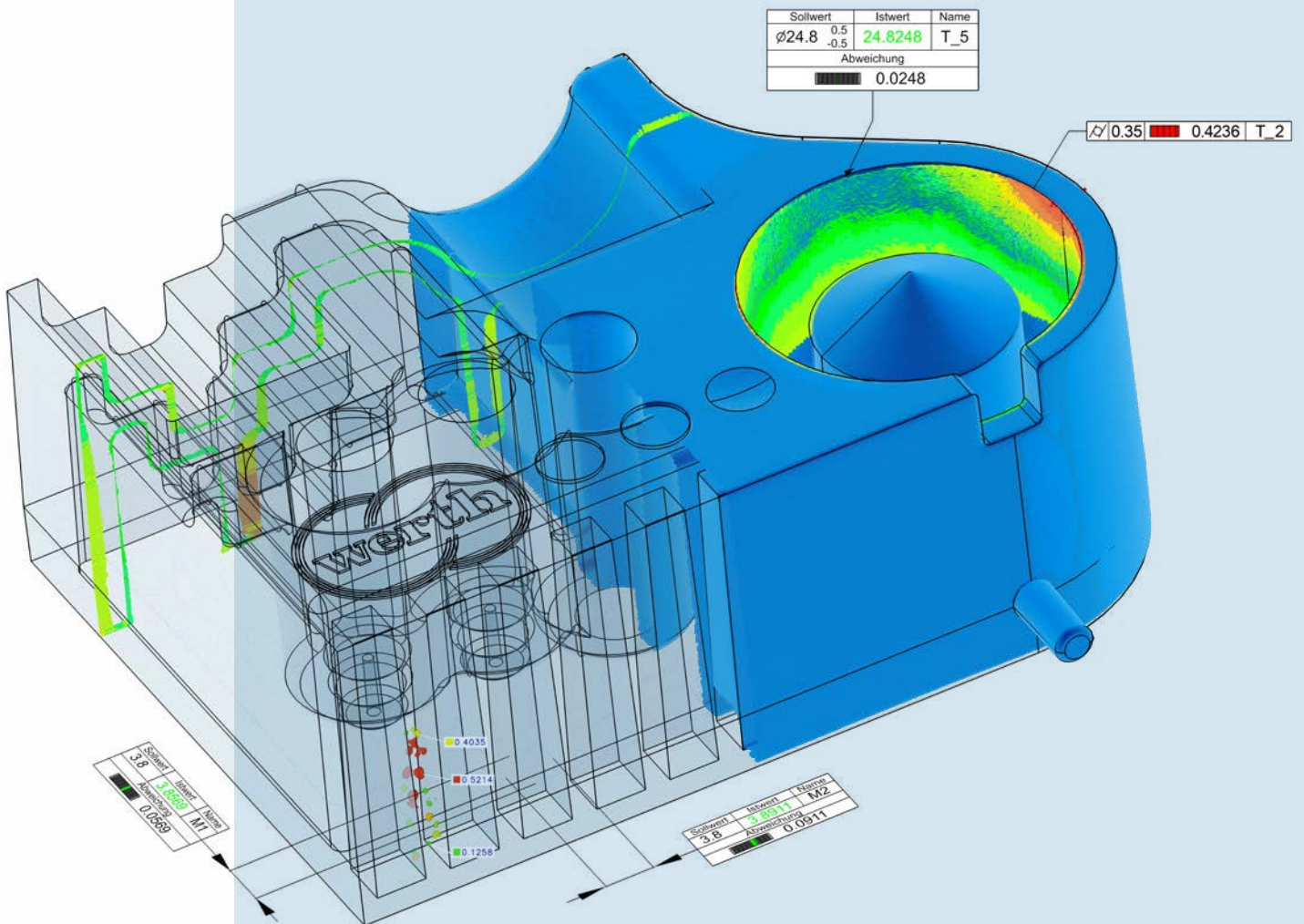


# Multisensor

Innovative Messtechnik für Ihre Qualitätsprodukte





Titelbild: Die Messsoftware WinWerth® bietet vielfältige Auswertmöglichkeiten für Volumendaten und Messpunktewolken. Neben den gemessenen Werkstücken und den CAD-Daten können zum Beispiel die Abweichungen aus einem Soll-Ist-Vergleich dreidimensional oder als 2D-Schnitte farbcodiert dargestellt werden. Einschlüsse im Volumen werden visualisiert sowie die gemessenen geometrischen Eigenschaften als Bemaßung angezeigt.

Die ScopeCheck® FB DZ Gerätefamilie steht jetzt auch mit größeren Messbereichen für Multisensor-Messungen ohne Einschränkung mit zwei oder drei unabhängigen Sensorachsen zur Verfügung.

# Optische Sensoren, Röntgentomografie und Multisensorik weiter auf dem Vormarsch

Die fortschreitende Digitalisierung und Automatisierung der Fertigung wirken sich auch auf die Messtechnik aus. Durch detaillierte, aus vielen Messpunkten erstellte digitale Werkstückmodelle sind optische Sensortechnik und Röntgen-Computertomografie (CT) heute gegenüber herkömmlichen Tastern häufig im Vorteil. Wir freuen uns, als Ergebnis einer dynamischen Weiterentwicklung in diesem Jahr unter anderem zwei neue Koordinatenmessgeräte sowie einen neuen Sensor vorstellen zu können.

Das neue TomoScope® XS FOV ermöglicht vollständig automatische Messungen mit Röntgentomografie. Mit dem dritten Modell der leistungsstarken und kompakten Gerätefamilie TomoScope® XS bietet Werth nun Röntgentomografie zum Preis von kleinen konventionellen 3D-Koordinatenmessgeräten. Wie alle TomoScope® Geräte steht es auch als FQ-Variante für schnelle Inline- und Atline-Anwendungen zur Verfügung. Mit dem Erfolg der TomoScope® XS Gerätefamilie hat sich unsere Erwartung von 2017 erfüllt, dass diese Kompaktgeräte der breiten Einführung der CT-Technik im Messraum und der Fertigung den Weg ebnen würden.

Die Multisensor-Gerätefamilie ScopeCheck® FB DZ mit dem flexiblen Mehrpinolenkonzept wurde weiter ausgebaut und steht jetzt mit deutlich größeren Messbereichen zur Verfügung. Durch zwei oder sogar drei unabhängige Sensorachsen lassen sich Multisensor-Messungen ohne Einschränkung durchführen. Die Integration mehrerer Messprinzipien in einem Sensor erhöht die Flexibilität und Ergonomie der Messgeräte. Der neue Chromatic Focus Zoom CFZ kombiniert die zwei leistungsstarken Werth-Sensoren Bildverarbeitung mit Zoom und CFP zum berührungslosen Messen mit hoher Genauigkeit und hoher Geschwindigkeit in allen drei Raumrichtungen.

Die Messsoftware WinWerth® wurde im vergangenen Jahr wieder um viele Funktionen erweitert. Einen Schwerpunkt bildeten dabei die Auswertung von CT-Messungen wie das Bestimmen von Gärten, Optimierungen der Inline-Anwendung oder die automatische Mehr-Objekt-Tomografie. Mit der in WinWerth® integrierten produktionsgerechten Bedienoberfläche Scout (siehe Seite 24) können die Messergebnisse als Zahlen oder 3D-Grafik einfach von mehreren Arbeitsplätzen im gesamten Netzwerk aus eingesehen werden.

Neben weiteren technischen Neuheiten und Anwenderberichten stellen wir in der aktuellen Ausgabe des „Multisensor“ einige unserer Tochterunternehmen und Vertriebspartner im Ausland vor. Einen Blick hinter die Kulissen erlauben wieder einige unserer Mitarbeiter des Stammhauses in Gießen, wo nach wie vor alle Werth-Koordinatenmessgeräte nach höchsten Qualitätsanforderungen hergestellt werden.

Durch die aktuelle Situation müssen wir auf die persönlichen Gespräche auf den Messen verzichten, die uns sonst viele Anregungen und Anknüpfungspunkte für neue Projekte in den verschiedenen Branchen gegeben haben. Die Produktneuheiten des Jahres 2020 präsentieren wir Ihnen gern in unserem Vorfürzentrum oder ebenfalls „live“ in Online-Demonstrationen. Diese werden auf Ihre Anforderungen zugeschnitten und unsere Experten beantworten gern Ihre Fragen. Wir sind optimistisch, auch in diesen schwierigen Zeiten zum Erfolg unserer Kunden beitragen zu können. Das Werth-Team freut sich auf weiterhin gute Zusammenarbeit.



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

# Inhalt

## Neues zur Multisensorik

- 07 Das bewährte Mehrpinolenkonzept, jetzt auch für große Werkstücke
- 08 Chromatic Focus Zoom – der neue Multisensor
- 10 Vorteile unterschiedlicher Drehachstypen gemeinsam nutzen
- 11 Automatische Erzeugung von Messabläufen
- 12 Werth APR – Sensorik automatisch erkennen und Messungen sicher umsetzen

## Werth-Fachartikel



- 15 Hochgenaue Messtechnik für die Fertigung optischer Funktionsflächen

## Neues zur Computertomografie



### 19 Röntgentomografie zum Preis von konventionellen 3D-Koordinatenmessgeräten

- 20 Mehr-Objekt-Messungen perfektioniert
- 21 Steuerung des Messablaufs über Texterkennung
- 22 Graterkennung am CT-Volumen
- 23 Schnelle visuelle Beurteilung des Werkstücks mit erweiterter farbcodierter Abweichungsdarstellung
- 24 Mit WinWerth® Scout in der Produktion gezielt auf Messergebnisse zugreifen
- 25 Multisensor-Tomografie – zwei Messungen mit einem Ergebnis
- 26 Alle TomoScope® Geräte jetzt auch als „FQ“-Variante

## Werth-Anwenderreportage

- 29 CT-Kompaktgerät ersetzt konventionelle 3D-Koordinatenmesstechnik

## Neues zur Werth-Gruppe

- 33 Auslandsvertretungen stellen sich vor – Werth Inc. USA
- 34 Service-Außendienst CT
- 35 Montage Werth Zoom



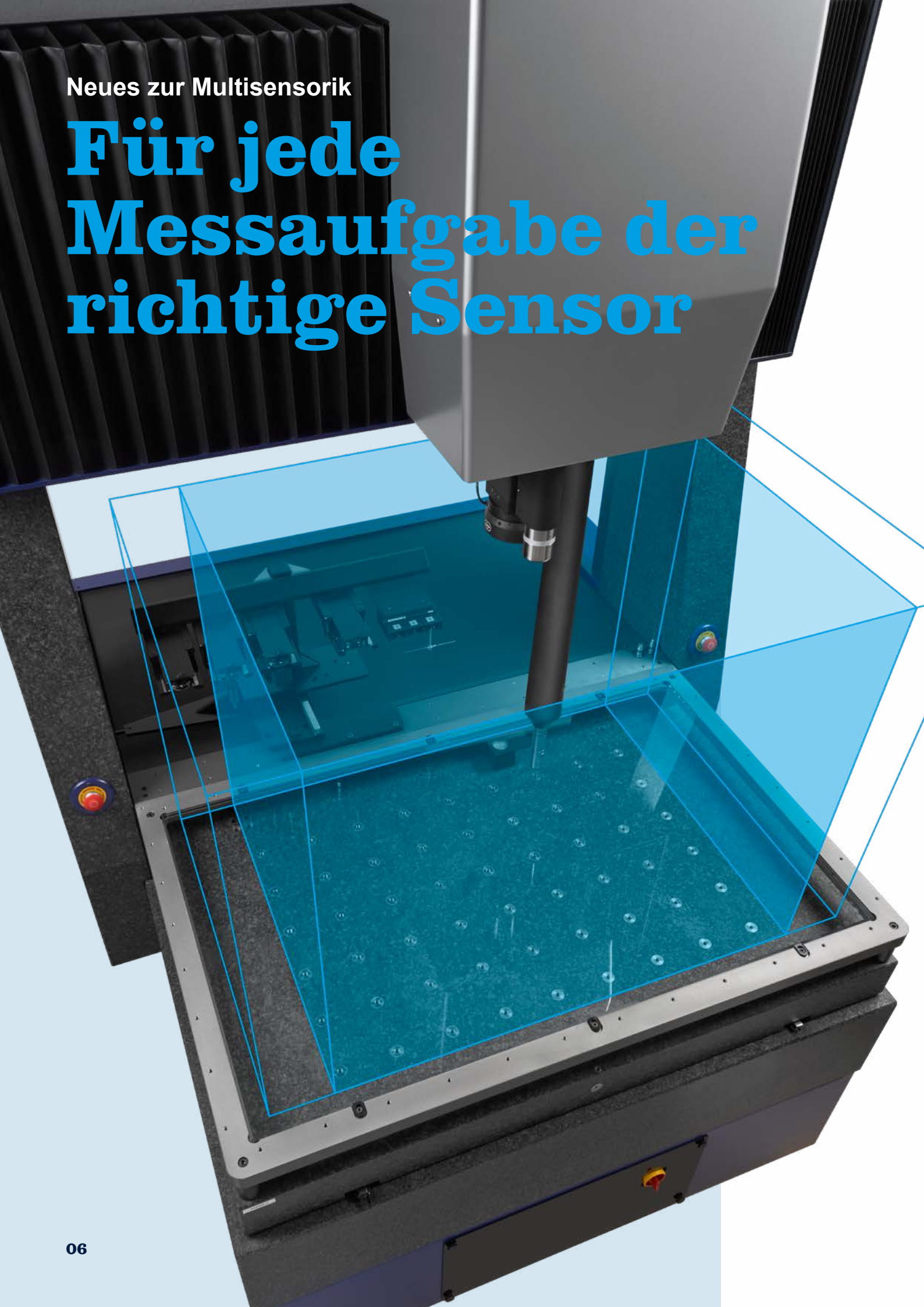
### 36 Ausbildung Koordinatenmesstechnik bei Werth

- 38 Kurz notiert



Neues zur Multisensorik

# Für jede Messaufgabe der richtige Sensor



## Das bewährte Mehrpinolenkonzept, jetzt auch für große Werkstücke

Multisensor-Koordinatenmessgeräte mit mehreren unabhängigen Sensorachsen gewährleisten einen optimalen Bedienkomfort und ermöglichen Multisensor-Messungen ohne Einschränkung. Das neue Messgerät der Baureihe ScopeCheck® FB DZ vereint große Messbereiche mit höchster Flexibilität und Präzision.

Werth Messtechnik hat die Geräteserie ScopeCheck® FB DZ weiter ausgebaut. Das bewährte Mehrpinolenkonzept steht jetzt auch für große Werkstücke zur Verfügung. Unterschiedliche Sensoren, beispielsweise der patentierte Werth Zoom mit integriertem Werth Laser Probe, der taktil-optische Contour Probe und konventionelle Scanning-Taster, können an zwei unabhängigen Sensorachsen genutzt werden. Während mit dem ersten Sensor an einer Pinole Messungen durchgeführt werden, befindet sich die andere Pinole außerhalb des Messbereichs in Parkposition. Bei Bedarf ist optional auch eine dritte Pinole für einen weiteren separaten Sensor verfügbar. So lassen sich Multisensor-Messungen ohne Einschränkung durchführen. Kollisionen werden vermieden.

