergebnisse direkt in eine moderne CAQ/SPC-Software, die für die statistische Auswertung und entsprechende Rückkopplung sorgt. So ergibt sich ein Datenverbund über alle Prozessstufen hinweg. Axel Pieper resümiert: „Wir profitieren letzten Endes von beschleunigten Prozessen und erhöhter Sicherheit. Nicht zuletzt werden durch manuelle Eingabe entstehende Fehler ausgeschlossen.“

### **Datenaustausch bestimmt die Zukunft**

Komet Medical-General Manager Jens Haverkamp beurteilt die Zusammenarbeit mit Werth Messtechnik

als zukunftsweisend: „Wir brauchen so zuverlässige, langfristige Partner wie Werth, die uns gute technische Qualität liefern und deren Systeme sich in unser digitales Netzwerk integrieren lassen.“

Als besonders wertvoll stuft er die Bereitschaft seines Messtechnik-Partners ein, eng mit Brasseler als Endanwender, aber auch mit Schleifmaschinenherstellern und CAQ-Softwarehäusern zu kooperieren. Die unternehmensübergreifende, partnerschaftliche Zusammenarbeit wird seiner Meinung nach in Zukunft deutlich zunehmen. Den Grund dafür sieht Haverkamp darin, dass Projekte, insbesondere mit großen Partnern aus der Medizintechnik, aufgrund der regulatorischen Anforderungen deutlich länger dauern. Dadurch entstehen langjährige, enge Partnerschaften, die nicht selten dazu führen, dass identische Messtechnologien angeschafft und betrieben werden.

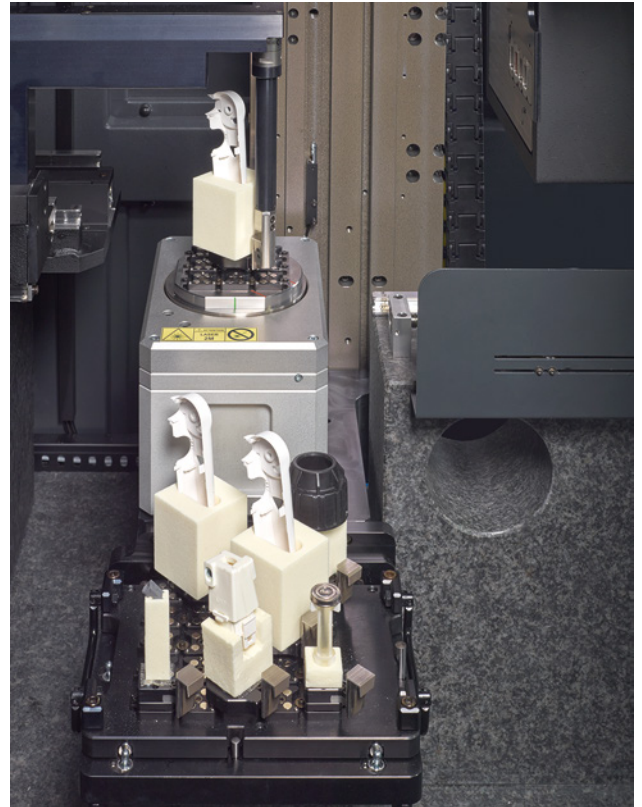
„Anders als früher wird ein deutlich offenerer Datenaustausch betrieben, der letzten Endes beide Partner stärkt“, ist sich Haverkamp sicher. Für ihn und Komet Medical bedeutet das schon jetzt: „Unsere Kunden wissen, mit welchen Maschinen wir arbeiten und was wir messen. Wir tauschen mit Projektpartnern mitunter schon die Messprogramme aus, um Kosten zu reduzieren und zusätzlich eine sichere Basis zu schaffen, den korrekten Messablauf zu garantieren.“ Damit seien falsche Messstrategien ausgeschlossen, und man könne sich gleich über die Messwerte und Ergebnisse unterhalten.

## Neues Werkstückwechselsystem für TomoScope®

Das Werkstückwechselsystem für TomoScope® Geräte ermöglicht die automatische Zuführung von Werkstücken zur optimalen Geräteauslastung. Die Werkstückträger befinden sich im Gerät, sodass Messungen in „mannlosen“ Schichten ohne weitere Vorkehrungen für den Strahlenschutz möglich sind. Für die verschiedenen Werkstückträger existieren mehrere Greifertypen. Bei der neuen Version des Wechselsystems können die unterschiedlich großen Werkstückträger ohne vorheriges Einmessen an beliebigen Positionen auf der Palette positioniert werden. In Kombination mit der grafischen Darstellung in der Messsoftware WinWerth® 8.42 ergibt sich ein höherer Bedienkomfort.

Auch neu ist die Möglichkeit, mehrere fertig bestückte Paletten zu verwenden. Dies verkürzt die Rüstzeiten noch zusätzlich. Eine weitere Zeitersparnis wird durch die Schleifenfunktion für das schnelle Einlernen von Serienmessungen erreicht. Das neue Werkstückwechselsystem wurde von Pneumatik auf eine rein mechanische Lösung umgestellt und ist damit jetzt noch weniger störanfällig und wartungsfrei.

*Werkstückwechselsystem jetzt mit beliebiger Palettenbestückung ohne Einmessen*



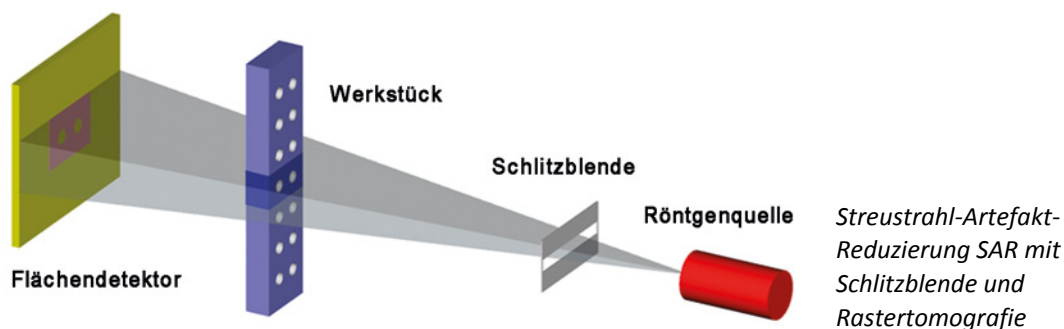
## Reduzierung von Kegelstrahl- und Streustrahl-Artefakten

Bei der Messung von Werkstücken mit großen Durchstrahlungslängen oder hoher Materialdichte, beispielsweise von Zylinderköpfen oder Turbinenschaufeln, treten oft Streustrahl- und Kegelstrahlartefakte auf, die die Lösung von Inspektionsaufgaben erschweren und die Messunsicherheit beim Bestimmen geometrischer Eigenschaften beeinträchtigen. Manche Merkmale schwer durchstrahlbarer Werkstücke sind hierdurch kaum oder nicht messbar.

Diese störenden Einflüsse können bei Werth-CT-Koordinatenmessgeräten jetzt mithilfe der Streustrahl-Artefakt-Reduzierung (SAR), einer speziellen Blende im Röntgenstrahlengang und einem entsprechenden Betriebsmodus der Rastertomografie stark reduziert werden. Im Rasterbetrieb wird bei Einsatz der Blende jeweils nur ein Teil des Werkstücks durchstrahlt und somit der Streustrahl-

anteil verringert. Der geeignete Detektorbereich wird automatisch eingestellt. Alternativ lässt sich die Höhe des aktiven Detektorbereichs anpassen und eine Zeilensensorfunktion mit dem Flächendetektor realisieren. Die Einschränkung des Detektorbereichs führt zu einer Reduzierung auch der Kegelstrahlartefakte.

Durch die flexible Einstellung der Zeilenbreite kann der optimale Kompromiss zwischen Messzeit und Qualität der Messung gewählt werden. Die Flexibilität des Koordinatenmessgeräts wird erhöht und die alternative Investition in einen Zeilensensor eingespart, da der Flächensensor bei Bedarf dessen Funktion mit übernimmt. Die Streustrahl-Artefakt-Reduzierung SAR ermöglicht hochgenaue Messungen des kompletten Werkstücks mit reduzierten Artefakten auch bei bisher schwierig zu messenden Werkstücken.



## Ausrichten und Einlernen per Mausclick

Die Erstellung von Messprogrammen wird mit der Anwendung von 2D-CAD-Online® oder 2D-CAD-Offline® denkbar einfach. Diese beiden Optionen ermöglichen CAD-gestütztes Messen von 2D-Konturen mit dem jeweils geeigneten Sensor auf einfachste Art und Weise. Die Bedienung wurde jetzt in die 3D-Grafik der WinWerth® Software integriert. Der verfügbare Funktionsumfang hängt vom 2D- oder 3D-CAD-Modell ab, die bisher separate 2D-CAD-Ansicht entfällt. Auch die Optionen Raster-scanning HD (patentiert) und AutoAlign stehen nun erstmals für CAD-gestütztes Messen zur Verfügung. Damit wird der Abgleich der Koordinatensysteme von CAD-Modell und Werkstück wesentlich vereinfacht. Nach Anklicken des CAD-Elements erkennt die Messsoftware WinWerth® automatisch das Ziel-element und erzeugt eine Punktverteilung. Neben Geraden, Kreisen, Punkten und Ebenen können optional Konturen gescannt und jetzt auch Kantenbrüche normkonform und vollautomatisch gemessen werden.

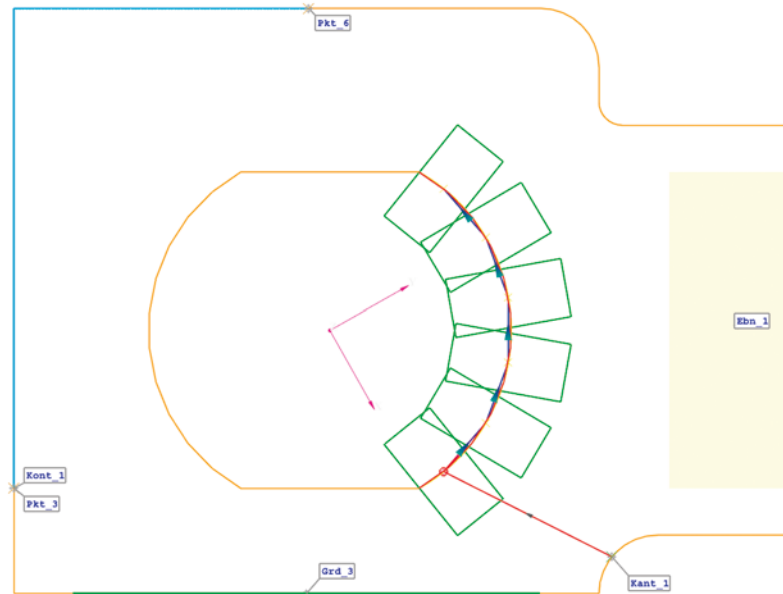
Die Begriffe 2D-CAD-Online® und 2D-CAD-Offline® wurden bereits 1996 durch Werth Messtechnik geprägt. Mithilfe von 2D-CAD-Offline® kann das Messprogramm bereits maschinenfern am Solldatensatz (CAD) erstellt werden, bevor das erste Werkstück gefertigt wird. Darüber hinaus wird das Koordinatenmessgerät nicht durch Programmierarbeiten blockiert und steht für andere Aufgaben zur Verfügung. 2D-CAD-Online®

## WinWerth® Profilprojektor-Funktion

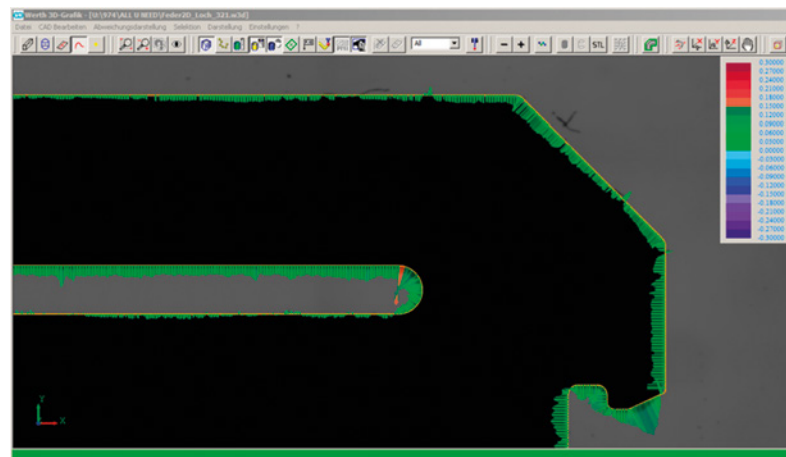
Mit dem patentierten Raster-scanning HD kann das gesamte Werkstück automatisch und mit hoher Auflösung erfasst werden. Neu ist die Möglichkeit, das so entstandene Rasterbild in der Werth 3D-Grafik mit dem 2D-CAD-Modell im DXF-Format zu überlagern. Damit übernimmt die Software die Funktion eines Profilprojektors, der Istzustand im Rasterbild lässt sich visuell gegen den Sollzustand des 2D-CAD-Modells vergleichen. So kann beispielsweise eine schnelle visuelle Prüfung auf Ausprägung oder Vorhandensein der unterschiedlichen Geometrien durchgeführt werden. An Problemstellen ist schnelles Zoomen möglich, da eine sehr hohe digitale Auflösung zur Verfügung steht.

Die Optionen 3D-BestFit oder 3D-SurfCompare und Element Kontur erlauben zusätzlich eine BestFit-Auswertung mit farbcodierter Abweichungsdarstellung. Die lokalen Abweichungen zwischen Messdaten und CAD-Modell können mithilfe des Mauszeigers abgefragt werden. Die Darstellung der Abweichungen in Fähnchen ist ebenfalls möglich, die kleinste und größte Abweichung wird automatisch erkannt.

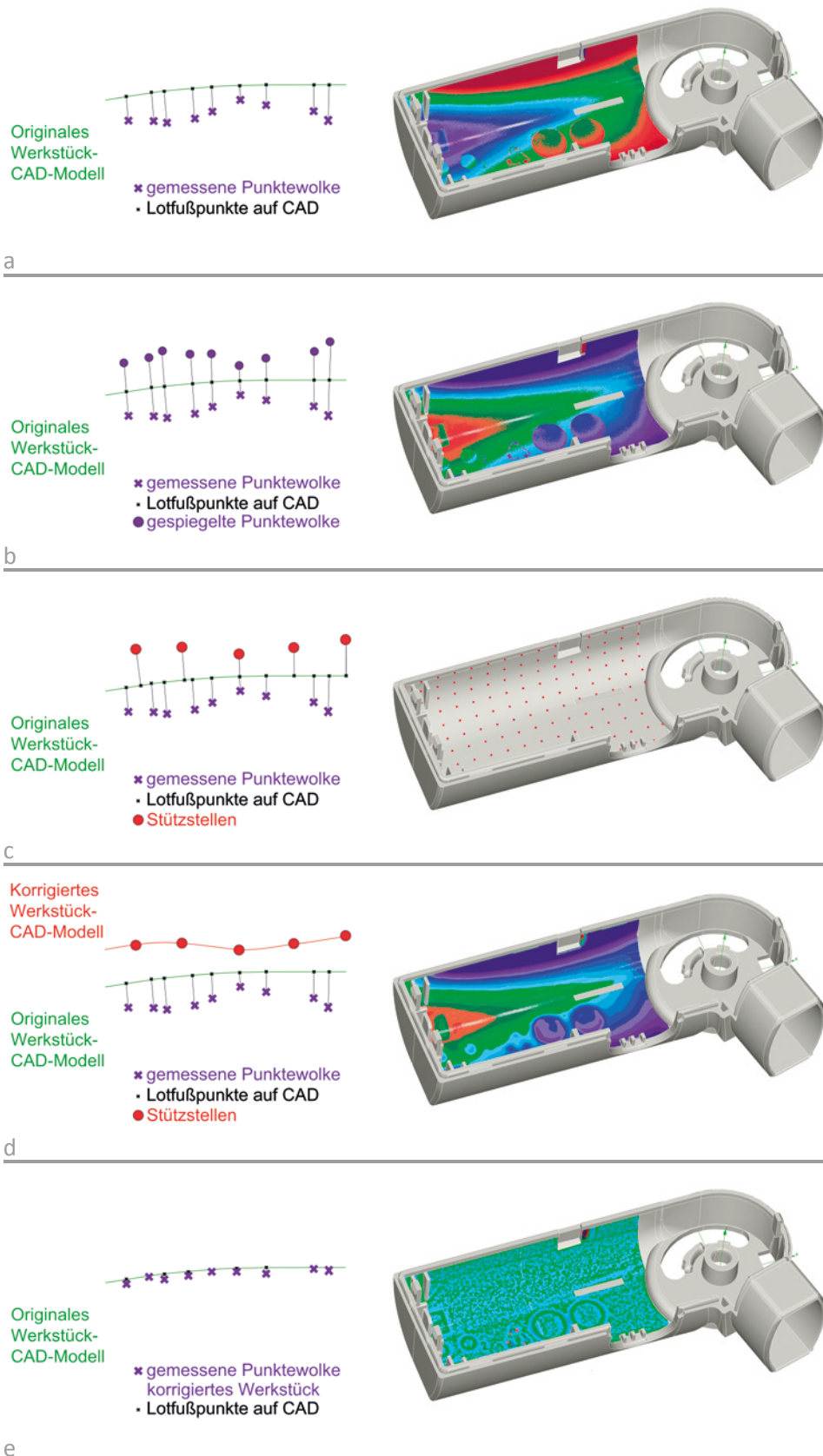
dagegen ermöglicht es dem Bediener, die Geräteachsen und die Sensorik mit Hilfe von CAD-Daten zu steuern, um eine schnelle Programmerstellung ohne manuelles Positionieren zu gewährleisten.



Mit 2D-CAD-Online® können verschiedene Geometrielemente durch Anklicken in der Werth 3D-Grafik direkt gemessen werden



Überlagerung eines Rasterbildes mit DXF-Datei und farbcodierte Abweichungsdarstellung aus Konturvergleich



*Funktionsprinzip (links) und Ergebnisse von WinWerth® FormCorrect: a) Abweichung der mit TomoScape® gewonnenen Messdaten zum Werkstück-CAD-Modell, b) am Werkstück-CAD-Modell gespiegelte Abweichungen, c) automatisch bestimmte Stützstellen zur Berechnung der korrigierten Fläche, d) Abweichungen der korrigierten Fläche zum originalen Werkstück-CAD-Modell, diese entspricht den hieraus ermittelten Korrekturen am Werkzeug, e) verbleibende Abweichungen nach Korrektur Werkzeug-CAD-Modell, Werkzeugänderung und erneuter Fertigung*

## WinWerth® FormCorrect – ein neues 3D-Korrekturverfahren für Werkstücke

Kunststoffspritzguss-Werkzeuge beziehungsweise Vorgabe-Daten für den 3D-Druck werden auf Basis der Werkstückgeometrie erstellt. Obwohl man dazu aufwendige Simulationen des Fertigungsprozesses heranzieht, treten prozessbedingt systematische Geometrieabweichungen auf. Ursachen sind unter anderem Abweichungen bei den Fertigungsparametern, unzureichende Qualität der Simulation von Schwindungsprozessen, inhomogene Ausfüllung des Werkzeugs sowie inhomogene Abkühlprozesse. Mit FormCorrect kann das Kunststoffspritzwerkzeug oder das CAD-Modell für den 3D-Druckprozess so verändert werden, dass das fertige Werkstück innerhalb der vorgegebenen Toleranzen liegt.