Der ScopeCheck® FB DZ steht jetzt mit großen Messbereichen von 530 mm × 500 mm × 350 mm bis 2130 mm × 1000 mm × 600 mm zur Verfügung. Mit Einführung der neuen Gerätevarianten wurde der bisher verfügbare maximale Messbereich fast verdoppelt, sodass sich die Geräte der „FB DZ“-Reihe nun auch für relativ große Werkstücke wie Kraftfahrzeug-Karosserieteile, Kunststoffgehäuse, komplette Kraftfahrzeugscheinwerfer, Industriesiebe sowie Dreh- und Frästeile eignen. Je nach Anwendung kann das passende Grundgerät ausgewählt und nach individuellen Bedürfnissen mit den am besten geeigneten Sensoren ausgestattet werden. Zusätzlich besteht die Möglichkeit den Glastisch und die Durchlichteinheit zu demontieren. Hierdurch ist es möglich, besonders schwere Messobjekte oder Vorrichtungen direkt auf den Messtisch aufzulegen bzw. zu montieren.

Der ScopeCheck® FB DZ mit großem kombinierten Messbereich für Multisensor-Messungen (blau) vereint die Vorteile von konventionellen taktilen, optischen und Multisensor-Koordinatenmessgeräten

### Flexibilität und Wirtschaftlichkeit

Die Bauweise mit fester Brücke auf Hartgesteinsbasis sorgt für höchste Genauigkeit. Durch robuste mechanische Präzisionsführungen an Stelle von Luftlagern ist der ScopeCheck® FB DZ ideal für den fertigungsnahen Einsatz ausgestattet. Er lässt sich von allen vier Seiten bestücken. Durch Herausfahren des Messtischs aus dem Portal wird die Zugänglichkeit noch verbessert. Die Geräteserie vereint perfekt die Vorteile von konventionellen taktilen, optischen und Multisensor-Koordinatenmessgeräten.

Die Multisensorik ermöglicht die Durchführung aller Messungen mit nur einem Gerät. Die Messergebnisse der verschiedenen Sensoren stehen im selben Koordinatensystem zur Verfügung und können hochgenau miteinander verknüpft werden, um die geometrischen Eigenschaften des jeweiligen Werkstücks zu bestimmen. Diese stehen in digitaler Form bereit und lassen sich so zwischen verschiedenen Abteilungen austauschen oder mit dem fertigen Produkt an den Kunden weitergeben. Aufgrund des modularen Aufbaus der Geräte ist die Nachrüstung zusätzlicher Sensoren kein Problem, sodass diese auch noch nach Jahren an aktuelle Messaufgaben angepasst werden können.

Ein wichtiger Faktor bei der Wirtschaftlichkeit eines Koordinatenmessgeräts ist die benötigte Messzeit. Diese lässt sich durch den Einsatz zweier unabhängiger Sensorachsen deutlich reduzieren, da die Sensorwechselläufe entfallen. Der jeweilige Sensor braucht nicht aus einer Wechselstation geholt zu werden, sondern kann bei Aktivierung direkt seine Parkposition verlassen und mit der Messung am Werkstück beginnen. Dies reduziert die Messzeit im Multisensorbetrieb erheblich.

# Chromatic Focus Zoom – der neue Multisensor

Durch die Kombination mehrerer Sensoren zu einem Multisensor werden die Kosten gesenkt und die Bedienung vereinfacht. Der neue Chromatic Focus Zoom bietet eine hohe Flexibilität und Genauigkeit für berührungslose Messungen ohne Sensorversatz in allen drei Raumrichtungen.

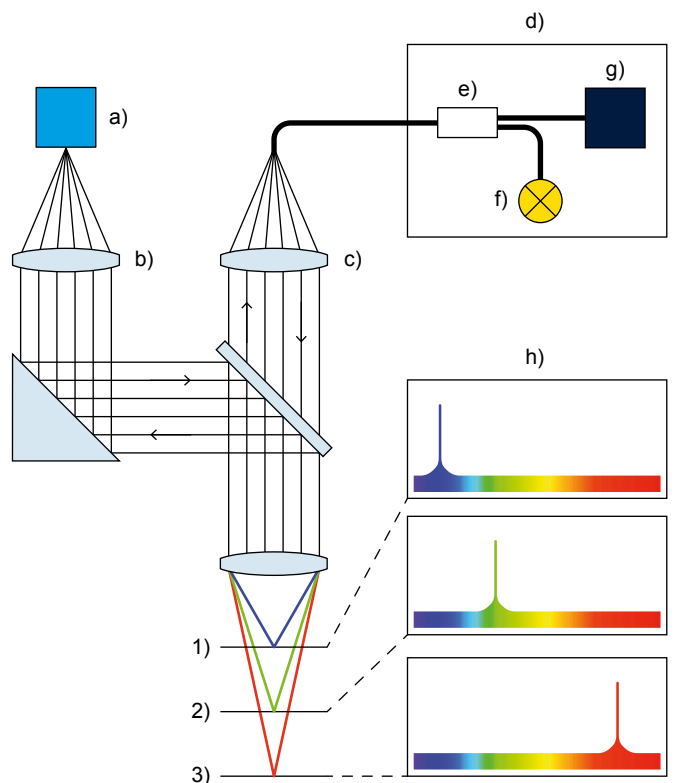
Nach der Integration des Werth Laser Probe WLP in den Werth Zoom (Patent) und dem Werth Multisensor-System präsentiert Werth Messtechnik nun einen weiteren Multisensor: Für den patentierten Chromatic Focus Zoom (CFZ) wurde ein chromatischer Abstandssensor mit einer telezentrischen Zoomoptik vereint. Die Zoomoptik ermöglicht bei niedriger Vergrößerung eine gute Übersicht und schnelle „Im Bild“-Messungen sowie parallel dazu hochgenaue Messungen bei hoher Vergrößerung. Der CFZ verfügt über einen Zoom, der es erlaubt das Sehfeld von ca. 10 mm x 8 mm um nahezu den Faktor 20 zu verkleinern und dabei die Auflösung im Bild für das Messen kleinster Details entsprechend zu erhöhen. Durchlicht sowie Hellfeld- und Dunkelfeld-Auflicht ermöglichen eine kontrastreiche Beleuchtung unterschiedlicher Werkstücke. Bei telezentrischen Objektiven bewirkt eine Blende im Strahlengang, dass die Bildgröße innerhalb des Telezentriebereichs nahezu konstant bleibt. So sind die Messabweichungen bei unbemerkter geringer Defokussierung vernachlässigbar.

Chromatische Abstandssensoren projizieren mit Hilfe eines Spezialobjektivs weißes Licht auf die Werkstückoberfläche. Anhand der unterschiedlichen Fokusebenen für die verschiedenen Wellenlängen wird der Abstand zwischen Sensor und Werkstück bestimmt. Das Sensorprinzip bietet eine hohe Genauigkeit in Kombination mit einer weitgehenden Unabhängigkeit von der Werkstückoberfläche. Auch relativ stark geneigte, spiegelnde und transparente Oberflächen können sicher gemessen werden. Der große Messbereich ermöglicht zudem eine hohe Messgeschwindigkeit durch schnelles Scanning ohne Nachführen des Sensors.

Der patentierte Multisensor Chromatic Focus Zoom CFZ: Kamera (a) und Abbildungsoptik (b) des Bildverarbeitungssensors (vereinfacht, Beleuchtung nicht dargestellt) sind über einen Strahlteiler mit der Abbildungsoptik des Abstandssensors Chromatic Focus Point (c) kombiniert. Über eine lange Lichtleitfaser ist der Messkopf mit der Auswerteeinheit (d) verbunden und über einen Faserkoppler (e) an die breitbandige Weißlichtquelle (f) und das Spektrometer (g) angeschlossen. Die Spektren (h) repräsentieren den Abstand des Objekts (Position 1, 2 und 3) zum Messkopf.

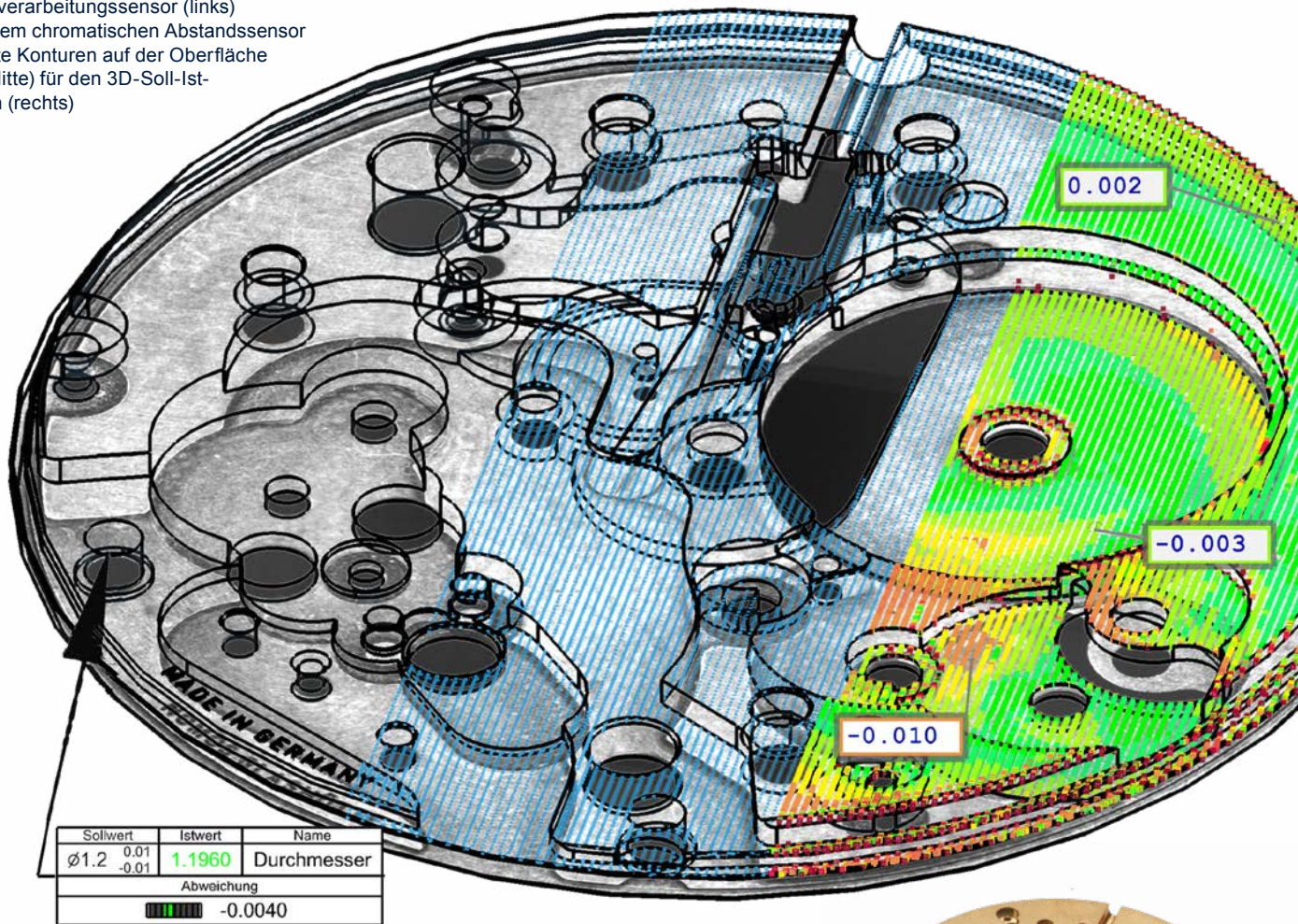
## Kombination zweier Hochleistungs-Sensoren

Mit den unterschiedlichen Sensorprinzipien verfügt der neue Multisensor über eine hohe Flexibilität. Der Bildverarbeitungssensor ist der geeignete Sensor für Messungen in der Ebene (senkrecht zur optischen Achse). Mit dem Chromatic Focus Point (CFP) werden Abstandsmessungen entlang der optischen Achse durchgeführt. Die Kombination von Hochleistungs-Bildverarbeitung und Hochleistungs-Abstandssensor ermöglicht berührungslose Messungen mit hoher Genauigkeit und Messgeschwindigkeit in allen drei Raumrichtungen.





Hochgenaue Messungen in der Ebene mit dem Bildverarbeitungssensor (links) und mit dem chromatischen Abstandssensor gescannte Konturen auf der Oberfläche (blau – Mitte) für den 3D-Soll-Ist-Vergleich (rechts)



Da Positionierungen beim Umschalten entfallen, ist ein schneller Sensorwechsel von der Bildverarbeitung auf die Abstandssensorik möglich. Außerdem ist der Sensorversatz in allen drei Raumrichtungen vernachlässigbar, sodass das gesamte Messvolumen des Koordinatenmessgeräts für kombinierte Messungen mit beiden Sensoren zur Verfügung steht. Die kompakte Anordnung der Sensorik minimiert Messabweichungen auf Grund von temperaturbedingten Änderungen des Sensorversatzes. Hierdurch werden Multisensormessungen auch unter Fertigungsbedingungen genauer als bei konventionellen Multisensormessgeräten mit Sensoren an verschiedenen Positionen.

Der CFZ ist einfach zu bedienen: Mit Hilfe der Bildverarbeitung kann der Messfleck des CFP auf dem Werkstück visualisiert werden. Auch das Kollisionsrisiko ist verringert und der Messbereich wird nicht durch den konventionell in Abstand montierten zweiten Sensor eingeschränkt. Zudem fallen die Gesamtkosten geringer aus. Zum einen muss nur ein Sensor an Stelle von zweien angeschafft werden, zum anderen kann der geforderte Multisensor-Messbereich mit einem kleineren Gerät erreicht werden. Hierdurch wird auch wertvoller Aufstellplatz eingespart.



### Vielfältige Einsatzbereiche

Der Chromatic Focus Zoom ermöglicht sowohl das automatische Erfassen des gesamten Werkstücks mit Rasterscanning HD als auch die Abbildung der Werkstückoberfläche in einer 3D-Messpunktewolke, beispielsweise für Ebenheitsmessungen. Der neue Sensor eignet sich besonders gut für Messungen an Glasdisplays. An den Displays können Markierungen mit dem Bildverarbeitungssensor gemessen und Freiformflächen mit dem CFP erfasst werden. Viele andere Messaufgaben aus der Medizintechnik, dem Automobilbau und anderen Branchen werden durch den neuen Sensor besser lösbar. Mit dem patentierten HD-Rasterscanning nimmt der Bildverarbeitungssensor ein Bild des kompletten Werkstücks auf und mit dem CFP werden Abstands- und Konturmessungen durchgeführt.



Hüllkonturscanning mit V Pro: Die Wirkkontur des Werkzeugs wird ohne Ausrichtvorgänge in Bezug zum Schaft gemessen.



## Vorteile unterschiedlicher Drehachstypen gemeinsam nutzen

Mit einer Drehachse können rotationssymmetrische Werkstücke sowie kubische Werkstücke in verschiedenen Ansichten in nur einer Aufspannung gemessen werden. Die Werkstücke werden im Normalfall zwischen Spitzen oder in Spannfuttern aufgenommen. Ein reproduzierbares Spannen ohne Rundlaufabweichungen (umgangssprachlich Taumelfehler) erreicht man nur mit teuren Spannmitteln und durch ein zusätzliches zeitintensives Einmessen der Werkstücklage.