### Produktentwicklungszeiten reduzieren

Bisher führt man Korrekturen an Werkzeugen für das Kunststoffspritzen weitgehend manuell durch. Hierzu werden die Abweichung zwischen Soll und Ist durch Messen eines Testwerkstücks bestimmt. Die Korrektur erfolgt dann entweder durch manuelle Eingaben am CAD/CAM-System oder durch relativ aufwendige Korrektur beziehungsweise partielle manuelle Neuerstellung der CAD-Modelle mit einer Software zur Flächenrückführung.

Mit FormCorrect wird die exakte Werkstückgeometrie durch weitgehend automatische Korrektur des CAD-Modells erreicht. Direkt in der Messsoftware WinWerth® werden die Abweichungen zwischen dem ursprünglichen CAD-Modell und den Messdaten eines Testwerkstücks ermittelt und am CAD-Modell gespiegelt. Hieraus generiert WinWerth® ein korrigiertes CAD-Modell, mit dem die systematischen Fertigungsabweichungen kompensiert werden. Auf dieser Grundlage ist eine Vorschau der verbleibenden Abweichungen eines korrigierten Werkstücks möglich. Eine aufwendige Flächenrückführung, die spezielle Qualifikationen erfordert, entfällt.

Die Geometrieänderungen können sowohl am Werkstück-CAD-Modell als auch direkt am Werkzeug-CAD-Modell realisiert werden. Ausgehend vom korrigierten Werkstück-CAD-Modell wird eine neue Simulation des Fertigungsprozesses durchgeführt und ein Datensatz für die Nachbearbeitung des Werkzeugs generiert. Die Simulationsparameter sind hierbei dieselben wie beim Herstellen des ersten Musterwerkstücks. Mit Form-

Correct ist aufgrund der hohen Präzision häufig nur eine Korrekturschleife erforderlich, sodass die Kosten des Entwicklungsprozesses deutlich reduziert werden können.

### Vorteile durch Einsatz von WinWerth®

Durch die Integration in die Messsoftware WinWerth® lassen sich die Änderungen des CAD-Modells auf der Basis messtechnisch üblicher Ausrichtverfahren realisieren. Die Koordinatensysteme können beispielsweise über Bezugselemente, mithilfe der Mehr-Punkt-Ausrichtung (MPA) oder einer Gaußeinpassung gesetzt werden. Damit ist FormCorrect flexibel mit anwendungsspezifischen Ausrichtungen einsetzbar, die den funktionalen und fertigungsbedingten Anforderungen entsprechen. Die Möglichkeit einer nahezu vollständigen Automatisierung des Korrekturprozesses reduziert den Bedienerinfluss und erhöht den Bedienungskomfort. Das Ergebnis ist ein korrigiertes CAD-Modell, das mit praktisch allen bestehenden CAD/CAM-Systemen der Anwender kompatibel ist. Die Einführung einer neuen CAD/CAM-Software kann entfallen.

### Flexibel, effizient und genau

Im Gegensatz zur üblichen Flächenrückführung wird die Anwendung wesentlich vereinfacht. Anhand einer farbcodierten Abweichungsdarstellung zwischen Soll und Ist wählt der Anwender die zu korrigierenden Bereiche durch Anklicken am CAD-Modell aus. Auf Wunsch berechnet FormCorrect mathematisch unbegrenzte oder durch Randkurven begrenzte Einzelflächen. Auch können die Übergänge zwischen verschiedenen Flächen automatisch erzeugt und die korrigierten Flächen so in den Flächenverbund des CAD-Modells eingepasst werden.

Die Basis für FormCorrect bilden die Messdaten. Diese lassen sich am besten durch eine Erfassung der Werkstück-Geometrie mit Werth TomoScope® Geräten generieren. Durch Einsatz von Computertomografie kann das gesamte Werkstück vollständig erfasst und auf dieser Grundlage das CAD-Modell korrigiert werden. Die hohe Messpunktedichte ermöglicht eine hohe Auflösung der Korrektur. Aus der hohen Präzision und der rückgeführten Genauigkeit der Messergebnisse ergibt sich mit vertretbarem Aufwand eine gute Produktqualität.

Von taktilen Sensoren zur Koordinatenmesstechnik  
mit Optik, Röntgentomografie und Multisensorik

## 25 Jahre rasante Entwicklung der Koordinatenmesstechnik

Koordinatenmessgeräte mit Multisensorik sind aus einer modernen Qualitätssicherung nicht mehr wegzudenken. Das war nicht immer so, sondern ist Ergebnis einer rasanten Entwicklung in den letzten 25 Jahren. Hierdurch ist diese Technik heute für vielfältige Messaufgaben geeignet, die sich aus der zunehmenden Automatisierung und den steigenden Anforderungen an Messgeschwindigkeit und Genauigkeit ergeben.





*Bild 2: Der Bildverarbeitungssensor – hier der patentierte Werth Zoom mit variablem Arbeitsabstand und Beleuchtungswinkel – ist einer der schnellsten und genauesten Sensoren*

*Bild 1: 1987 stellte Werth Messtechnik mit dem Inspector® das erste Multisensor-Koordinatenmessgerät vor*

In den 1980er Jahren wurde die Koordinatenmesstechnik durch taktile Geräte dominiert. Für entsprechende optische Messgeräte fehlte zunächst noch die Sensorik. Erste Lösungen entstanden mit dem von Dr.-Ing. Siegfried Werth Ende der 70er Jahre entwickelten „Tastauge“ [1], einem punktförmigen optoelektronischen Fasersensor für Messprojektoren. Auch der Einsatz von CCD-Kameras für die Koordinatenmesstechnik wurde bereits erforscht [2]. Bis zur Entwicklung funktionsfähiger Messgeräte mit Bildverarbeitungssensorik verging jedoch noch einige Zeit. Zu Ende der 80er Jahre waren erste Geräte mit CCD-Kamera und Bildverarbeitung verfügbar. Ein Beispiel hierfür ist der Inspector der Firma Werth [3] (Bild 1), aber auch ähnliche Geräte anderer Unternehmen. Einem breiten Einsatz dieser Geräte standen der hohe Preis und die oft im Verhältnis hierzu noch unzureichende Leistungsfähigkeit entgegen, sodass sie sich im Markt nicht durchsetzen konnten.

### **Einführung der digitalen Bildverarbeitung**

Zu Beginn der 90er Jahre war die PC-Technik mit den ersten Framegrabbern leistungsfähig genug für die Automatisierung optischer Koordinatenmessgeräte. Durch ein Management-Buy-out wurde 1993, vor jetzt 25 Jahren, die unternehmerische Unabhängigkeit gewonnen und Werth Messtechnik führte mit dem VideoCheck® als erster europäischer Hersteller ein auf kostengünstigen PCs basierendes Koordinatenmessgerät ein [4], das automatische Messungen im Auflicht und mit Autofokuspunkten auch in drei Dimensionen ermöglichte. Die Werth-Entscheidung, auf die Bildverarbeitung mit PC und Windows-Betriebssystem zu setzen, wurde in der Fachwelt damals noch von Vielen als Irrweg betrachtet, heute ist diese Lösung der Standard.

In den folgenden Jahren wurde die Bildverarbeitungssensorik kontinuierlich weiterentwickelt. Mithilfe des patentierten Werth Zooms (Bild 2) wurde es dem Anwender möglich nicht nur die Vergrößerung, sondern auch den Arbeitsabstand an die unterschiedlichen Messaufgaben anpassen. Der Beleuchtungswinkel lässt sich mit dem MultiRing® in weiten Grenzen auf die Anforderungen des Werkstücks abstimmen, um prozesssicher zu messen. Auch nach über 20 Jahren Bildverarbeitung in der Koordinatenmesstechnik sind heute noch revolutionäre Entwicklungen möglich. Zum Beispiel erlaubt das 2016 vorgestellte Verfahren „Rasterscanning HD“ eine bisher nicht gekannte Messgeschwindigkeit bei gleichzeitig gesteigerter Genauigkeit. Hierzu werden während der Bewegung mit maximaler Kamerafrequenz Bilder des Werkstücks aufgenommen und zu einem Gesamtbild überlagert (Bild 3, Patent). So werden große Bereiche schnell und mit hoher Auflösung erfasst. Mit diesem Verfahren ist es beispielsweise möglich, einen 7 Zoll-Wafer in höchster Vergrößerung in einer Messzeit von nur 120 Sekunden komplett zu erfassen. Es entsteht ein Bild mit 256 Megapixeln, in dem die geometrischen Eigenschaften des Wafers bestimmt werden können. Eine andere Anwendung ist die Messung der kompletten Schneidkantengeometrie von Wälzfräsern. Es ist möglich, in 1,5 Sekunden Messzeit 32 Zähne eines Stollens zu messen und „im Bild“ auszuwerten.

### **Von der Bildverarbeitung zur Multisensorik**

Mit zunehmender Vielfalt und Komplexität der Werkstücke sind die Messaufgaben mit einem Sensor allein häufig nicht mehr zu lösen. Durch die Integration verschiedener Sensoren in einem Messgerät entstehen Multisensor-Koordinatenmessgeräte, die eine individuelle

Bild 3: Rasterscanning HD (Patent) liefert in Sekundenschnelle Bilder mit hoher Auflösung

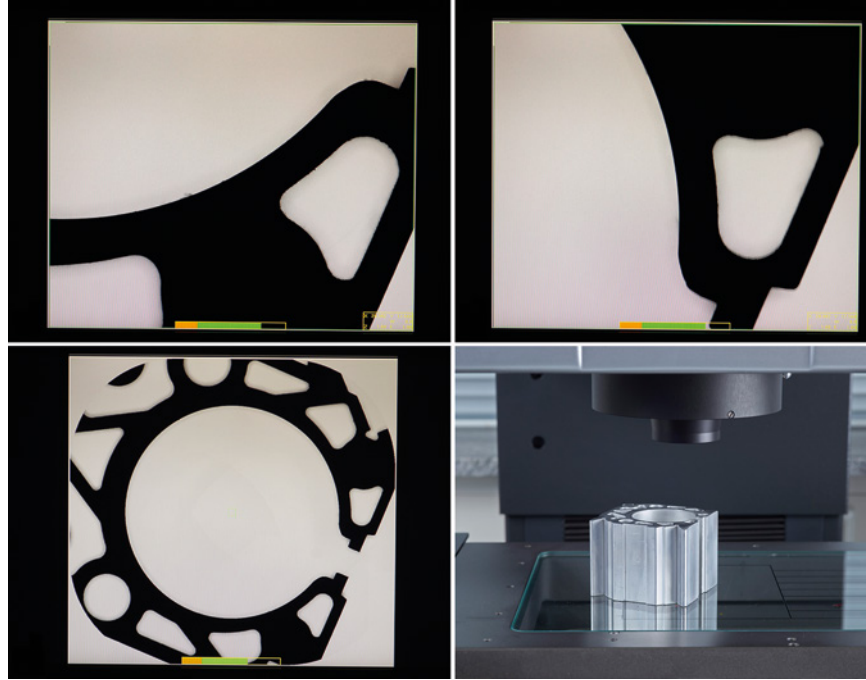


Bild 4: Der patentierte Werth Laser Probe ist in den Strahlengang des Werth Zooms integriert

Anpassung an die jeweilige Aufgabe gestatten. Da alle Sensoren im selben Werkstückkoordinatensystem messen, können die Messergebnisse beliebig verknüpft werden.

Mit dem Erfolg der Bildverarbeitung lag es nahe, solche Sensoren alternativ zu Tastern in taktile Koordinatenmessgeräte zu integrieren und so Multisensor-Koordinatenmessgeräte zu realisieren (Video-Tastsystem VP1 [5]). Diese Lösungen konnten sich jedoch nicht durchsetzen, da die eingesetzten Bildverarbeitungssensoren sehr kompakt sein mussten. Leistungsumfang und Flexibilität von Abbildungsoptik und Beleuchtungssystemen waren entsprechend begrenzt. In einem weiteren Ansatz zur Multisensorik wurde der Bildverarbeitungssensor mit einem integrierten Laserabstandssensor ausgestattet [3] (Bild 4). Diese zunächst rein optischen Multisensor-Koordinatenmessgeräte erlaubten schnellere 3D-Messungen als allein mit der Autofokussfunktion des Bildverarbeitungssensors möglich.

Die Anwendung der Kombination optischer und taktilelektrischer Sensoren wurde durch Werth Messtechnik ab 1993 erfolgreich vorangetrieben, nachdem man die bewährten Renishaw-Tastsysteme in die kompakten optischen VideoCheck® Koordinatenmessgeräte integrierte [4]. Bald ermöglichten taktile Scanning-Betriebsarten die schnelle Messung von Konturen mit hoher Punktedichte, kombiniert mit Bildverarbeitungsmessungen in der Ebene und Laserscanning im Raum.

Die Kooperation der mittelständischen Industrie mit Hochschulen und anderen Forschungseinrichtungen ist in Deutschland besonders gut entwickelt. In Zusammenarbeit der Werth Messtechnik mit der Physikalisch-Technischen Bundesanstalt (PTB) entstand im Jahr 1998 ein taktil-optischer Mikrotaster [6]. Bei diesem patentierten Messprinzip dient die biegeelastische Glasfaser nur zur Positionierung der bis zu 20 µm kleinen Tastkugel, deren Auslenkung wird durch einen Bildverarbeitungssensor direkt optisch gemessen. Dieses Prinzip führt zu geringer Antastkraft, hoher Genauigkeit und Robustheit insbesondere im Vergleich zu konventionellen Mikrotastern (Bild 5). Aus dem ursprünglichen 2D-Prinzip wurde 2011 der 3D-Werth Fasertaster® entwickelt [7], mit dem praktisch alle von konventionellen Tastern bekannten Messverfahren wie Einzelpunktantastung und Scanning angewendet werden können.

In den folgenden Jahren erweiterte man insbesondere das Spektrum der optischen Abstandssensoren. Die oben genannten Laserabstandssensoren wurden durch chromatische Fokussensoren zur Messung von Oberflächenkonturen und Ebenheit an spiegelnden Oberflächen ergänzt. Diese ermitteln den Abstand zur Werkstückoberfläche aufgrund unterschiedlicher Fokusebenen der verschiedenen Farbanteile weißen Lichts und werden deshalb nicht ganz treffend oft auch als Weißlichtsensoren bezeichnet. Flächensensoren nach dem Fokusvariationsprinzip wie der Werth 3D-Patch

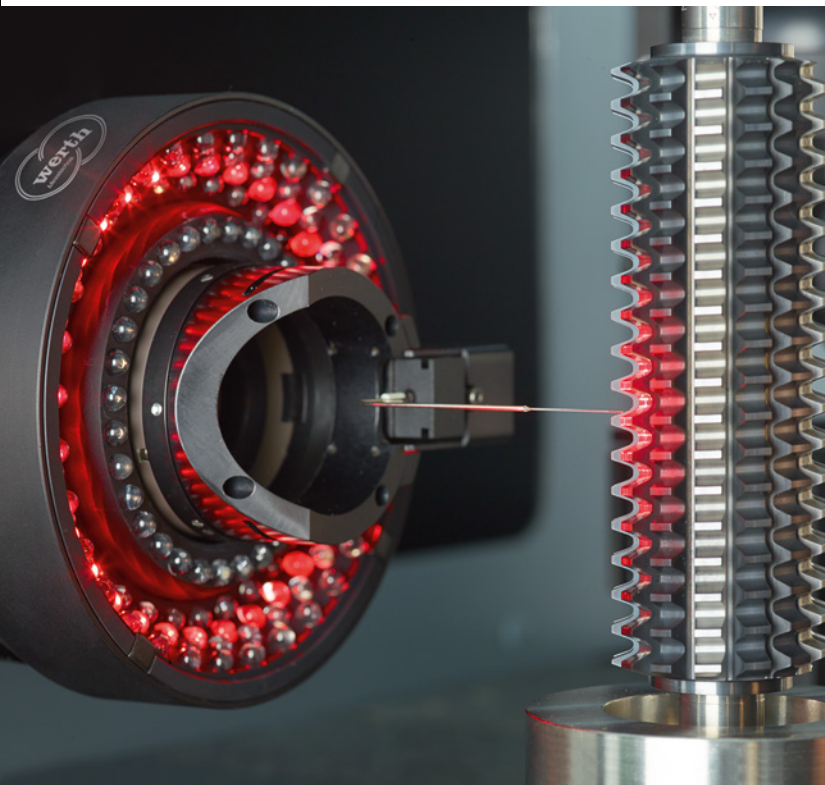


Bild 5: Der Werth Fiber Probe® WFP (Patent) ist mit einer Tastkugel von bis zu 20 µm Durchmesser der erfolgreichste Mikrotaster im Markt

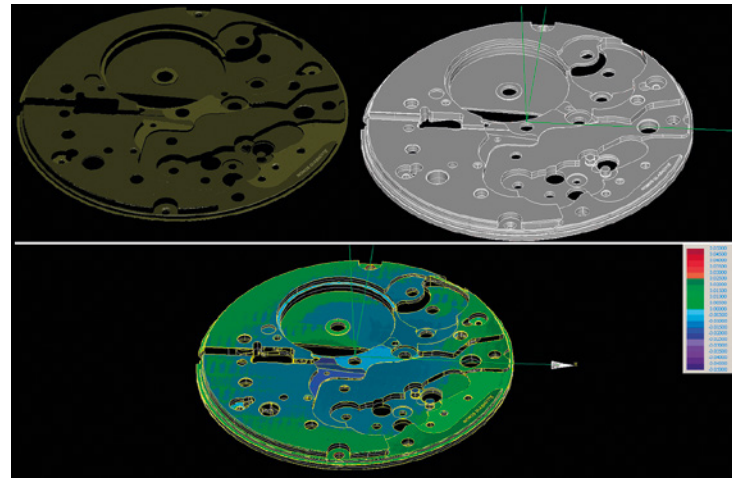


Bild 6: Optische Abstandssensoren liefern eine 3D-Punktwolke der Werkstückoberfläche (oben links), die neben dimensionellen Messungen auch einen Soll-Ist-Vergleich zum CAD-Modell (oben rechts) mit farbcodierter Abweichungsdarstellung ermöglicht (unten)

oder konfokale Sensoren wie der Nano Focus Probe (NFP) [8] erfassen Oberflächentopografien mit hoher Punktedichte zur Bestimmung von Rauheit, Form und anderen geometrischen Eigenschaften. Bei beiden Messprinzipien wird für jedes Pixel der Kamera ein 3D-Messpunkt bestimmt. Hierzu wird der Sensor senkrecht zur Werkstückoberfläche verfahren und gleichzeitig der Kontrast (Fokusvariationssensoren) oder die Bildhelligkeit (konfokale Sensoren) ausgewertet, um den Abstand zur Werkstückoberfläche zu bestimmen. Liniensensoren dienen zur schnellen Messung relativ großer Bereiche der Werkstückoberfläche. Es stehen der Laser Line Probe (LLP) und seit 2017 auch der Chromatic Focus Line Sensor (CFL) zur Verfügung (Bild 6). Der CFL kombiniert dabei in bisher einzigartiger Weise eine hohe Messgeschwindigkeit mit hoher Genauigkeit. Die verschiedenen Messprinzipien unterscheiden sich neben der erreichbaren Genauigkeit vor allem in der Abhängigkeit von Kontrast, Reflexionsverhalten und Neigungswinkel der Werkstückoberfläche.