Für Werkzeuge mit zylindrischem Schaft, wie zum Beispiel Kugelfräser, bietet die Werth Schaft-Drehvorrichtung V Pro die perfekte Lösung. Durch das Einlegen in zwei V-Nuten und Rotation des Werkstücks über ein Reibrad vermeidet man aufspannungsbedingte Rundlaufabweichungen, da das Werkzeug beim Drehen über die zylindrische Schaftfläche geführt wird. Daraus ergibt sich eine hohe Reproduzierbarkeit bei der Messung der Schneiden und der Hüllkontur, die der Wirkkontur des Werkzeugs beim Einsatz entspricht. Zudem benötigt die V Pro keine Spannfutter und ist somit kostengünstiger. Sie ist einfach zu handhaben, da die Werkstücke, inklusive Zoll- und Zwischenmaßen, ohne Adaption spannbar sind.



Messung von Innenkontur und Teilungsabweichungen mit konventioneller Drehachse und integrierter Werth-Taumelkorrektur

Bei einer hochwertigen konventionellen Drehachse ist die Teilungsgenauigkeit auf Grund der eingesetzten Winkelmesssysteme sehr gut und das Werkzeug wird direkt über das Spannfutter gedreht. Nach dem Einmessen des Werkstücks sind mit Hilfe der WinWerth® Taumelfehlerkorrektur die verschiedenen geometrischen Eigenschaften wie Span- oder Freiwinkel von Werkzeugen oder Teilungsabmessungen exakt messbar. Der Nachteil liegt in den höheren Anschaffungskosten und in höherem Messaufwand, weil der Taumelfehler aus der Werkstückeinspannung für die Softwarekorrektur zunächst eingemessen werden muss. Für reine Rundlauf- oder Hüllkonturmessungen ist die V Pro optimal. Sollen auch Teilungsmessungen durchgeführt werden, benötigt man konventionelle Drehachsen.

Bisher konnte auf Werth-Koordinatenmessgeräten nur jeweils eine Drehachse betrieben werden. Jetzt ist es möglich, die beiden unterschiedlichen Drehachssysteme gemeinsam auf demselben Gerät einzusetzen. Sowohl im TeachEdit-Modus der Messsoftware WinWerth® als auch per DMIS-Befehl kann zwischen den beiden Achsen umgeschaltet werden. So lassen sich die Vorteile beider Achsen nutzen. Insbesondere bei Werkzeuganwendungen können alle geometrischen Eigenschaften des Werkzeugs automatisch mit der jeweils dafür am besten geeigneten Achse gemessen werden. Hierzu wird das Werkzeug durch den Bediener oder einen Roboter umgespannt. Bei Serienmessungen besteht die Möglichkeit, zunächst beide Achsen parallel zu bestücken und die gewünschten Parameter in nur einem Messablauf zu messen. Nach dem Umspannen werden die Werkzeuge auf der jeweils anderen Drehachse gemessen. So spart man Zeit und Aufwand, da die Automatikmessung nicht ständig unterbrochen werden muss. Die Kombination von V Pro und konventioneller Drehachse wird für Werkzeugmessungen besonders gut durch das Softwarepaket Precision Tool Pro unterstützt.

## Automatische Erzeugung von Messabläufen

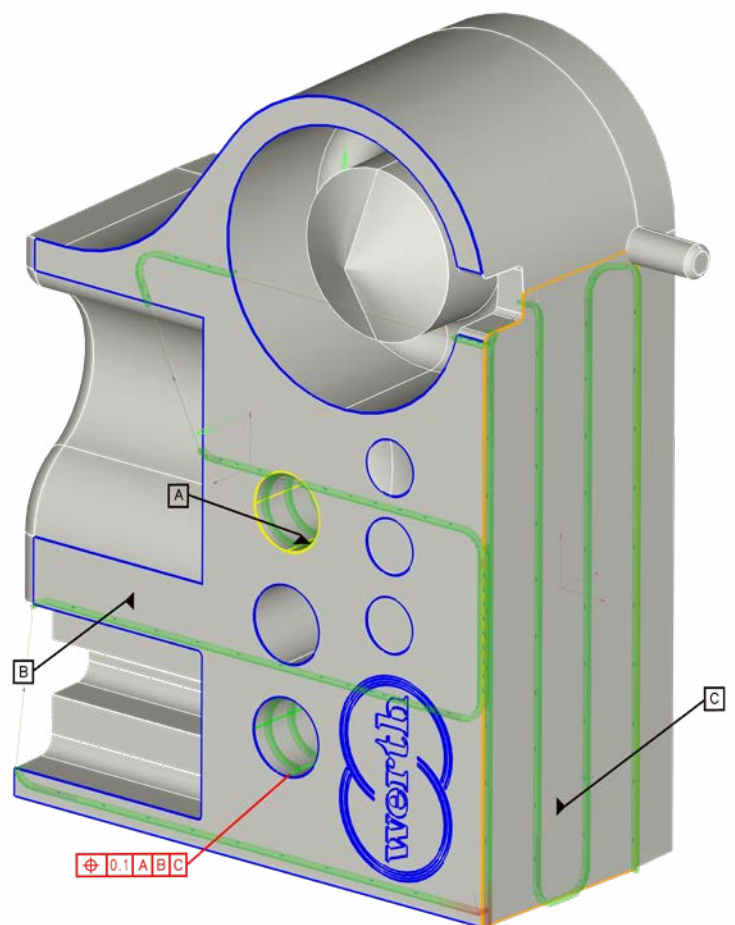
CAD-Modelle mit PMI-Daten enthalten Bemaßungen inklusive Toleranzen und Bezugselementen. In der Messsoftware WinWerth® existieren zwei Varianten für das Erstellen von Messabläufen mit PMI-Unterstützung.

Meist enthalten PMI-Daten (Product and Manufacturing Information) nicht alle für die Messung notwendigen Informationen. Dies betrifft zum Beispiel die Sensorauswahl oder Technologie-Parameter wie die Vergrößerung des Zooms oder den Tastkugeldurchmesser. Auch sind häufig Bemaßungen zu modifizieren oder zu ergänzen. Werth ermöglicht deshalb eine interaktive Nutzung der PMI-Daten zur Vereinfachung der Messabläuferstellung. Hierzu wählt der Anwender zunächst den Sensor und die Messparameter. Durch Anklicken der PMI-Daten einer geometrischen Eigenschaft werden vollautomatisch zum Beispiel Scanbahn- oder Punktverteilungen für den Sensor auf den Quellelementen generiert, die sich bei Bedarf editieren lassen. Nach Klick auf die Schaltfläche „Messen“ erfolgt die Ausgabe der geometrischen Eigenschaft. Auf diese Weise werden die notwendigen Elemente gemessen und alle geometrischen Eigenschaften des Werkstücks aus den Messergebnissen berechnet.

Die vollautomatische Erzeugung von Standardmessabläufen ist ebenfalls möglich. Voraussetzung ist, dass zu jeder definierten geometrischen Eigenschaft sämtliche Parameter in den PMI-Daten festgelegt sind. Dies betrifft sowohl den zu verwendenden Sensor wie Bildverarbeitung, Laser oder Taster und die zugehörigen Sensorparameter wie Vergrößerung, Beleuchtung oder Antastmethode als auch Informationen zu Messstrategien wie Punktverteilung oder eventuell vorgesehene Filter. Nach Klick auf „Messablauf automatisch generieren“ werden Scanbahn- oder Punktverteilungen auf den Quellelementen generiert, die Elemente gemessen, alle geometrischen Eigenschaften des Werkstücks aus den Messergebnissen berechnet und der so erstellte DMIS-Messablauf gespeichert. Falls gewünscht, kann der Messablauf durch konventionelle Bedienung erweitert und geändert werden.

Die Messabläuferstellung mit PMI-Daten steht für den Bildverarbeitungssensor, schaltende und messende Taster, die patentierten Sensoren Werth Fiber Probe® und Werth Laser Probe, Chromatic Focus Point und Line sowie den Röntgentomografie-Sensor zur Verfügung. Liegen keine CAD-Modelle mit PMI-Daten vor, können die Bemaßungen nachträglich von der Qualitätssicherung ergänzt werden, sodass sich die CAD-Modelle zur einheitlichen Prüflänggestaltung

an verschiedenen Messgeräten nutzen lassen. Alternativ ermöglicht das WinWerth® PMI-Modul den Werth-Anwendungsingenieuren, Algorithmen für die Messung kundenspezifischer geometrischer Eigenschaften mit PMI-Daten zu hinterlegen. In einem Kundenprojekt wurde so zum Beispiel die vollständig parametrisierte Messung von Werkzeugen realisiert. PMI-Daten beschleunigen die Messabläuferstellung und durch die Standardisierung der Messprozesse werden Bedienfehler minimiert.



Die Messung der Positionsabweichung einer Bohrung erfolgt durch einfaches Anklicken der PMI-Daten. Die Bezugselemente, eine weitere Bohrung (A) und zwei Flächen (B, C), werden automatisch erkannt.

## Werth APR – Sensorik automatisch erkennen und Messungen sicher umsetzen

Multisensorik erhöht die Flexibilität im Messprozess. Die neue Werth APR sorgt durch automatische Erkennung von Art, Position und Korrekturdaten des Sensors für sichere Messprozesse.

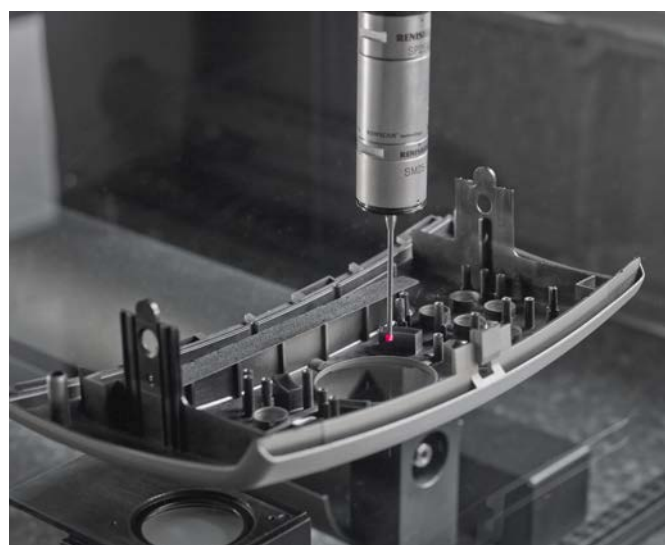
Optische Sensoren zeichnen sich durch das Erfassen vieler Messpunkte in kurzer Zeit aus. Kleine und empfindliche Werkstücke können berührungslos und ohne Aufspannen gemessen werden. Das Kollisionsrisiko ist minimal. Damit entfallen auch Positionierungen zum Umfahren des Werkstücks, sodass die Messzeit weiter verringert wird. Soll das Werkstück weitgehend oberflächenunabhängig und aus allen Richtungen dreidimensional gemessen werden, müssen häufig auch taktile Sensoren für Multisensor-Messungen herangezogen werden. Ein besonderer Taster ist der wohl weltweit am häufigsten eingesetzte, patentierte Mikrotaster Werth Fiber Probe® (WFP). Dieser taktil-optische Sensor verfügt über eine bis zu 20 µm kleine Glaskugel als Tastelement.

Auch für konventionelle taktil-elektrische Sensoren benötigt man oft Taster mit unterschiedlich langen Schäften und verschiedenen Durchmessern des Tastelements. Unterschiedliche geometrische Eigenschaften des Werkstücks werden meist durch Kombination verschiedener Taster in einem Messablauf gemessen. Die hierfür notwendigen Wechselstationen werden im Normalfall innerhalb des Messbereichs des Gerätes montiert, lassen sich aber auch mit Hilfe der Werth Rückzugsachse außerhalb des Messbereichs positionieren und beschränken damit den zur Verfügung stehenden Messbereich nicht. Ein gängiger taktiler Sensor ist der SP25, der üblicherweise mit FCR25-Wechselstationen kombiniert wird. Die korrekte Bestückung der Wechselstationen mit den verschiedenen Tastern ist eine wichtige Voraussetzung für störungsfreie Messabläufe. Wird zum Beispiel ein Taster mit zu langem Schaft eingewechselt, kann es nicht nur zu Fehlmessungen, sondern auch zu Kollisionen mit dem Werkstück kommen.

Schnelle Werkstückausrichtung und 3D-Konturmessungen mit Bildverarbeitung und dem patentierten Werth Zoom mit integriertem Werth Laser Probe (oben)

Messen von Mikrogeometrien mit dem patentierten Werth Fiber Probe® (Mitte)

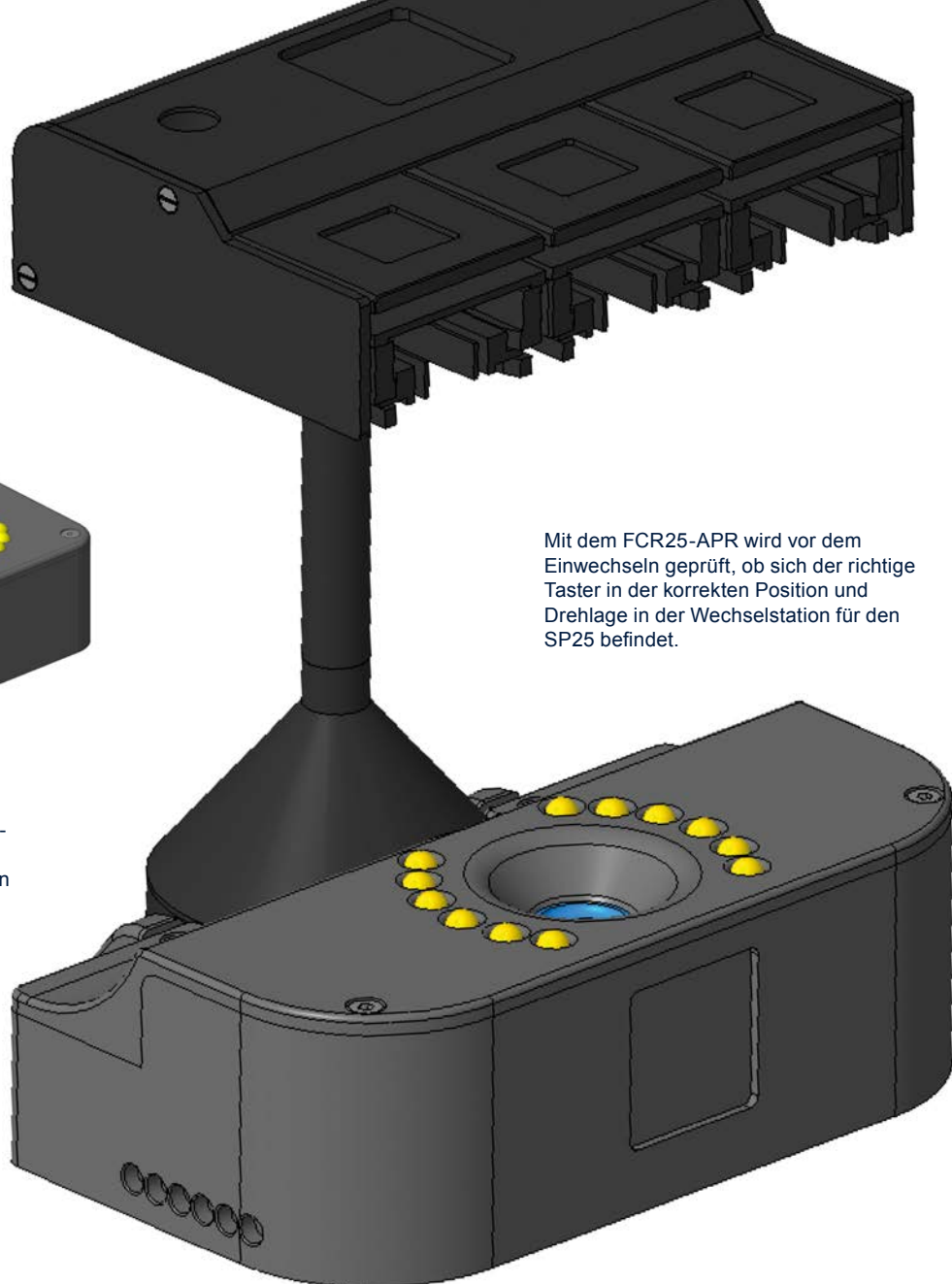
Scanning in Bohrungen verschiedener Größe mit konventionellen Tastern (unten)







Das separat montierte APR-Modul ermöglicht zur Vermeidung von Fehlmessungen und Kollisionen die Prüfung von Tastern aus mehreren verschiedenen Wechselstationen.