Spezifikationen nach einheitlichen Maßstäben und eine zertifizierte Kalibrierung ermöglichen einen objektiven Vergleich der Leistungsfähigkeit verschiedener Koordinatenmessgeräte und gewährleisten rückführbare Messungen. Im Jahr 2004 entstand das erste deutsche nach ISO 17025 akkreditierte DKD-Kalibrierlabor (Deutscher Kalibrierdienst) für optische und Multisensor-Koordinatenmessgeräte im Hause Werth. Aktuell ist das Werth-DAkKS-Labor (Deutsche Akkreditierungsstelle)

das einzige, das auch für die Kalibrierung von Koordinatenmessgeräten mit Röntgentomografie akkreditiert ist. Hierdurch wird gewährleistet, dass die Anwender wie von IATF 16949 gefordert die Prüfung ihrer Werkstücke mit DAkKS-kalibrierten Messmitteln durchführen können.

### Ein neuer Sensor: Röntgen-Computertomografie

Anfang der 2000er Jahre gab es erste Versuche zur Einführung der Computertomografie (CT) in die Koordinatenmesstechnik. Leider war das Verfahren noch viel zu ungenau, man erhielt Messabweichungen im Zehntel-Millimeter-Bereich. Eine erste Lösung war die Werth Autokorrektur, bei der ein Meisterteil mit einem genauen Sensor gemessen und die Abweichungen zur CT-Messung zur Korrektur der CT-Serienmessung weiterer Werkstücke verwendet werden. Durch dieses Verfahren und den Einsatz bewährter Komponenten aus den Multisensor-Koordinatenmessgeräten konnte Werth Messtechnik im Jahr 2005 das TomoScope® 200, das erste speziell für die Koordinatenmesstechnik entwickelte Gerät mit Röntgentomografie, optional mit Multisensorik, realisieren [9]. Dieses Gerät verfügte bereits über eine zur konventionellen Koordinatenmesstechnik vergleichbare Spezifikation und Messunsicherheit. „Vollständig und genau messen“ war die neue Botschaft, da nun erstmals auch die alle schwer zugänglichen Bereiche des Werkstücks einschließlich der Innengeometrien erfasst werden konnten (Bild 7).

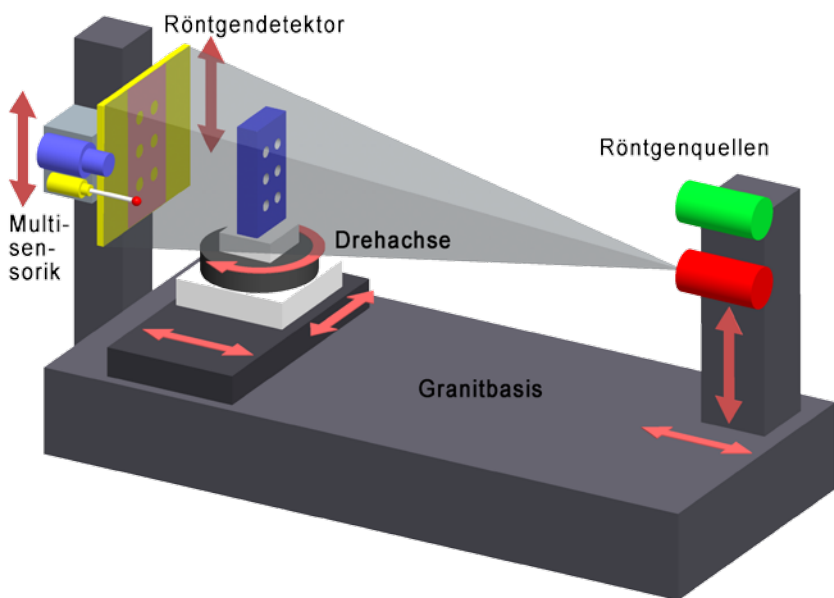
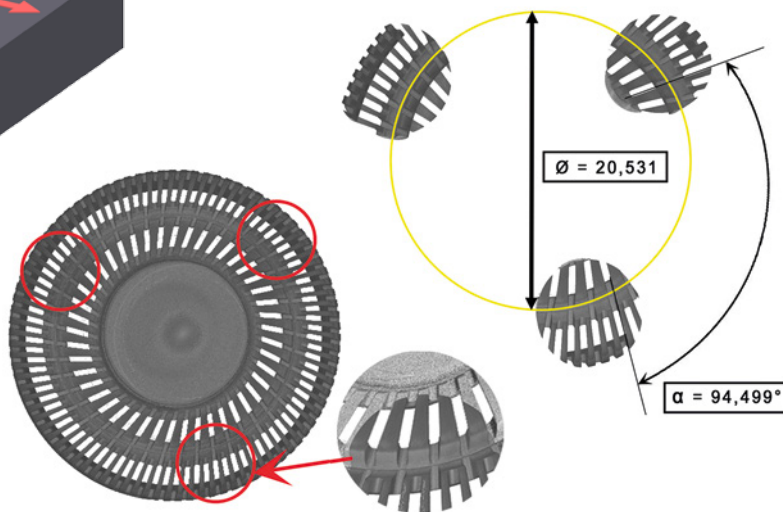


Bild 7: Röntgentomografie: Das komplette Werkstückvolumen wird aus den in verschiedenen Drehlagen aufgenommenen Durchstrahlungsbildern rekonstruiert

Bild 8: Mit der Multi-ROI-CT werden nur interessierende Bereiche mit hoher Auflösung gemessen und so Messzeit und Datenvolumen eingespart



Gerade im Bereich der Röntgentomografie findet eine rasante Entwicklung statt. Heute steht eine Reihe von Software-Korrekturverfahren zur Verfügung, sodass ausreichend exakte CT-Messungen meist ohne Autokorrektur möglich sind. Mit Autokorrektur ist die Messprozesseignung sogar für Bohrungen von Kraftfahrzeug-Einspritzdüsen mit  $5\ \mu\text{m}$  Toleranz gegeben. Als Beispiel für die vielen Neuheiten der letzten Jahre ist die Werth Multi-ROI-CT (ROI – Region of Interest) zu nennen, die mithilfe der Exzentrischen Tomografie hochauflösende Messungen beliebiger Teilbereiche des Werkstücks ermöglicht. Bei diesem Verfahren wird die 3D-Punktwolke des Werkstücks aus einer Übersichtsmessung in niedriger Auflösung und hochauflösenden Messungen der interessierenden Bereiche zusammengefügt (Bild 8).

### Multisensor-Koordinatenmesstechnik in der Zukunft

Die Zukunft steht einerseits im Zeichen zunehmender Integration. Ein Beispiel hierfür ist das Werth Multisensor-System, mit dem konventionelle Tastsysteme, der Fasertaster oder der Contour Probe und Zubehör wie Winkeloptiken oder Vorsatzlinsen versatzfrei vor dem Strahlengang der Bildverarbeitung mit integriertem Laserabstandssensor angebracht werden (Bild 9). Auch die Verteilung der Sensoren auf zwei unabhängige Achsen, von denen sich nur die mit dem jeweils aktiven

Sensor in der Nähe des Werkstücks befindet, erhöht Flexibilität und Bedienkomfort.

Andererseits wird die Messtechnik immer enger in den Produktionsprozess eingebunden. Funktionen wie die Betriebsart OnTheFly®, in der Messungen mit dem Bildverarbeitungssensor während der Bewegung der Geräteachsen durchgeführt werden können, ermöglichen einen hohen Durchsatz. Im CT-Bereich können durch Geräte mit Transmissionstargetröhren in Monoblock-Bauweise (Bild 10) schnelle Messungen bei hoher Genauigkeit durchgeführt werden [10]. Ähnlich wie beim Bildverarbeitungssensor erreicht man mit OnTheFly-CT bei manchen Anwendungen eine zehnfach erhöhte Messgeschwindigkeit.

Optische und taktile Multisensor-Koordinatenmessgeräte werden in der Fertigungsüberwachung vorherrschend bleiben, da sie bei wenigen Prüfmaßen schneller als CT-Geräte sind. Konventionelle Tastsysteme, die am Anfang der Automatisierung in der Messtechnik standen, wird es wohl immer geben, da mit optischen Sensoren nicht alle Elemente erreichbar sind und nicht alle Oberflächen erfasst werden können. Für schnelle und flexible Messungen ist eine Kombination optischer und taktile Sensoren die Lösung.

Vorteile der CT gegenüber konventionellen Koordinatenmessgeräten liegen in der vollständigen Erfassung



*Bild 9: Das Werth Multisensor-System ermöglicht Integration der Multisensorik am Koordinatenmessgerät ohne Sensorersatz*

*Bild 10: Moderne Geräte mit Röntgentomografie-Sensor vereinen die Vorteile von Transmissions-targetröhren mit einer kompakten Bauweise und geringen Wartungskosten*



des Werkstücks, die zum Beispiel eine schnelle Erstbemusterung oder auch eine effiziente Werkzeugkorrektur für das Kunststoffspritzen ermöglicht und damit die Produktentwicklung beschleunigt. Da die Messzeit unabhängig von der Anzahl der Maße ist, wird die Computertomografie vor allem bei Werkstücken mit vielen Prüfmaßen immer häufiger auch in der Fertigungsüberwachung eingesetzt.

Vor 25 Jahren war man bei Werth noch skeptisch, ob es jemals möglich sein würde, wesentlich genauer als ein Mikrometer zu messen. Heute ist die Verbesserung der Genauigkeit nach wie vor ein Entwicklungsziel und es wird bei Werth an Geräten und Sensoren mit Messabweichungen unter 100 nm gearbeitet.

[1] WECKENMANN, A., Hrsg., 2012. Koordinatenmesstechnik: Flexible Strategien für funktions- und fertigungsgerechtes Prüfen. 2., vollständig überarbeitete Auflage. München: Carl Hanser Verlag. ISBN 978-3-446-40739-8

[2] WOSCHNI, H.-G. und R. CHRISTOPH und A. REINSCH, 1983. Verfahren zur Bestimmung der fotometrischen Mitte einer optisch wirksamen Struktur. DD, Patentschrift WP 201500. 20.07.1983

[3] WERTH MESSTECHNIK GMBH, 1987. Der Werth-Inspector stellt sich vor: Meßzeitverkürzung durch parallel processing. Gießen: Werth Messtechnik GmbH

[4] GREBE, Wolfgang, 1993. Fertigungsnahe Qualitätskontrolle. In: Microtecnic. 47 (2), S. 8-9. ISSN 0026-2854

[5] RENISHAW PLC, 1998. Firmenprofil. Bristol: Renishaw plc

[6] CHRISTOPH, R. und E. TRAPET und H. SCHWENKE, 1998. Koordinatenmessgerät mit tastelement und dieses vermessenden optischen sensor. Anmeldung: 10.06.1998. WO, Patentschrift PCT/EP1998/003526. 17.12.1998

[7] HOPP, B. und U. NEUSCHAEFER-RUBE und J. VOIGTSBERGER, 2016. Messen von Mikrogeometrien mit dem Fasertaster. In: Mikroproduktion. 14 (2), S. 64-67. ISSN 1614-4538

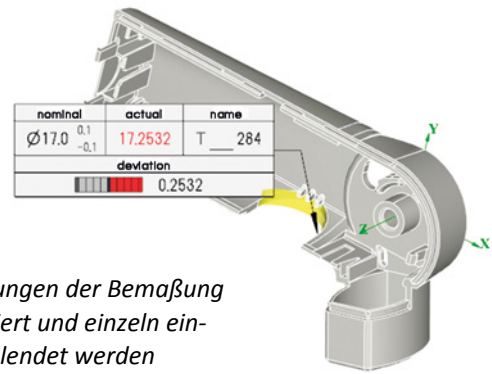
[8] FERGER, D., 2009. Konfokaler Sensor bereichert die Multisensorik. In: Mikroproduktion. 7 (3). ISSN 1614-4538

[9] CHRISTOPH, R. und W. Rauh, 2005. Vollständig und genau messen: Tomografie im Multisensor-Koordinatenmessgerät. In: Quality Engineering. 24 (6), S. 28-30. ISSN 1436-2457

[10] HEIDARI BATENI, S., 2017. Messen wie im Flug: Koordinatenmesstechnik mit Computertomografie auf dem Vormarsch. In: Quality Engineering. 36 (3), S. 24-27. ISSN 1436-2457

## Erweiterte Maßdarstellung in der WinWerth® 3D-Grafik

In WinWerth® 8.42 besteht jetzt die Möglichkeit einer umfassenderen und übersichtlicheren Darstellung der erfassten geometrischen Eigenschaften in der 3D-Grafik. Die Darstellung der geometrischen Eigenschaften erfolgt jetzt in Anlehnung an die ISO-Norm 16792. Der Istwert wird farbcodiert ausgegeben. Eine grüne Markierung steht für Messwerte innerhalb der Toleranzen, eine rote zeigt an, dass der Messwert für das betreffende Merkmal außerhalb der Toleranzen liegt. Durch die angezeigten Maß-Bezugslinien ist eine einfache Zuordnung der Messwerte zu den jeweiligen Elementen möglich.



Die Darstellungen der Bemaßung können editiert und einzeln ein- oder ausgeblendet werden

## Neue Messstrategie für CT-Daten – Volumen-Patchselektion

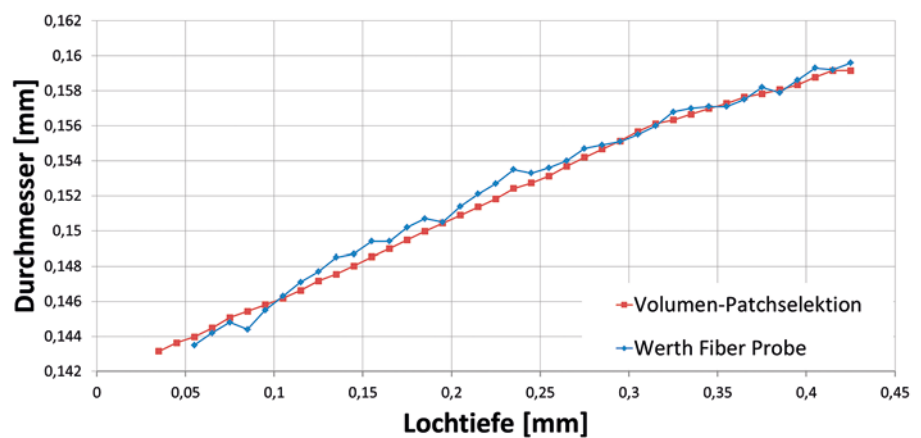
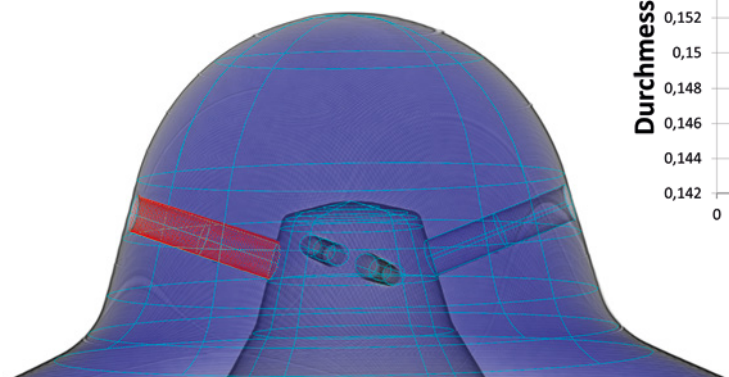
Mit Röntgentomografie wird die komplette Werkstückgeometrie in einer einzigen Messung erfasst. Zur Bestimmung der Messpunkte wird bei Werth mit einem patentierten Subvoxeling-Verfahren im kompletten Voxelvolumen der Materialübergang ermittelt. Bei Mehr-Material-Werkstücken ist mit diesem Vorgehen eine Unterscheidung zwischen den einzelnen Materialien schwierig. Auch die Grauwerte des Hintergrunds können aufgrund von Artefakten unterschiedliche Werte annehmen. Daher ist die genaue Berechnung der Messpunkte an solchen Materialgrenzen bisher nur eingeschränkt möglich.

Die neue Volumen-Patchselektion erlaubt jetzt eine hochgenaue Messung von Mehr-Material-Werkstücken und Werkstücken mit hoher Dichte. Das Verfahren verfügt über eine höhere laterale Auflösung als bisherige Verfahren, zum Beispiel zur Messung feiner Strukturen am Rand des Werkstücks. Ein weiterer Vorteil ist die größere Artefakt-Toleranz. Mit dem CAD-Modell und dem Voxelvolumen als Quellelementen werden an

interessierenden Stellen lokal Messpunkte berechnet. Durch das ebenfalls neue, im WinWerth® 3D-Modul integrierte Volume Rendering (siehe S. 23) kann die Bedienung übersichtlich am Voxelvolumen visualisiert werden. Dies führt zu einer Verbesserung der Messergebnisse, sodass noch enger tolerierte Werkstücke gemessen werden können. Bei manchen Werkstücken wird eine flächige Berechnung der Messpunkte so erst möglich.

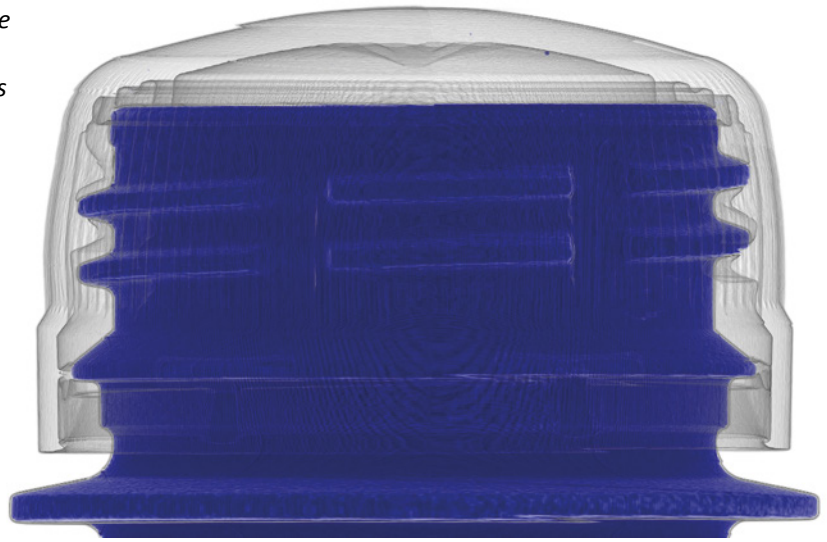
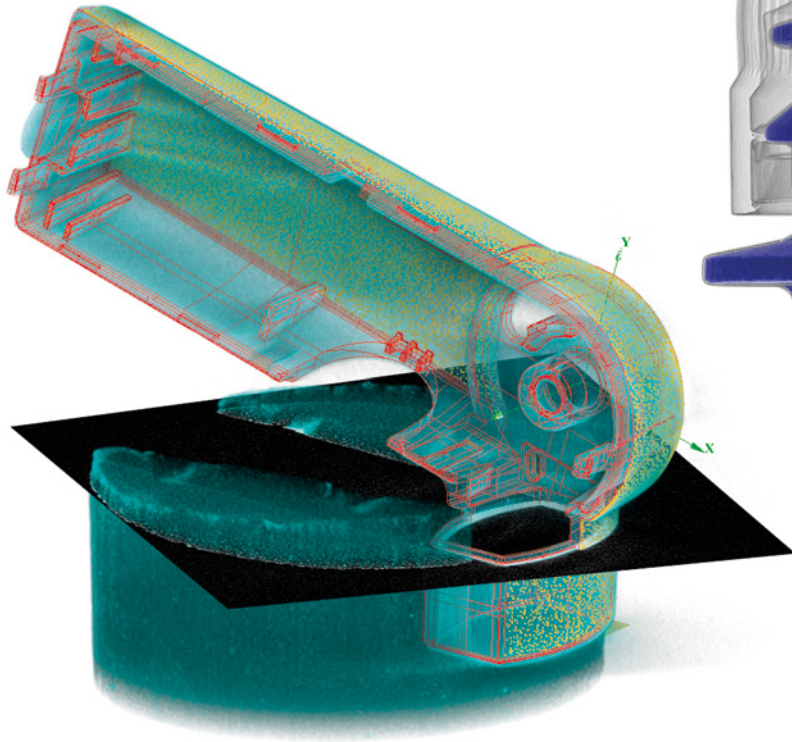
Beispielsweise bei Mehr-Material-Werkstücken wie Metall-Kunststoff-Komponenten können jetzt auch an der Materialgrenze zwischen Kunststoff und Luft 3D-Regelgeometrien ausgewertet werden, ohne dass die meist artefaktbehaftete Messpunktewolke für den kontrastarmen Kunststoff separat berechnet werden muss. Für Kraftstoff-Einspritzkomponenten mit eng tolerierten geometrischen Eigenschaften in den Spritzlöchern erhöht das neue Verfahren die laterale Auflösung, sichere Messungen am äußersten Rand des Werkstücks werden möglich.