Mit dem FCR25-APR wird vor dem Einwechseln geprüft, ob sich der richtige Taster in der korrekten Position und Drehlage in der Wechselstation für den SP25 befindet.

## Sicherheit in zwei Varianten

Die Kombination der Wechselstation FCR25 mit der neuen Werth APR (Automatic Probe Recognition) zur FCR25-APR erlaubt die vollautomatische Erkennung des Tasters durch eine in die Wechselstation integrierte Kamera. Bei jedem Tasterwechsel wird vor dem Einwechseln geprüft, ob sich der richtige Taster in der entsprechenden Wechselstation befindet und ob seine Position und Drehlage korrekt sind. Die neue Funktion kann sowohl im TeachEdit-Modus als auch bei Serienmessungen genutzt werden und lässt sich über ein Pull-Down-Menü in der Messsoftware WinWerth® ein- und ausschalten.

Falls mehrere Wechselstationen benötigt werden oder eine beliebige Wechselstation bereits vorhanden ist, steht ein APR-Modul mit einer separat auf dem Mess-tisch angeordneten Kamera zur Verfügung. Alle Taster werden dann zur Prüfung vor dieser Kamera positioniert. Mit dieser separat montierten APR-Einheit wird bei jedem Tasterwechsel nach dem Einwechseln geprüft, ob sich der richtige Taster am Messkopf befindet.

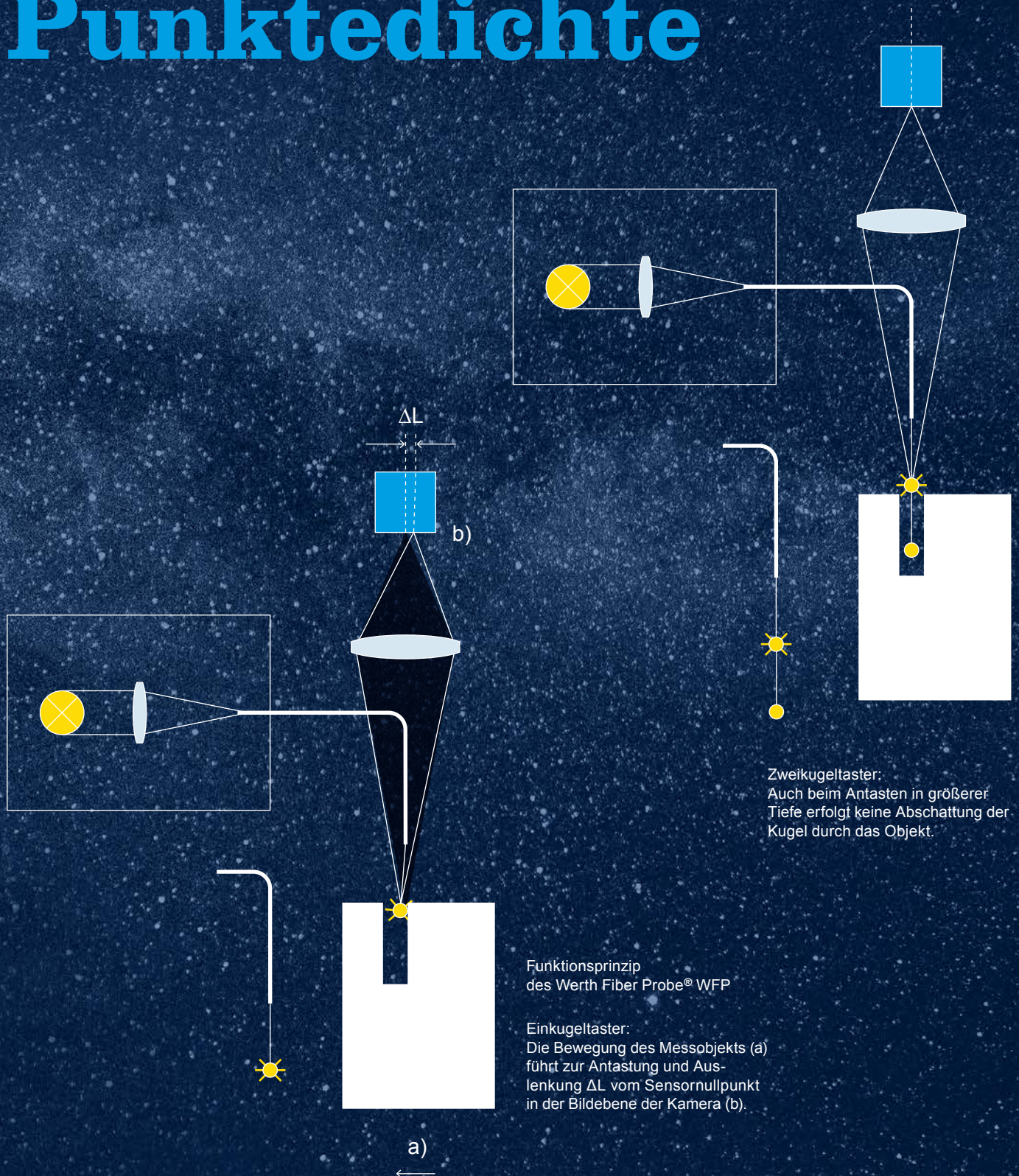
Die automatische Erkennung der Sensorik im Wechselzyklus gewährleistet sichere Messprozesse, Fehlbedienungen und Kollisionen sind nahezu ausgeschlossen. Auch können ähnliche Taster nicht mehr verwechselt werden. Die Werth APR garantiert eine sichere Auswahl der Taster in den entsprechenden Messprogrammen.

Die Erkennung der Taster erfolgt über die Zuordnung eines QR-Codes im Einmessprogramm Scalib der Messsoftware WinWerth®. Für die Zuordnung des QR-Codes zu bereits eingemessenen Tastern wird die vorhandene Funktion „Tasterliste überprüfen“ erweitert.

Das gleiche Prinzip wird in Zukunft auch für die anderen Sensoren des Werth Multisensor-Systems zur Verfügung stehen. Weitere Betriebsarten werden den Bediener unterstützen, zum Beispiel das geführte Befüllen der Wechselstationen oder das automatische Sortieren der Sensoren in den Wechselstationen.



# Komplettmessung mit hoher Punktedichte





# Hochgenaue Messtechnik für die Fertigung optischer Funktionsflächen

Aufgrund der Oberflächeneigenschaften stellen sowohl optische Funktionsflächen als auch die hierfür in der Fertigung eingesetzten Werkzeuge eine besondere Herausforderung für die Messtechnik dar. Je nach Werkstücktyp kommen unterschiedliche Sensoren zum Einsatz.

Optische Linsen verfügen über vielfältige Einsatzbereiche; im Alltag begegnen sie uns häufig als LED-Linsen (LED – Light-Emitting Diode), in Form von Brillen oder Kontaktlinsen und integriert in Smartphone-Kameras oder Projektoren. Jeder Linsentyp stellt unterschiedliche Anforderungen an die Messtechnik. Bei LED-Linsen für Autoscheinwerfer steht die komplexe Geometrie im Vordergrund. Die Linsen sind einige Zentimeter groß und erfordern Messungen im mittleren Genauigkeitsbereich. Letzteres gilt auch für Kontaktlinsen. Zu deren Herstellung werden Kunststoff-Spritzgussformen produziert, wofür man wiederum hochreflektierende Werkzeuge einsetzt, die über Toleranzen von nur etwa 10 µm verfügen. Linsen für Smartphones bieten ganz andere Herausforderungen: Diese sind stark gekrümmt, nur wenige Millimeter groß und werden zu komplexen Baugruppen montiert. Die Toleranzen betragen typisch 3 µm und weniger.

## **Komplexe Geometrien mit Computertomografie messen**

LED-Linsen für Autoscheinwerfer bilden eine Baugruppe mit Lichtquelle und Reflektor. Entscheidend für die Lichtausbeute sind die Ebenheit der verschiedenen Flächen sowie die Lage der Komponenten zueinander. Da die Formabweichung eines Geometrieelements in verschiedenen Teilbereichen und kurzen Abständen stark variieren kann, muss das gesamte Element mit hoher Punktedichte erfasst werden.

Bei der Computertomografie (CT) wird das Werkstück im kegelförmigen Röntgenstrahl zwischen Röntgenquelle und Detektor gedreht. Während der Drehung werden Durchstrahlungsbilder aufgenommen, aus denen ein vollständiges Volumenmodell rekonstruiert wird. Zur Bestimmung von geometrischen Eigenschaften (Maßen) werden die Messpunkte an den Materialübergängen mit einem patentierten Subvoxeling-Verfahren berechnet. Da die Röntgenstrahlung das Werkstück durchdringt, stellt die resultierende Messpunktwolke auch innenliegende Geometrien dar. Daher kann mit CT die komplette Baugruppe in montiertem Zustand gemessen und die Einbaulage der

Komponenten zueinander beurteilt werden. Aufgrund der hohen Punktedichte bietet sich eine CT-Messung auch zur Messung der Formabweichungen an.

## **Optische Messung hochreflektierender Flächen**

Kontaktlinsen werden wie LED-Linsen mit CT gemessen. Für die eng tolerierten Metallwerkzeuge zur Herstellung der Spritzgussformen ist ebenfalls eine Komplettmessung erforderlich. Massive Stahlwerkzeuge lassen sich jedoch schwer durchstrahlen, sodass die Genauigkeit der CT oft nicht ausreicht. Zudem sind die Werkzeuge poliert und verfügen somit über sehr glatte und entsprechend hochreflektierende Oberflächen. Daher entsteht kaum diffuse Reflexion in unterschiedliche Richtungen. Trifft das Licht optischer Abstandssensoren auf zu stark geneigte, ideal reflektierende Oberflächen, wird es selbst bei großer Apertur am Objektiv des Sensors vorbei reflektiert und die Oberflächeninformation geht verloren.

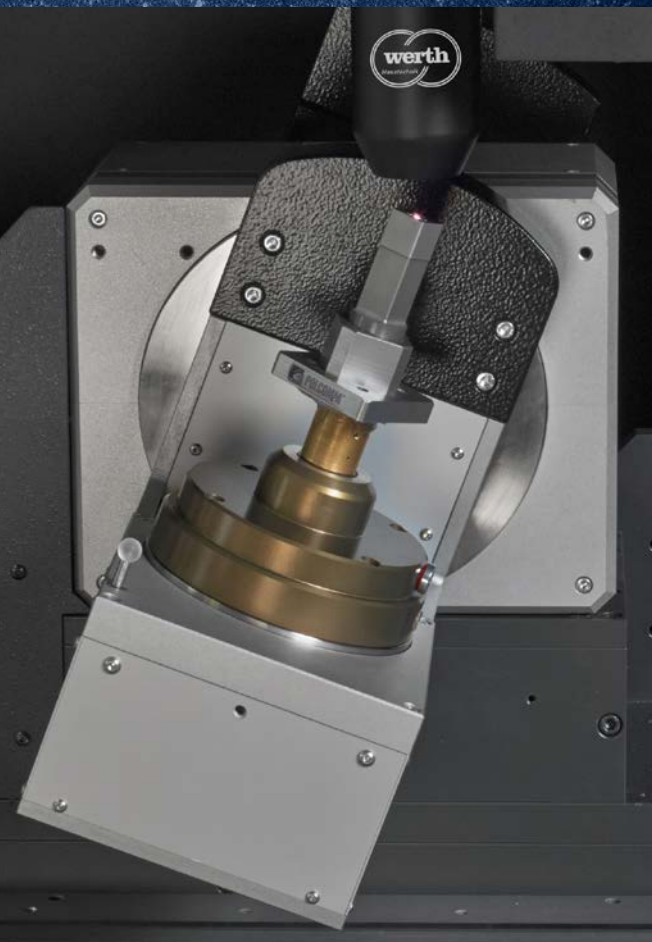
Bei den Werkzeugen handelt es sich jedoch häufig um rotationssymmetrische Drehteile, sodass mit Hilfe einer Dreh-Schwenk-Achse ein Nachschwenken der Oberflächennormale in die Sensorachse möglich ist. So kann die gesamte Werkstückoberfläche durch mehrere Drehachsscans auf verschiedenen Schwenkwinkeln erfasst werden. Hierzu lässt sich das 3D-Koordinatenmessgerät Werth VideoCheck® FB DZ mit einer Dreh-Schwenk-Achse ausstatten. Die stabile Bauweise mit fester Brücke gewährleistet eine hohe Genauigkeit. Mit den beiden unabhängigen Sensorachsen sind Multisensor-Messungen ohne Einschränkungen möglich, da die gerade nicht verwendete Achse außerhalb des Messbereichs in Parkposition bleibt. So können optische, taktile und taktil-optische Sensoren für unterschiedliche Anwendungen optimal kombiniert werden.

Zur Messung der hochreflektierenden Werkzeuge bietet sich insbesondere der Chromatic Focus Line Sensor (CFL) an, bei dem weder die direkte Reflexion noch der mangelnde Kontrast hochreflektierender



Oberflächen ein Problem darstellt. Bei chromatischen Fokus-Sensoren ist die Abbildungsoptik bewusst so gefertigt, dass die unterschiedlichen Fokusebenen verschiedenfarbigen Lichts entsprechend des gewünschten Messbereichs auseinander liegen. Wird weißes Licht auf die Werkstückoberfläche projiziert, lässt sich anhand der Wellenlänge mit der höchsten Intensität der Abstand zum Sensor und damit die Position des Messpunkts auf der Werkstückoberfläche bestimmen.