Die mithilfe der Volumen-Patchselektion generierten Messpunkte (rot) können durch Volume Rendering übersichtlich mit dem Voxelvolumen (blau) dargestellt werden



Mit Volumen-Patchselektion wird der Durchmesser eines Spritzlochs im gesamten Verlauf präzise gemessen (Vergleich zu Ergebnissen mit Werth Fasertaster®)

*Mehr-Material-Baugruppe  
mit Transparenz des  
weniger dichten Materials*



*Auswahl an Darstellungs-  
möglichkeiten in der  
WinWerth® 3D-Grafik:  
CAD-Modell (rote Linien),  
Voxelvolumen (grün) und  
Messpunktewolke (gelb)*

## WinWerth® 3D-Grafik mit Volume Rendering

Die Darstellung von Volumendaten wurde in das 3D-Modul der Messsoftware WinWerth® integriert. Drei unterschiedliche Ansichten können parallel genutzt und einzeln aus- beziehungsweise eingeblendet werden. Es besteht die Möglichkeit, das gesamte Volumen, also alle Voxel mit ihrem jeweiligen Grauwert anzuzeigen. In der Darstellung „ISO-Oberfläche“ werden nur Voxel mit dem gewähltem Grauwert wiedergegeben. 2D-Schnitte können nach Auswahl der Schnittebene ebenfalls dargestellt werden. Alle Varianten sind dreidimensional drehbar dargestellt und lassen sich so von allen Seiten analysieren. CAD-Modell, Voxelvolumen und Messpunktewolke werden im selben Koordinatensystem überlagert abgebildet. Sie lassen sich durch Farb- und Transparenzeinstellung angenehm visualisieren und zum Auswerten der Daten nutzen.

Die Histogramm-Funktion ermöglicht die Wahl des darzustellenden Grauwertbereichs, sodass zum Beispiel bei Mehr-Material-Werkstücken nur das dichtere Material analysiert werden kann. Für die abgebildeten Grauwertbereiche lässt sich die Transparenz variieren. Daraus ergibt sich eine hohe Flexibilität, die beispielsweise eine Prüfung der Einbaulage montierter Baugruppen möglich macht. Zur besseren Übersicht können die Grauwerte auf eine Farbskala abgebildet werden. Vielfältige Darstellungsmöglichkeiten stehen zur Verfügung. Durch Variation der Transferkurven in beliebigen Teilintervallen besteht auch die Möglichkeit, Grauwert- beziehungsweise Farbbereiche zur Erhöhung des Kontrasts zu spreizen.



*Der kompakte ScopeCheck® FB DZ ermöglicht Multisensor-Messungen ohne Messbereichseinschränkungen*



## ScopeCheck® FB DZ – Multisensorik jetzt noch flexibler einsetzbar

Die ScopeCheck® FB DZ Gerätereihe bietet kompakte Geräte mit großen Messbereichen. Für Multisensor-Messungen kann ein großer kombinierter Messbereich genutzt werden, bei der kleinsten Geräteversion beispielsweise 425 mm x 500 mm x 350 mm mit dem Bildverarbeitungssensor und einem konventionellen Taster. Für Messungen mit nur einem Sensor steht an diesem Gerät ein erweiterter Messbereich von bis zu 530 mm x 500 mm x 350 mm zur Verfügung. Größere Messbereiche betragen beispielsweise 1130 mm x 650 mm x 350 mm. Die neue Version des ScopeCheck® FB DZ wurde wesentlich kompakter gestaltet. Das Gerät ist nun im Vergleich zum Vorgängermodell bei gleichem Messbereich 130 mm niedriger und 250 mm kürzer. Obwohl die Gerätemasse um rund 400 kg reduziert wurde, ist das neue Gerät stabiler und verfügt über ein verbessertes Verhalten bei Umgebungsschwingungen.

Der ScopeCheck® FB DZ lässt sich von allen vier Seiten bestücken und durch Herausfahren des Messtischs wird die Zugänglichkeit noch verbessert. Mit dem neuen Durchlichtkonzept können Glastisch und Durchlichteinheit für die Messungen von schweren Werkstücken leicht demontiert werden und die Werkstücke dann direkt auf dem Messtisch aufgelegt und befestigt werden.

### Zwei Sensorachsen statt zwei Koordinatenmessgeräte

Das Gerät verfügt optional über zwei unabhängige Sensorachsen. Sowohl optische als auch taktile Messungen sowie eine optimale Kombination beider Messprinzipien sind möglich. Während der Messung mit einem Sensor bleibt die zweite Achse außerhalb des Messbereichs in Parkposition. So sind die Geometrien am Werkstück von allen Seiten ohne Kollisionsrisiko gut zugänglich. In Kombination mit der schlanken Tasterpinole ermöglicht dies auch das Eintauchen des Sensors in ein großes Werkstück. Sollte man das Gerät zunächst nur mit einer Sensorachse ausstatten, kann die zweite Achse auch später am Einsatzort nachgerüstet werden.

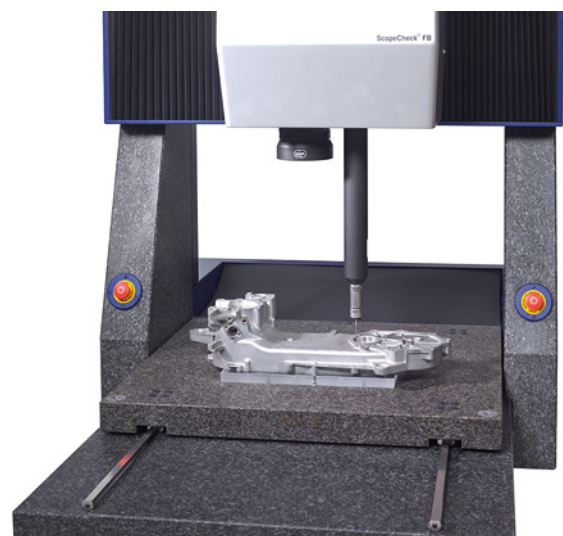
Mit dem Werth Multisensor-System lassen sich an jeder Sensorachse unterschiedlichste Sensoren anbringen. Diese werden über eine Magnetkupplung ohne Sensorversatz an derselben Position vor dem Strahlengang des Bildverarbeitungssensors aufgenommen. Um unterschiedliche Sensoren vollautomatisch einzuwechseln, steht die Werth-Wechlerrückzugsachse nun auch für den ScopeCheck® FB DZ zur Verfügung. Die Wechselstation wird nur für den Sensorwechsel über die Achsen des Koordinatenmessgeräts aus der Parkposition in den Messbereich geschoben und anschließend wieder außerhalb geparkt. Damit kann

der gesamte Messbereich für die Messung der Werkstücke genutzt werden.

### Multisensorik für jeden Einsatzbereich

Zur Grundausstattung des ScopeCheck® FB DZ gehört die bewährte Zoomoptik. Alternativ kann das Gerät mit dem patentierten Werth Zoom ausgestattet werden. Dieser erlaubt nicht nur die Wahl der Vergrößerung, sondern auch ein Anpassen des Arbeitsabstands für kollisionsfreie Messungen in tiefen Bohrungen oder von zylindrischen Werkstücken mit großem Durchmesser. Mit dem MultiRing® können zusätzlich unterschiedliche Einfallswinkel des Lichts eingestellt werden, beispielsweise um den Kontrast an flachen Kanten mit kurzem Arbeitsabstand und extrem flachem Winkel zu optimieren.

Für den ScopeCheck® FB DZ steht die gesamte Bandbreite moderner Multisensorik zur Verfügung: Der Laserabstandssensor Werth Laser Probe (WLP) ist in den Strahlengang des Bildverarbeitungssensors integriert, der Laserliniensensor (LLP) kann an einem Dreh-Schwenk-Gelenk eingesetzt werden, um große Werkstücke von allen Seiten zu messen. Auch die patentierten taktil-optischen Sensoren Werth Fiber Probe® (WFP) und Werth Contour Probe (WCP) können am ScopeCheck® FB DZ genutzt werden. Der WCP ermöglicht normkonforme Rauheitsmessungen in Werkstückkoordinaten ohne Vorzugsrichtung. Der Mikrotaster WFP® erreicht mit einer kleinen Tastkugel (Durchmesser bis 20 µm) und dem biegsamen Schaft bis zu 100-fach geringere Antastkräfte als konventionelle taktil-elektrische Taster. Damit bietet er sich für 3D-Messungen von Mikro-Geometrien und empfindlichen Oberflächen an.