Durch die Kombination von CFL und Dreh-Schwenk-Achse am VideoCheck® FB DZ erreicht man eine sehr hohe Genauigkeit, sodass die Werkzeuge zur Herstellung der Spritzgussformen für Kontaktlinsen mikrometergenau gemessen werden können. Ein weiterer Vorteil des CFL ist die hohe Messgeschwindigkeit: Bei einer Drehung des Messobjekts um 45° pro Sekunde werden 2000 Zeilen mit jeweils ca. 200 Messpunkten erfasst. Die Punktedichte auf dem Werkzeug hängt dann vom Durchmesser ab. Als Ergebnis erhält man eine 3D-Punktwolke der gesamten Werkzeugoberfläche, mit der dimensionelle Messungen oder ein Soll-Ist-Vergleich durchgeführt werden können.



Mithilfe der Dreh-Schwenk-Achse können unterschiedlich orientierte Flächen optimal zum Chromatic Focus Line Sensor ausgerichtet und dann in Werkstückkoordinaten gemessen werden.

## Messung stark gekrümmter Flächen mit Fasertaster

Smartphones müssen für die Nutzer heutzutage neben den Kommunikationsfunktionen vor allem eines können: eindrucksvolle Bilder erzeugen und Momente festhalten, die mit anderen geteilt werden sollen. Dabei sind Pixelgröße und -anzahl nicht mehr das Hauptkriterium. Um die Bilder auf den Kamerachip abzubilden, muss die Abbildungsoptik hohen Anforderungen genügen, mit dem Ziel, helle und scharfe Fotos aufnehmen und die Kamera auch bei schlechten Lichtverhältnissen nutzen zu können.

In langjähriger erfolgreicher Zusammenarbeit haben sich Werth Messtechnik und JIMEAS Technology in Korea den Herausforderungen bei der Messung der als komplexe Baugruppe vorliegenden Smartphone-Linsen gestellt. Das in diesem Zeitraum gemeinsam erarbeitete Know-how führte zu bemerkenswerten Erfolgen und bewirkte eine hohe Kundenzufriedenheit bei einem der weltgrößten Hersteller von Mobiltelefonen. Die ständige Weiterentwicklung von Hard- und Software in Orientierung an den Kundenwünschen sichert einen technologischen Vorsprung und den entsprechenden Wettbewerbsvorteil.

Bei der Messung von Linsen, Fassungen und Gehäusen ist vor allem schnelles und präzises Messen zur Steuerung der Fertigungsprozesse wichtig, da bei den heutigen hohen Produktionsgeschwindigkeiten ansonsten zu viel Ausschuss produziert wird. Bei der Messung von Fassung und Gehäuse überzeugt der patentierte Werth Zoom auch durch seine Abbildungsqualität. Für maximale Flexibilität bei Auflicht-Messungen sorgt der MultiRing mit großem Einstellbereich des Beleuchtungswinkels im Raum durch Kombination eines variablen Arbeitsabstands mit mehreren LED-Ringen.

Eine weitere Herausforderung für die Messtechnik stellen die Miniaturisierung und Präzision der Kunststofflinsen dar. Die kleinen, stark gekrümmten Smartphone-Linsen haben eine ähnliche Wirkung wie die hochreflektierenden Oberflächen der Werkzeuge zur Herstellung von Spritzgussformen: Auch hier stoßen optische Sensoren aufgrund der Apertur an ihre Grenzen.

Mit einer Längenmessabweichung von bis zu  $(0,15 + L/900) \mu\text{m}$  ist der VideoCheck® UA das wohl weltweit genaueste kommerziell verfügbare Multisensor-Koordinatenmessgerät. Dies wird unter anderem durch eine spezielle Luftlagertechnik, die integrierte Schwingungsisolierung und temperaturstabile Maßstabssysteme mit 1 Nanometer Auflösung ermöglicht. Beim patentierten Werth Fiber Probe® (WFP) dient der biegeelastische Schaft nur zur Positionierung der bis zu  $20 \mu\text{m}$  kleinen Antastkugel, deren laterale Auslenkung optisch gemessen wird. Die axiale Auslenkung des WFP® 3D wird mit Hilfe eines Laserabstands-



Ergebnis einer Computertomografie-Messung eines Smartphone-Objektivs bestehend aus Kunststofflinsen, Fassungen, Blenden und Gehäuse



Messung empfindlicher Smartphone-Linsen mit Verth Fiber Probe® 3D

sensors bestimmt. Durch das taktil-optische Messprinzip werden die Antastkräfte auf einige Hundert µN reduziert, sodass Beschädigungen empfindlicher Oberflächen vermieden werden.

Mit dem WFP® 3D können sämtliche Parameter der Kunststofflinsen, inklusive der gesamten Oberflächengeometrien, mit Fertigungstoleranzen bis in den Submikrometerbereich in einem einzigen Messablauf erfasst werden. Gemessen werden hauptsächlich die komplexen Formen der Asphärenoberflächen und deren Konzentritäten. Wie bei den LED-Linsen kann die Einbaulage von montierten Kunststoff-Baugruppen ergänzend mit CT erfasst werden. So lassen sich die Abstände zwischen den Linsen, Spaltmaße und Koaxialität messen.



Neues zur Computertomografie

# Schnell, genau und vollständig messen



Mit einem Im-Bild-Messbereich von knapp 120 mm, dem optionalen 6-Megapixel-Detektor und dem schnellen OnTheFly-Betrieb eignet sich das TomoScope® XS FOV ideal für fertigungsnahe Messungen von Kunststoffteilen.

## Röntgentomografie zum Preis von konventionellen 3D-Koordinatenmessgeräten

Mit dem Modell „FOV“ präsentiert Werth das dritte Koordinatenmessgerät mit Röntgen-Computertomografie aus der leistungsstarken und kompakten Gerätefamilie TomoScope® XS. Das neue Modell ist durch spezielle Konstruktionsprinzipien preisgünstiger und besonders leicht zu bedienen.

Schon 2005 beim ersten speziell für die Koordinatenmesstechnik entwickelten Gerät mit Röntgen-Computertomografie, dem TomoScope® 200, war es ein wichtiges Ziel, diese Technik möglichst vielen Anwendern zu attraktiven Preisen zur Verfügung zu stellen. In den nachfolgenden Jahren ging der Trend jedoch in Richtung immer leistungsstärkerer Geräte, die das Messen größerer Werkstücke aus dichteren Materialien erlauben. 2017 stellte Werth Messtechnik dann das TomoScope® XS mit der Technik der Großen im Format der Kleinen vor. Letztes Jahr wurde mit der Einführung des TomoScope® XS Plus unter anderem das Messvolumen gegenüber dem TomoScope® XS verdoppelt. Auf der Grundlage von über 15 Jahren Entwicklungserfahrung im Tomografie-Bereich bietet Werth nun mit dem TomoScope® XS FOV (Field Of View) Röntgentomografie zum Preis von konventionellen 3D-Koordinatenmessgeräten.

### Vollautomatische Messung „im Bild“

Die neuen Geräte ermöglichen, je nach wählbarer Anbauart des Detektors, einen Messbereich mit 120 mm Durchmesser bzw. Höhe. Die Messungen finden im Sehfeld des Detektors statt. Der optionale 6-Megapixel-Detektor gestattet hierbei eine sehr hohe Auflösung. Die Messung im OnTheFly-Modus und die Echtzeitrekonstruktion des digitalen Werkstückvolumens während der Messung sorgen für schnelle Messergebnisse.

Die Messung mit dem TomoScope® XS FOV ist vollständig automatisiert, sinnvolle Parameter wurden teilweise bereits werksseitig festgelegt. Der Bediener positioniert die Werkstücke auf dem Drehtisch und startet die Messung. Falls gewünscht, können Messparameter wie Spannung oder Vorfilter vom Bediener gewählt werden.

### Fertigungsbegleitendes Messen von Kunststoffwerkstücken

Das TomoScope® XS FOV ist ideal für fertigungsbegleitende Messungen von Kunststoffwerkstücken, die in großen Stückzahlen hergestellt werden. Solche Werkstücke finden sich auch häufig in der Verpackungsindustrie. Beispiele sind Joghurtbecher, Flaschendeckel, Dübel oder Kunststoffgehäuse von Inhalatoren. Mehrere kleine Werkstücke, wie Deckel oder Kunststoffzahnrad, können mit Hilfe von geeigneten Aufnahmevorrichtungen gemeinsam gemessen werden. Bei der Auswertung trennt die Softwarefunktion „Werkstückseparation“ (siehe Seite 20) die Messdaten automatisch. Die Visualisierung der Ergebnisse erfolgt anwenderfreundlich in der WinWerth® 3D-Grafik. Im Messprotokoll ist eine farbcodierte Darstellung von Gutteilen und Ausschuss integriert, die insbesondere bei Inline- und Atline-Messungen eine schnelle Übersicht ermöglicht (siehe Seite 26).

Mit dem TomoScope® XS FOV steht ein flexibles Gerät für schnelle Messungen mit Röntgentomografie zur Verfügung. Durch die neue wartungsfreie Monoblockröhre mit 130 kV Röhrenspannung, welche mit 24 Monaten Gewährleistung ohne Schichtbegrenzung geliefert wird, ist das Gerät jederzeit verfügbar. Die kompakte Bauweise nach dem Vollschutz-Prinzip ermöglicht den Einsatz nahezu überall im Unternehmen. Wie alle Röntgentomografie-Koordinatenmessgeräte von Werth Messtechnik verfügt auch das TomoScope® XS FOV über eine normkonforme Spezifikation in Anlehnung an VDI/VDE 2617. Das Werth-Kalibrierlabor wurde als erstes für die DAkkS-Kalibrierung der Koordinatenmessgeräte mit Röntgentomografie-Sensorik nach VDI/VDE 2617 Blatt 13 akkreditiert.

## Mehr-Objekt-Messungen perfektioniert

Für die gleichzeitige Messung mehrerer Werkstücke stehen neue Softwarefunktionen zur Verfügung. Die Werkstücke können gleich oder auch unterschiedlich sein. Die Auswertung in Werkstückgruppen vereinfacht die Prozesskontrolle im Kunststoffspritzguss.

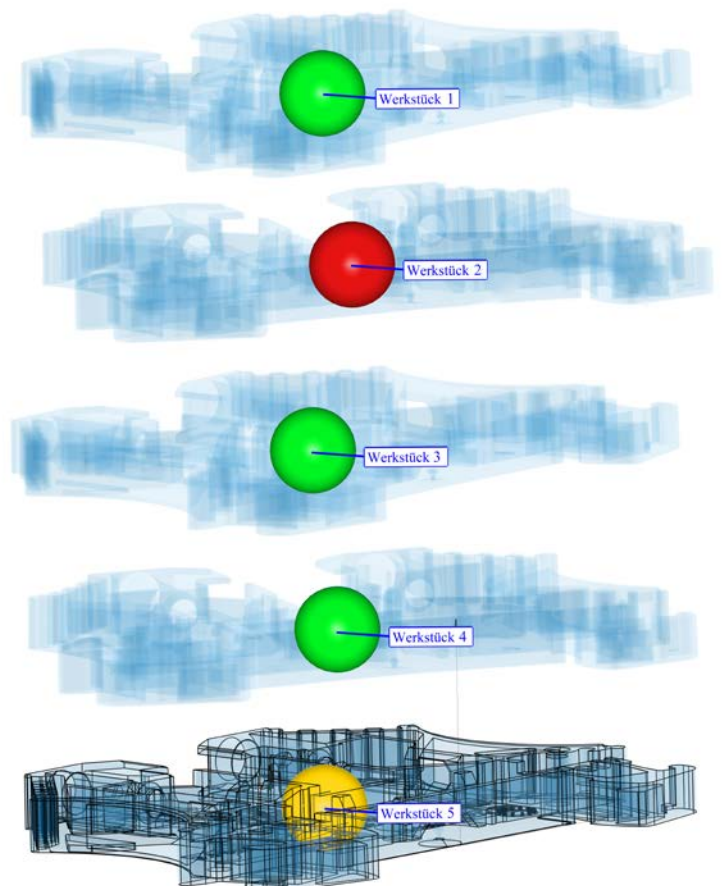
Die Messsoftware WinWerth® ermöglicht Koordinatenmessgeräten mit Röntgentomografie das gleichzeitige Messen mehrerer Werkstücke in einer Aufnahme, sodass sich die Messzeit auf wenige Sekunden pro Werkstück verringert. Die Messpunktewolken werden mit Hilfe der Softwarefunktion „Werkstückseparation“ automatisch getrennt. Die Werkstückseparation kann jetzt noch leichter auch offline eingelernt werden. Die Position der einzelnen Werkstücke wird automatisch aus dem CAD-Modell der Aufspannung oder aus der ersten Messung übernommen, nur die geschätzte Größe der Werkstücke muss eingegeben werden. Die automatische Zuordnung kleiner Objekte wie Lunken oder Späne zum jeweiligen Werkstück erleichtert die Lösung von nicht maßlichen Prüfaufgaben erheblich.

Darüber hinaus wurde in WinWerth® mit dem „Werkstück“ ein neues Messelement integriert. Damit lassen sich zusammenfassende Auswertungen eines Werkstücks realisieren. Beispielsweise kann der Werkstückstatus „gut“, „schlecht“ oder „über einer Eingriffsgrenze“, aus allen bestimmten geometrischen Eigenschaften ermittelt werden. Die Visualisierung des Werkstückelements erfolgt als farbige Kugel in der 3D-Grafik an der Position des Werkstücks, beispielsweise in grün oder rot in Abhängigkeit von den definierten Toleranzwerten. Die Werkstücke können auch in Gruppen zusammengefasst und die Gruppen-Information angezeigt werden, zum Beispiel für verschiedene Vorrichtungsebenen (siehe Seite 24). Es besteht die Möglichkeit, für das Element „Gruppe“ geometrische Eigenschaften wie Koordinaten, Winkel, Radien oder Formabweichungen zu berechnen. Je nach Wunsch lassen sich Minimum, Maximum, Streuung, Mittelwert und Standardabweichung für die geometrischen Eigenschaften der Gruppe anzeigen. Mit Hilfe der Texterkennung können die Ergebnisse auch der automatisch erfassten Kavitätennummer zugeordnet werden.

In der Übersichtsdarstellung in 3D-Grafik und Messprotokoll ist der Status der einzelnen Werkstücke anhand der farblichen Markierung auf einen Blick zu erkennen. Weitere Informationen, zum Beispiel die farbcodierte Abweichungsdarstellung, sind per Mausklick in der 3D-Grafik oder Anzeige des Protokolls direkt

abrufbar. Das Zusammenfassen mehrerer Werkstücke zu einer Gruppe erweitert ebenfalls die statistischen Auswertemöglichkeiten. So lassen sich jetzt direkt in WinWerth® Mittelwert und Streuung für kritische geometrische Eigenschaften berechnen. Dies ist insbesondere für die Prozesskontrolle beim Kunststoffspritzguss wichtig. Die neuen Funktionen sind auch für 2D- oder 3D-Mehrfachmessungen mit Multisensorik geeignet.

Mit dem neuen Element „Werkstück“ ist der Status der Werkstücke auf einen Blick zu erkennen und der Zugriff auf verschiedene Messergebnisse per Mausklick möglich.





## Steuerung des Messablaufs über Texterkennung

Textzeichen, -zeilen und ganze Textblöcke können jetzt mit der Werth-Bildverarbeitungssoftware dank OCR (Optical Character Recognition) erkannt werden. Die neue Funktion steht für alle Bildverarbeitungssensoren und die mit Raster-scanning HD oder dem Chromatic Focus Line erzeugten Rasterbilder zur Verfügung. In Kombination mit dem neuen 3D-Volumenfenster ([siehe Seite 22](#)) lässt sie sich auch für den Röntgentomografie-Sensor nutzen. In die Messsoftware WinWerth® wurde das Element „Text“ integriert, das den erkannten Text und dessen Qualität in Prozent angibt. Für eine schnelle und sichere Texterkennung können Wörterbücher angelegt werden, die zum Beispiel nur Zahlen enthalten. Über 100 Wörterbücher stehen bereits für die Texterkennung zur Verfügung.

Die Texterkennung erlaubt eine automatische Auswahl des richtigen Messprogramms. Während der Messung können Programmparameter bestimmt werden. Beispielsweise lässt sich in Mehr-Kavitäten-Messungen anhand der Nestnummer auf dem Werkstück das zugehörige Meisterteil ermitteln. Die Messergebnisse werden dem jeweiligen Werkstück zugeordnet und auf dem Werkstück aufgebrachte Daten automatisch ins Messprotokoll übertragen.

## Graterkennung am CT-Volumen

Mit Hilfe einer neuen Funktion in WinWerth® können Grate oder Späne während des Messablaufs vollautomatisch erkannt und gemessen werden. Die Darstellung kann sowohl farbcodiert als auch über Analysemarker erfolgen.

Im Kunststoffspritzguss entsteht ein Grat, wenn zwei Werkzeugformen nicht ganz oder nur mit Versatz schließen. Eine Ursache ist, dass die Werkzeuge nur innerhalb gewisser Toleranzen passgenau hergestellt werden können. Hinzu kommen der Verschleiß sowie nicht optimal eingestellte Spritzparameter wie zum Beispiel der Einspritzdruck. Grate verursachen optische Makel oder sogar Funktionseinschränkungen der Werkstücke. Aus diesem Grund wurde eine neue Funktion in die Messsoftware WinWerth® integriert, die die automatische Messung und Darstellung von Graten und Spänen an Kunststoff- oder Metallwerkstücken ermöglicht.

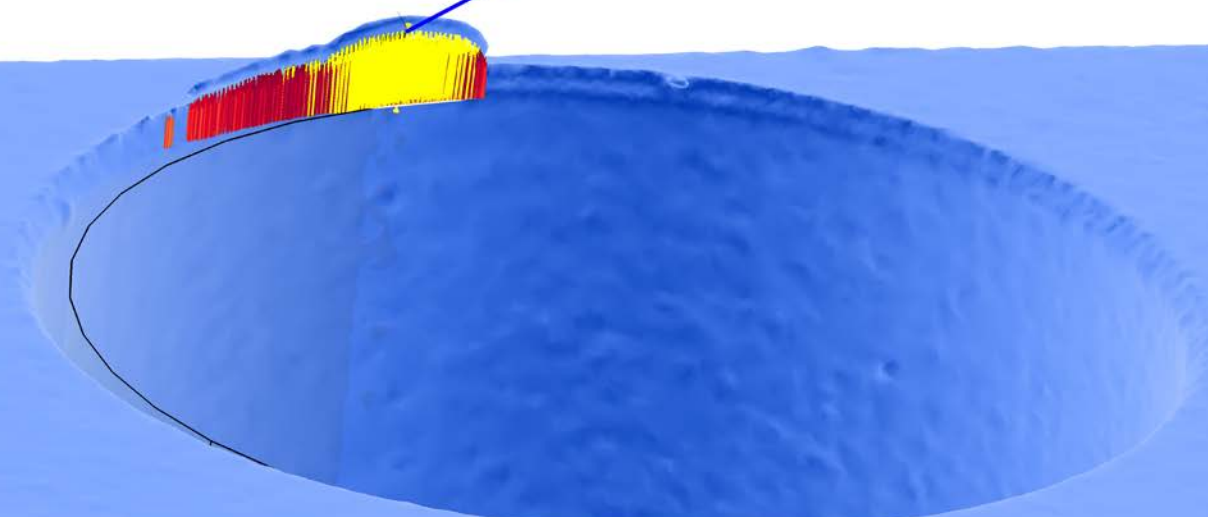
Um den Bedienkomfort zu erhöhen, wurden neue Fensterfunktionen entwickelt. An dem bei der Messung mit Computertomografie (CT) erzeugten Werkstückvolumen werden die zu prüfenden Bereiche durch Anwendung dieser 2D- oder 3D-Fenster markiert. Diese Fenster stehen als Rechteck oder beliebiges Vieleck, Zylinder und Schlauchfenster zur Verfügung. Höhe, Breite sowie Tiefe oder Durchmesser können grafisch interaktiv verändert und die Fenster in alle Richtungen rotiert werden. Alternativ besteht die Möglichkeit, die Fenster anhand des CAD-Modells zu erzeugen. Zum Beispiel wird durch Anklicken einer Linie im

CAD-Modell ein Schlauchfenster generiert, dessen Durchmesser ebenfalls direkt in der 3D-Grafik angepasst werden kann. Neben der hier vorgestellten Gratemessung können diese Fenster auch zum Filtern von Volumen, Ausschneiden von Anspritzpunkten aus Punktwolken (STL-Format), für die Schrifterkennung und weitere Anwendungen eingesetzt werden.

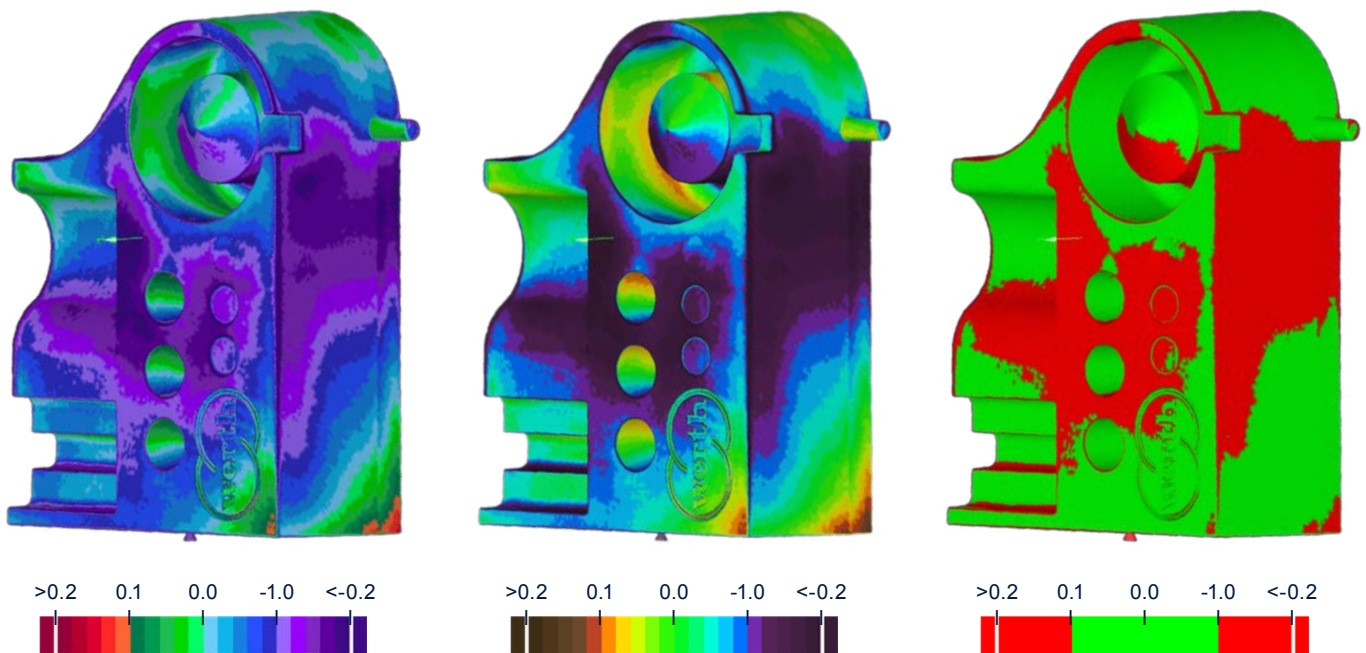
Der Bediener gibt nach dem Setzen der gewünschten Fenster die interessierende minimale und maximale Gratdicke sowie die zulässige Toleranz für die Gratlänge ein. Grate, die dünner sind als die minimal definierte Gratdicke, werden nicht berücksichtigt. Die maximale Gratdicke dient zur Unterscheidung von dünnen Werkstückbereichen und sollte deutlich kleiner als diese, aber größer als die zu erwartenden Grate gewählt werden. Als Ergebnis erhält man eine farbcodierte Abweichungsdarstellung des Grates sowie die maximale Gratlänge. Bei der Abweichungsdarstellung werden wahlweise nur die Stellen gezeigt, an denen die Gratlänge die Toleranzgrenzen überschreitet. Über Analysemarker kann zusätzlich die Gratlänge entlang des gesamten Grates numerisch angezeigt werden. Beispielsweise wird alle 0,5 mm ein Fähnchen gesetzt, das die maximale lokale Gratlänge enthält.

Die Gratlänge wird farbcodiert dargestellt, ein oder mehrere Analysemarker geben farbcodiert und numerisch zum Beispiel den Maximalwert an.

Max  
0.3393



## Schnelle visuelle Beurteilung des Werkstücks mit erweiterter farbcodierter Abweichungsdarstellung



Nach einem Soll-Ist-Vergleich werden die Abweichungen der Ist-Daten zu den Soll-Daten farbcodiert dargestellt. Bei den Soll-Daten kann es sich um CAD-Modelle oder die Ist-Daten eines Meisterteils handeln. Formabweichungen zu den aus den Ist-Daten berechneten Geometrieelementen werden ebenfalls farbcodiert abgebildet. Neu ist die Möglichkeit, mehrere verschiedene Farbschemata zu individualisieren und zu speichern. In der Messsoftware WinWerth® sind Standards hinterlegt, die nach Wunsch modifiziert werden können. Zusätzlich ist es auch möglich, eigene Farbschemata zu erstellen. Die farbcodierte Abweichungsdarstellung lässt sich direkt in der WinWerth® 3D-Grafik einstellen und editieren.

Die Werth-Standarddarstellung ist nach Messtechnik-Gesichtspunkten farbcodiert: Grüne und blaue Bereiche kennzeichnen Abweichungen innerhalb der Toleranzen, oberhalb beziehungsweise unterhalb des Sollwerts. Eine farbliche Abstufung zeigt die Größe der Abweichung zum Sollwert. Analog stehen rote und violette Bereiche für Abweichungen außerhalb der Toleranzen. Neu sind jetzt zwei zusätzliche Farbbalken für alle Abweichungen außerhalb der Toleranz, die sich jenseits der rot und violett gestuften Bereiche von bis zu 25 %, 50 %, 75 % oder 100 % des Toleranzbandes befinden. Dies ermöglicht zum Beispiel ein sehr schnelles und eindeutiges Erkennen von Werkstücken mit Defekten, die deutlich außerhalb der gewünschten Toleranzen liegen. Es ist auch möglich, sich nur Abweichungen außerhalb der Toleranzen anzeigen zu lassen.

In der WinWerth® 3D-Grafik kann die farbcodierte Darstellung der Abweichungen frei konfiguriert werden.

Links: Werth-Standard-Darstellung: grün und blau – positiv und negativ in Toleranz, rot und violett – positiv und negativ außer Toleranz

Mitte: alternativ konfigurierte, kontinuierliche Farbskala

Rechts: Gut-Schlecht-Auswertung

Mit Hilfe der neuen Darstellungsmöglichkeiten kann die Farbcodierung an den persönlichen Geschmack, den Kundenwünschen, den Verwendungszweck oder an die, beispielsweise im Werkzeugbau gewohnte Darstellung anderer Software-Produkte angepasst werden. Möglich ist zum Beispiel auch, Abweichungen innerhalb der Toleranzen ausschließlich grün und solche außerhalb der Toleranzen ausschließlich rot darzustellen. Auch die Verwendung fließender Übergänge von Rot über Gelb und Grün zu Blau ist konfigurierbar.

Eine weitere Neuheit sind Analysemarker, die eine schnelle visuelle Beurteilung durch automatisch gesetzte Fähnchen mit alphanumerischer Information ermöglichen. Analysemarker können an kritischen oder vordefinierten Positionen angezeigt werden. So besteht die Möglichkeit, nur die größten Abweichungen nach Innen und Außen darzustellen. Andererseits lässt sich beispielsweise die Grathöhe in definierten Abständen entlang des gesamten Grates anzeigen, etwa alle 0,5 mm. Alternativ kann die gewünschte Anzahl der Markierungen eingegeben werden, sodass unter Berücksichtigung eines Mindestabstands die größten Abweichungen angegeben werden.

# Mit WinWerth® Scout in der Produktion gezielt auf Messergebnisse zugreifen

Die WinWerth® Scout Bedienoberfläche ermöglicht einen schnellen und einfachen Zugriff auf Messergebnisse sowohl in grafischer als auch in tabellarischer Form. Sie lässt sich für jedes Werth-Koordinatenmessgerät nutzen. Alle Messprozesse können von überall im Unternehmen eingesehen werden. Messergebnisse unterschiedlicher Koordinatenmessgeräte für dasselbe Werkstück lassen sich zusammenfassen. So kann sich auch ungeschultes Personal schnell eine Übersicht über die Messprozesse und -ergebnisse verschaffen.

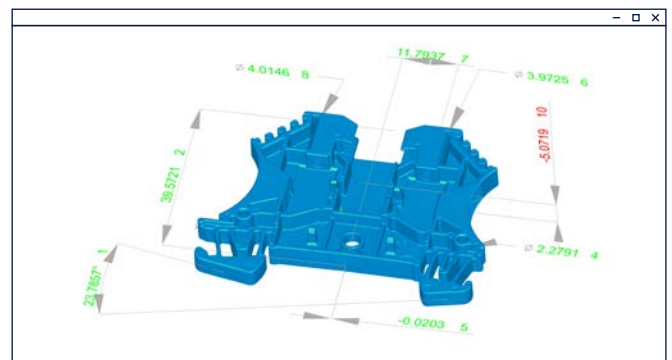
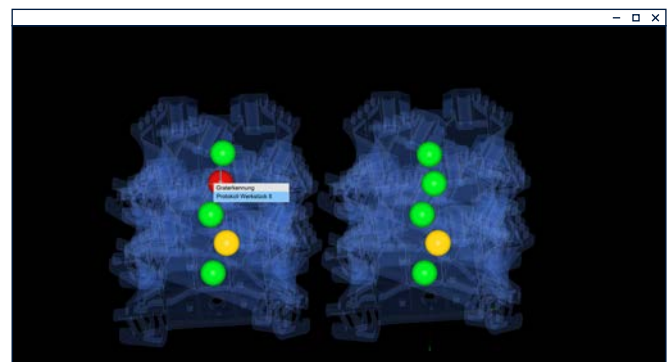
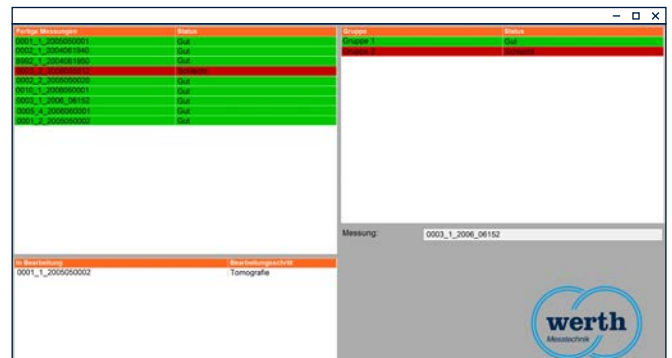
Die Bedienoberfläche von WinWerth® Scout ist in drei Bereiche gegliedert. Messaufträge, die noch in Bearbeitung sind, werden in einer Liste geführt. Dort steht neben der Identifikationsnummer des Auftrags der aktuelle Status, wie zum Beispiel „Auftrag gestartet“, „Tomografie“, „Taktile Messung“ oder „Auswertung“. Fertiggestellte Aufträge werden automatisch in eine weitere Liste verschoben und entsprechend ihres Status farblich gekennzeichnet: grün für „in Toleranz“, gelb für „Eingriffsgrenze“ und rot für „außer Toleranz“.