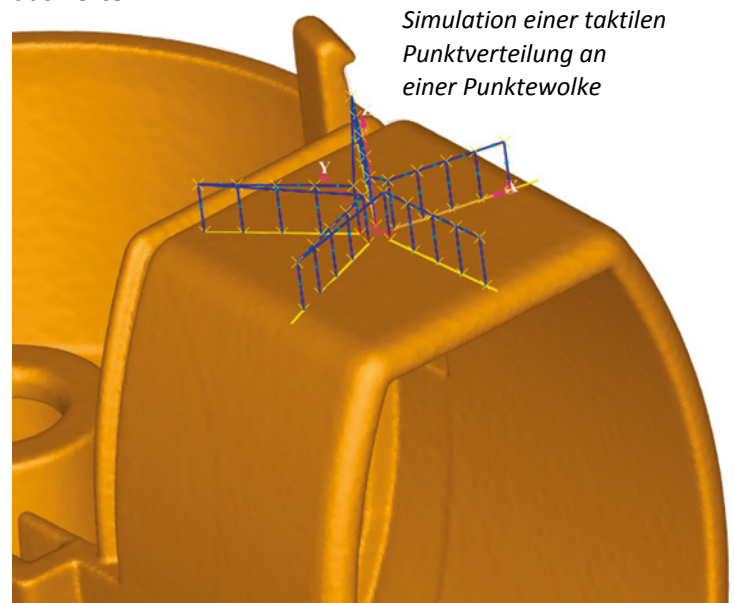
*Mit dem neuen Durchlichtkonzept können schwere Werkstücke direkt auf dem Messtisch gemessen werden*

## Taktile Messstrategien an Punktwolken

Der neue Messflecksensor ermöglicht die Simulation einer taktilen Scanbahn- oder Punktverteilung an Punktwolken. Die Messpunkte oder Scanspuren werden wie bei taktilen Sensoren von der Messsoftware WinWerth® automatisch auf den gewählten Geometrieelementen verteilt. Das Sollelement kann über Patchselektion oder Eingabe von Parametern definiert werden. Je nach Geometrieelement steht eine Vielzahl von Verteilungsstrategien auf der Grundlage von Helix, Kreisen und Mantellinien, Raster, Stern oder Spirale sowie Randkurven und Polylinien zur Verfügung. Die Scanbahn- oder Punktverteilung kann sowohl online während des interaktiven Messens am Koordinatenmessgerät als auch offline am maschinenfernen Arbeitsplatz im Büro getestet und editiert und im Online-Fall direkt angewendet werden.

Bestehende Messprogramme mit automatisch erzeugten Scanbahn- und Punktverteilungen können jetzt auch für die Auswertung von Punktwolken genutzt werden und umgekehrt. Mithilfe der neuen Funktion

lassen sich zum Beispiel Punktwolken von Verzahnungen mit dem Werth-Zahnradmessprogramm GearMeasure auswerten.



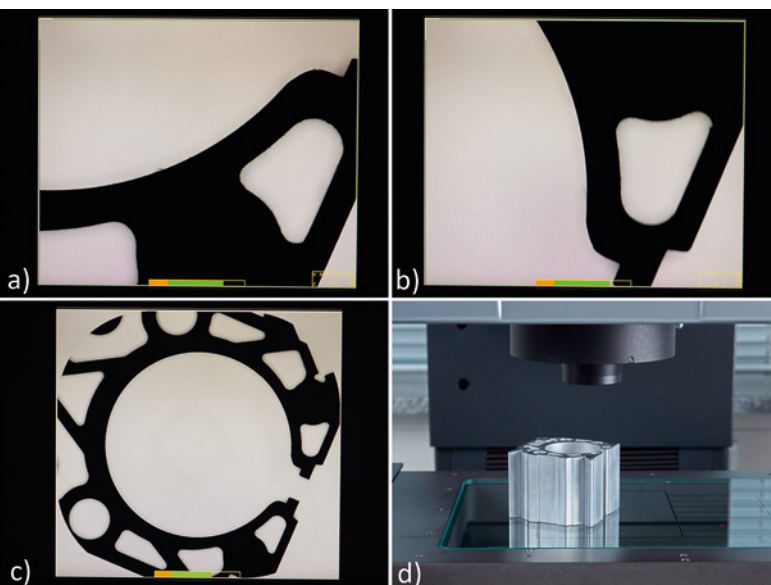
## Hohe Genauigkeit beim schnellen Messen während der Bewegung

Eine schnelle „Im Bild“-Messung im Sehfeld des Bildverarbeitungssensors ist auch bei großen Werkstücken vorteilhaft, jedoch ergeben sich Einbußen bei der Messgenauigkeit durch die mit dem großen Sehfeld verbundene geringe Vergrößerung. Raster-scanning HD ermöglicht die schnelle Erfassung eines großflächigen Gesamtbildes bei gleichzeitig hoher Genauigkeit.

Dieses Verfahren ist einzigartig im Markt: Der Bildverarbeitungssensor nimmt ohne Genauigkeitsverlust während Bewegung mit hoher Frequenz Bilder des Werkstücks auf. Alle während der Messung

aufgenommenen Einzelbilder der Kamera werden durch Resampling zu einem Gesamtbild überlagert (Patent). Hierbei erstellt die Messsoftware WinWerth® zunächst ein Pixelraster in der Größe des späteren Gesamtbildes. Die Grauwerte für die Einzelpixel werden aus den benachbarten Pixelamplituden aller überlappenden Bilder berechnet. Es entsteht ein extrem hoch aufgelöstes Gesamtbild in der Größe des gewählten Messbereichs mit bis zu 4000 Megapixeln (4 Gigapixeln). Zusätzlich zu Software-Korrekturen der Gerätegeometrie und der Optik werden Positionierungsunsicherheiten durch die Überlagerung der an unterschiedlichen Positionen erfassten Bilder minimiert.

Einerseits erreicht Raster-scanning HD eine hohe Genauigkeit durch die Messung mit hoher Vergrößerung und die Mittelung über mehrere Bilder, die das Signal-Rausch-Verhältnis verbessert. Andererseits ermöglicht die kontinuierliche Bewegung des Sensors eine extra hohe Messgeschwindigkeit.



Bildausschnitt am Anfang a) und Ende b) einer zum Beispiel kreisförmigen Vorgabebahn, Gesamtbild c) und Werkstück d)

## Förderung von Wissenschaft und Technik

Im Rahmen der jährlichen Werth-Techniktage prämierte die Dr.-Ing. Siegfried Werth Stiftung erneut wissenschaftliche Arbeiten zur dimensionellen Messtechnik. Laut Axel Hoffmann von der staatlichen Fachhochschule in Frankfurt am Main war der Techniktage in Gießen „eine sehr gelungene Veranstaltung. Die Vorträge waren von hoher Qualität, kurzweilig, verständlich und zeigten beeindruckend den Stand der heutigen Messtechnik.“

Zur Nachwuchsförderung finanziert die Werth Messtechnik GmbH gemeinsam mit 11 weiteren Unternehmen aus der Region Mittelhessen ab 2018 eine Stiftungsprofessur für Optik und Optische Technologien an der Technischen Hochschule Mittelhessen (THM).



*Preisverleihung auf dem Werth-Techniktage: v. l. Hr. Peter Hornberger, Technische Hochschule Deggendorf, Preisträger B. Eng. Anton Sigl, Hr. Arno Fink, Kuratoriums-vorsitzender der Werth Stiftung, Preisträger Dr.-Ing. Marc Fischer, Prof. Dr.-Ing. Rainer Tutsch, Technische Universität Braunschweig, Dr.-Ing. habil. Ralf Christoph, Inhaber und Geschäftsführer der Werth Messtechnik GmbH*



## Werth Messtechnik Österreich

2017 wurde mit der Gründung der Werth Messtechnik Österreich ein wichtiger Schritt zur weiteren Optimierung der Kundenbetreuung unternommen. Das Tochterunternehmen wird sich um alle Anliegen in den Bereichen Vertrieb, Service und Applikation kümmern sowie den Kontakt zum Stammhaus in Deutschland aufrechterhalten.



## Neuer Partner in der Türkei

Die 2013 gegründete INSTRO Co., Ltd. ist auf Herstellung und Vertrieb von Präzisionsmessgeräten spezialisiert. Die Firma verfügt über Büros in Istanbul und Ankara und hat im Oktober 2017 Vertrieb und Service für die Werth-Koordinatenmessgeräte übernommen.

*Barış Odabaşı, Geschäftsführer der INSTRO Co., Ltd., mit dem Werth-Gebietsverkaufsleiter Tobias Schröder (rechts)*

*Thomas Burgstaller, Geschäftsführer der Werth Messtechnik Österreich GmbH*



## Innovationspreis für TomoScope® XS

Ende 2017 fand die 59. Internationale Maschinenbau-messe in Brünn mit mehr als 1600 Ausstellern aus 32 Ländern in der Tschechischen Republik statt. Das Werth TomoScope® XS erhielt die Goldmedaille der MSV in der Kategorie „Innovation in der Automatisierungstechnik“. Die Preisverleihung erfolgte in Gegenwart wichtiger Vertreter aus Wirtschaft und Politik.

*Das TomoScope® XS vereint in einzigartiger Weise die Vorteile verschiedener Geräteklassen*

## Impressum

V.i.S.d.P.: Dr.-Ing. Schirin Heidari Bateni  
Der **Multisensor** ist die Hauszeitung der  
Werth Messtechnik GmbH  
Siemensstraße 19, 35394 Gießen  
Telefon: +49 641 7938-0, Fax: +49 641 7938-719  
[www.werth.de](http://www.werth.de), [mail@werth.de](mailto:mail@werth.de)