Werden mehrere Werkstücke gleichzeitig gemessen, erzeugt man eine oder mehrere Werkstückgruppen. Eine Tomografie von Werkstücken, die in einer Vorrichtung in mehreren Ebenen übereinander angeordnet sind (siehe Seite 26), kann zum Beispiel, in den Ebenen entsprechende Gruppen unterteilt werden. Klickt man in der Liste der fertigen Messungen auf einen Messauftrag, öffnet sich ein weiteres Fenster mit einer Liste aller gemessenen Werkstückgruppen oder Werkstücke, deren Status ebenfalls farbcodiert dargestellt wird. Befindet sich beispielsweise mindestens eines der Werkstücke der Gruppe außerhalb der Toleranzen, wird die gesamte Gruppe rot markiert.

Mit Klick auf die Gruppe oder das Werkstück in der Listenansicht öffnet sich der WinWerth® 3D-Viewer. Bei Werkstückgruppen erscheint eine Übersichtsdarstellung der Werkstückelemente (siehe Seite 20), auf Wunsch mit CAD-Modell der Aufnahmevorrichtung, das eine schnelle und einfache Zuordnung von Werkstücken außerhalb der Toleranzen zu ihrer Position in der Vorrichtung ermöglicht. Die Werkstückelemente werden als Kugeln dargestellt, deren Farbe den Status des Werkstücks wiedergibt.

Bei Rechtsklick auf das interessierende Werkstückelement öffnet sich eine Auswahlliste mit den Ergebnisdarstellungen für das jeweilige Werkstück. Man kann zum Beispiel das Messprotokoll mit den geometrischen Eigenschaften, eine Messpunktewolke mit einer grafischen Darstellung der ausgewerteten Merkmale, das Ergebnis der 3D-Graterkennung oder Soll-Ist-Vergleiche

in farbcodierter Abweichungsdarstellung im WinWerth® 3D-Viewer auswählen. Für jedes Ergebnis wird eine weitere Instanz des 3D-Viewers geöffnet, um mehrere Ergebnisse miteinander vergleichen zu können. Die WinWerth® Scout Bedienoberfläche lässt sich an kundenspezifische Anforderungen anpassen.



Die Liste der Messaufträge und Werkstückgruppen (oben) zeigt farbcodiert das zusammengefasste Messergebnis (rot – mindestens ein Werkstück außer Toleranz).

Per Mausklick kann die Übersichtsdarstellung der Werkstückelemente im WinWerth® 3D-Viewer aufgerufen werden (Mitte). Nun ist gut zu erkennen, welches Werkstück die Toleranzüberschreitung verursacht (rot / gelb / grün).

Der Zugriff auf die Messergebnisse des jeweiligen Werkstücks erfolgt ebenfalls per Mausklick. Es kann das Messprotokoll, die farbcodierte Abweichungsdarstellung oder die 3D-Darstellung der geometrischen Eigenschaften angezeigt werden (unten).



## Multisensor-Tomografie – zwei Messungen mit einem Ergebnis

Mithilfe unterschiedlicher Röhrentypen können nun am selben Werkstück sowohl schwer durchstrahlbare Bereiche als auch kleine Details gemessen werden.

Bisher war es bei Koordinatenmesssystemen mit Computertomografie (CT) nicht möglich, mit zwei unterschiedlichen Röhrentypen ein und dasselbe Werkstück im gleichen Koordinatensystem zu messen, wie es mit mehreren Sensoren bei konventionellen Multisensor-Koordinatenmessgeräten Standard ist. Das Bezugssystem kann bei einem Werkstück oder einer Baugruppe zum Beispiel an einem Grundkörper aus Aluminium oder Stahl liegen. Eine kleine außen liegende Komponente, wie zum Beispiel eine Düse mit einer kleinen Bohrung oder ein Temperatur- oder Drucksensor, muss sich in einer bestimmten Lage dazu befinden. Für das schnelle Tomografieren von schwer durchstrahlbaren Materialien wie Metallen mit großer Dicke ist eine hohe Röhrenspannung und Leistung notwendig. Diese Röntgenröhren verfügen jedoch nicht über einen ausreichend kleinen Brennfleck für die hochauflösende Messung der kleinen Details.

Hierzu bietet Werth jetzt Zwei-Röhren-Messsysteme für die Geräte TomoScope® L, XL oder XL NC mit vollständiger Integration einer zweiten Röntgenröhre an. So können eine Makrofokusmessung und eine Mikrofokus-

Dieses TomoScope® XL NC verfügt über einen Hochleistungsdetektor mit  $4000 \times 4000$  Bildpunkten und zwei Röntgenröhren.



Hochauflösende Mikrofokus-Röntgenröhre (unten) und Hochleistungs-Makrofokus-Röntgenröhre (oben)

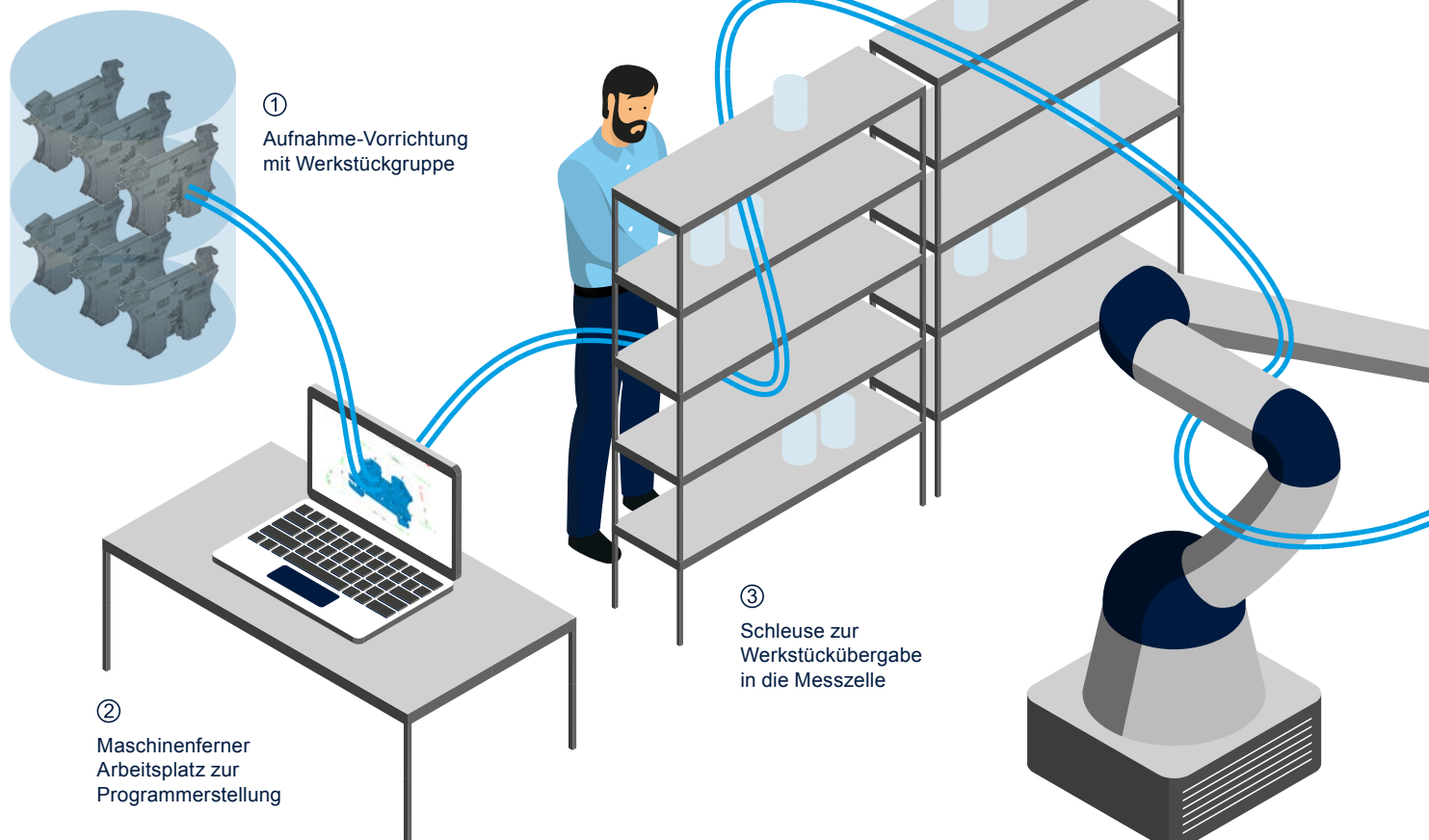
messung zu einer Messung kombiniert werden, beispielsweise mit einer 450 kV-Reflexionstargetröhre und der Werth 300 kV-Transmissionstargetröhre. Die Makrofokusmessung liefert eine hohe Röhrenspannung und -leistung für die Messung dichter Materialien in kurzer Zeit. Dies wird mit einem großen Brennfleck von bis zu 1 mm Durchmesser erkaufte. Ein großer Brennfleck bewirkt durch die von unterschiedlichen Stellen des Brennflecks ausgehenden Röntgenstrahlen eine Unschärfe im Durchstrahlungsbild. Durch diese wird der Kantenübergang in dem aus den Durchstrahlungsbildern rekonstruierten Volumen flacher und ebenfalls unschärfer, sodass die Strukturauflösung gering wird. Die Mikrofokusmessung mit kleinem Brennfleck erlaubt hingegen eine hohe Strukturauflösung, allerdings mit geringerer Durchstrahlungsfähigkeit. Daher ist es sinnvoll, für hochauflösende Messungen zusätzlich eine zweite Röntgenröhre mit besonders kleinem Brennfleck einzusetzen. Mit Hilfe der Messsoftware Win-Werth® kann während des Messablaufs automatisch zwischen den beiden Röntgenröhren umgeschaltet werden. Beim Umschalten wird der exakte Sensorversatz berücksichtigt, sodass die Messergebnisse im selben Koordinatensystem vorliegen. Selbstverständlich ist es auch möglich, die beiden Röhren getrennt für Messungen an unterschiedlichen Werkstücken einzusetzen. So lassen sich die Kosten für ein weiteres Gerät und der zusätzliche Platzbedarf einsparen.

## Alle TomoScope® Geräte jetzt auch als „FQ“-Variante

Werth erweitert die Möglichkeiten der Röntgentomografie für die Inline- und Atline-Messung durch schnellere Algorithmen und komfortablere Mehr-Objekt-Messungen.

In der Gerätefamilie TomoScope® FQ (Fast Qualifier) stehen jetzt auch die kleineren Gerätetypen wie das TomoScope® XS Plus FQ zur Verfügung. Die Geräte sind für den Einsatz zur Inline- und Atline-Messung optimiert. Eine leistungsstarke Röntgenröhre erlaubt kurze Belichtungszeiten für jedes Durchstrahlungsbild und in Verbindung mit OnTheFly-Modus und Echtzeitrekonstruktion eine hohe Messgeschwindigkeit. Mit einem Shutter vor der Röntgenröhre kann auf das zeitaufwändige An- und Abschalten verzichtet und zusätzlich der Verschleiß der Röntgenröhre reduziert werden. Weitere Voraussetzungen für kurze Taktzeiten sind schnelle, hochauflösende Detektoren, die Möglichkeit einer Roboterbeladung sowie eine zeitsparende Auswertung der Messdaten mit mehreren parallel arbeitenden Rechnern. Der Gerätetyp wird nach notwendigem Messbereich, Auflösung und Material des Werkstücks ausgewählt. Alle Gerätetypen arbeiten jetzt mit noch schnelleren, verbesserten Algorithmen und Funktionen für Messung, Auswertung und Speichern der Messdaten.

Die Messprogramme lassen sich maschinenfern an Offline-Arbeitsplätzen vorbereiten. Der richtige, dem Werkstück zugeordnete Mess- und Auswerteprozess kann dann zum Beispiel über QR-Code (Quick Response) oder RFID-Chip (Radiofrequency Identification) gestartet werden, sodass Werkstück und Charge eindeutig identifizierbar sind. Die Koordinatenmessgeräte werden automatisch per Roboter beladen. Die einheitliche Software ermöglicht sogar ein Task-Sharing zwischen Röntgentomografie und Multisensor-Geräten. Bei Werkstücken wie zum Beispiel Ventilblöcken, Gehäusen und Gussteilen werden so nahezu im Halbminutentakt die geometrischen Eigenschaften ermittelt, ein Soll-Ist-Vergleich mit der Messpunktewolke eines Meisterstücks durchgeführt und die Werkstücke auf Defekte wie Grate geprüft.



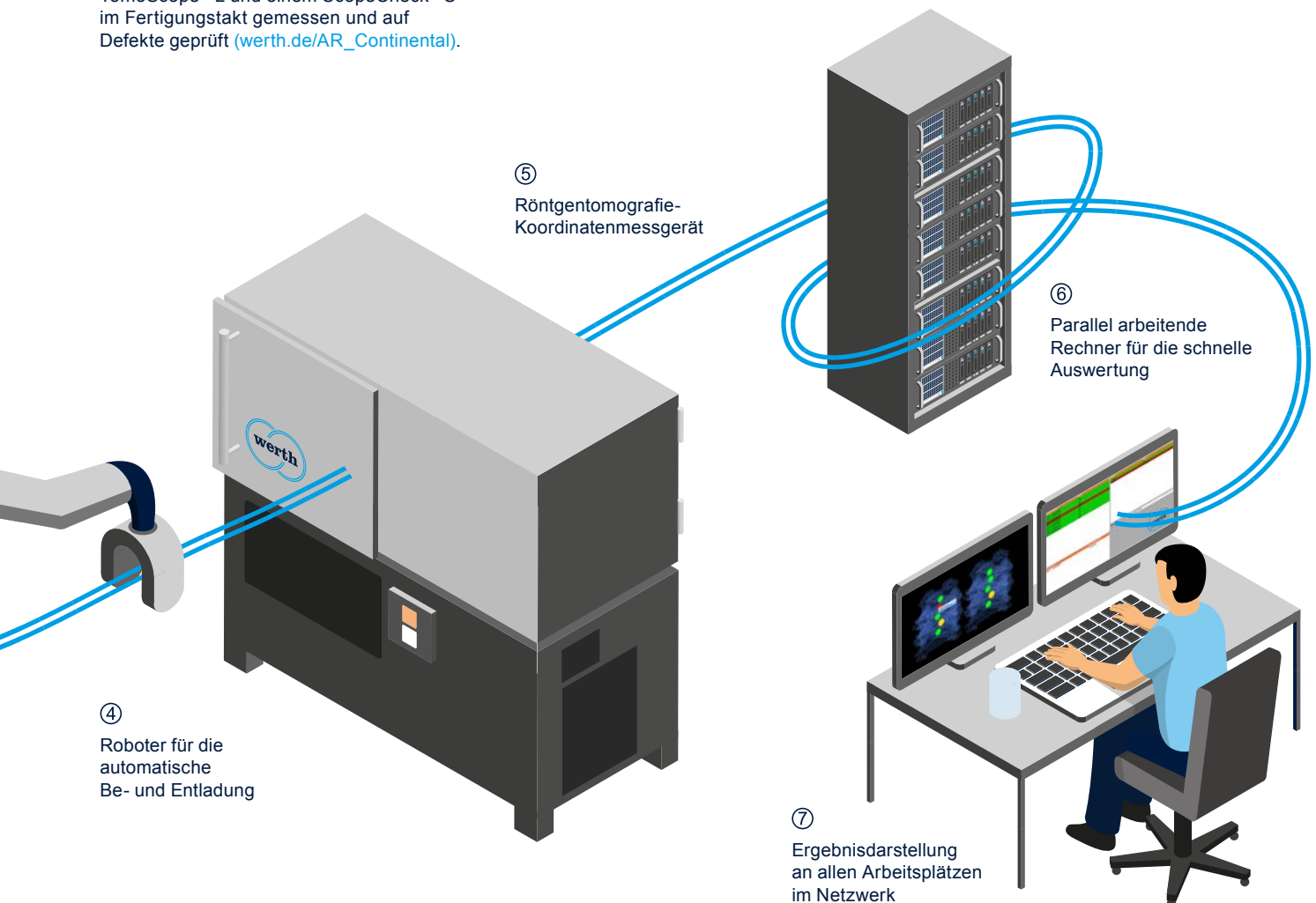
Kleine Messobjekte, wie zum Beispiel Kunststoffspritzgussteile, können in Mehr-Objekt-Messungen von zum Beispiel 8, 16, 32 oder 64 Werkstücken gleichzeitig gemessen werden. Dadurch werden die Taktzeiten weiter auf wenige Sekunden pro Werkstück verkürzt. Für solche Messungen ergibt sich dank der Werth-Transmissionsröhren auch bei relativ hoher Leistung und somit geringer Messzeit noch eine sehr gute Strukturauflösung, sodass sich zum Beispiel Grate sicher detektieren lassen.



In dieser Inline-Messzelle werden bei Continental Aluminium-Werkstücke mit einem TomoScope® L und einem ScopeCheck® S im Fertigungstakt gemessen und auf Defekte geprüft ([werth.de/AR\\_Continental](http://werth.de/AR_Continental)).

Die Werkstücke können auch in mehreren Aufnahmevorrichtungen gruppiert werden, zum Beispiel entsprechend dem Aufbau des Spritzgusswerkzeugs (Kavität, Ebene, Anguss oder Seite). Hierfür besteht die Möglichkeit, die Vorrichtungen mit Rastertomografie automatisch nacheinander zu messen und die Werkstücke jeweils als Gruppe auszuwerten (siehe Seite 20). Bei der Rastertomografie werden nacheinander Durchstrahlungsbilder der verschiedenen Vorrichtungen aufgenommen. Das Gesamtvolumen wird aus allen Bildern in verschiedenen Drehlagen rekonstruiert.

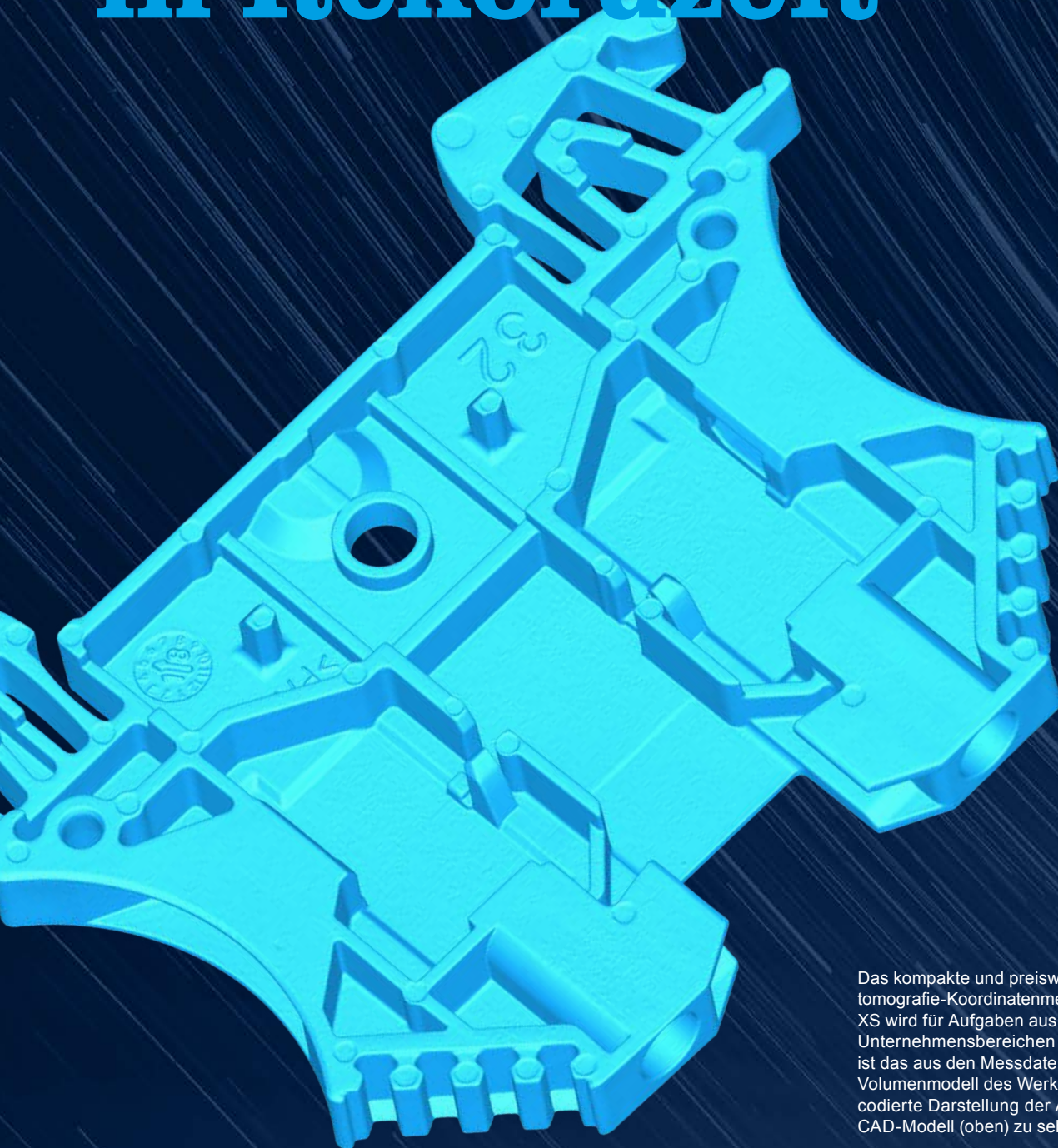
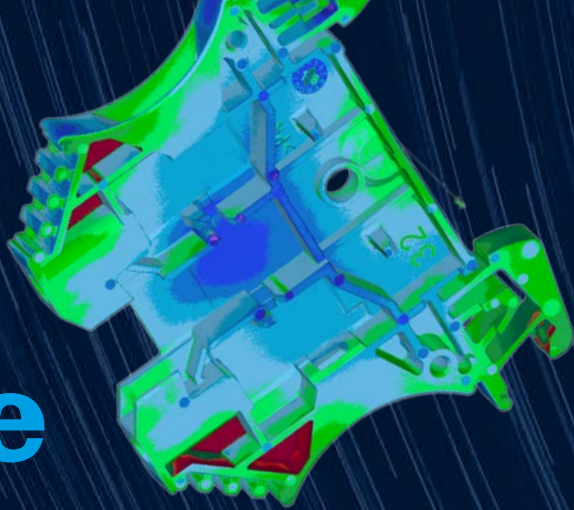
Mit der WinWerth® Scout Bedienoberfläche ist eine Liste der gemessenen Werkstücke oder Werkstückgruppen an allen Arbeitsplätzen im Netzwerk einsehbar. Scout ermöglicht eine schnelle Übersicht über die Messergebnisse: Werkstücke oder Gruppen, die außerhalb der Toleranzen liegen, sind farblich markiert. Die Auswertemöglichkeiten in der Messsoftware WinWerth® wurden erweitert (siehe Seite 20 ff.). Alle Ergebnisse können jetzt per Mausclick über Scout aufgerufen werden.





Werth-Anwenderreportage

# Vollständige Datensätze in Rekordzeit



Das kompakte und preiswerte Computertomografie-Koordinatenmessgerät TomoScope® XS wird für Aufgaben aus verschiedenen Unternehmensbereichen eingesetzt. Im Bild ist das aus den Messdaten rekonstruierte Volumenmodell des Werkstücks und eine farb-codierte Darstellung der Abweichungen zum CAD-Modell (oben) zu sehen.



## CT-Kompaktgerät ersetzt konventionelle 3D-Koordinatenmesstechnik

Die Computertomografie hat in der Prozesswerkstatt bei Weidmüller in Detmold Einzug gehalten. Mit dem TomoScope<sup>®</sup> XS qualifizieren die Messtechniker Steckerkomponenten aus Kunststoff bis zur Serienreife, erstellen Erstmusterprüfberichte, überwachen Messstrategien von anderen Messgeräten und vieles mehr. Gegenüber konventionellen Methoden sind sie um ein Vielfaches schneller.

Der Name Weidmüller steht für beste Verbindungen in der Industrial Connectivity. Das Unternehmen mit Stammsitz in Detmold liefert Produkte, Lösungen und Services zur Übertragung von Energie, Signalen oder Daten – darunter eine große Vielfalt an Steck- und Leitungsverbindern. Im gesamten Produktbereich schreitet die Entwicklung angesichts von Industrie 4.0 und fortschreitender Digitalisierung in hohem Tempo fort, sodass es entscheidend darauf ankommt, innovative Ideen konsequent und möglichst schnell umzusetzen. Um dabei die gewohnt hohen Sicherheits- und Qualitätsstandards zu gewährleisten, passt Weidmüller seine Unternehmensstrukturen permanent den Anforderungen an.

### Weidmüller – Partner der Industrial Connectivity

Weidmüller wurde bereits 1850 gegründet. Heute unterstützt das Unternehmen Kunden und Partner auf der ganzen Welt mit Produkten, Lösungen und Services im industriellen Umfeld von Energie, Signalen und Daten. Weidmüller unterhält Produktionsstätten, Vertriebsgesellschaften und Vertretungen in mehr als 80 Ländern. Im Geschäftsjahr 2017 erzielte das Unternehmen mit rund 4.700 Mitarbeitern einen Umsatz von 740 Mio. Euro.

Vor zwei Jahren ordneten die Verantwortlichen den Zentralmessraum der Prozesswerkstatt zu. Diese gehört zum Bereich „Industrial Solutions“, wo neue Produktentwicklungen bis zur Serienreife qualifiziert werden. Olaf Despang, Leiter des Zentralmessraums, erklärt: „Während wir früher Bauteile ausschließlich nach Zeichnungskonformität geprüft haben, können wir jetzt durch die unmittelbare Nähe zum Try-out-Prozess die spritzgossenen Prototypen sofort messen und

die Ergebnisse in den Qualifizierungsprozess einfließen lassen. Wir unterscheiden dabei nicht mehr nur gut und schlecht, sondern liefern auch Analysen, die den Verbesserungsprozess des Werkzeugs beschleunigen und damit zur schnelleren Serienreife führen.“

### CT liefert exaktes digitales Abbild des Prüflings

Schon seit etwa sieben Jahren werden die Messungen im Zentralmessraum von Weidmüller mit hochwertiger 3D-Multisensor-Koordinatenmesstechnik durchgeführt. Bei der vor allem aus der Medizin bekannten Röntgen-Computertomografie (CT) wird in der Messtechnik das jeweilige Werkstück in verschiedenen Drehstellungen durchstrahlt. Die Messsoftware errechnet aus Tausenden so entstandenen 2D-Bildern ein dreidimensionales Werkstückvolumen. Im Vergleich zu konventionellen Sensoren liefert die CT eine sehr dichte Punktwolke, die alle äußeren und innenliegenden Geometrien 1:1 abbildet.



Detlef Ferger (links), Vertriebsleiter und Prokurist bei Werth Messtechnik, konnte Rauf Özden (Mitte) und Metin Aclan eine optimale Lösung für die Aufgaben im Zentralmessraum der Prozesswerkstatt bieten.



Messtechnik-Ingenieur (M.Sc.) Rauf Özden, Teammitglied des Zentralmessraums, beschäftigt sich schon seit Jahren mit dieser Technologie: „In einer anderen Abteilung gibt es ein CT-Gerät, das wir auf Dienstleistungsbasis für unsere Zwecke nutzen konnten. Allerdings ist dieses Gerät hauptsächlich für Inspektionsaufgaben ausgelegt, also für zerstörungsfreie Materialprüfungen wie Lunker- und Rissprüfungen, und daher für messtechnische Aufgaben oft nicht genau genug.“

So fiel 2017 die Entscheidung, in ein 3D-Koordinatenmessgerät mit CT-Sensorik zu investieren, das eine vielfältige Produktivitätssteigerung ermöglicht: zum Beispiel durch einen höheren Automatisierungsgrad beim Erfassen und Auswerten der Messdaten, durch eine schnellere grafische Bewertung von Funktionsbereichen (ohne die oft vorliegenden Mehrdeutigkeiten der Bemaßung in der technischen Produktzeichnung) sowie durch zerstörungsfreie Prüfungen im Volumen der Werkstücke, zum Beispiel auf Lunker und Risse.

Rauf Özden, der an der Auswahl beteiligt war, erklärt: „Grundvoraussetzung war, dass das Gerät für einen Großteil unseres Produktspektrums geeignet ist. Außerdem musste es präzise Messdaten liefern, die nationalen und internationalen Normen standhalten, und das Gerät musste im Rahmen unseres eher knappen Budgets liegen.“ Das Team vom Zentralmessraum unterzog fünf Geräte verschiedener Anbieter einer Nutzwertanalyse. Als eindeutiger Sieger ging das TomoScope® XS der Werth Messtechnik GmbH, Gießen, hervor. Es konnte alle technischen Voraussetzungen erfüllen und punktete zusätzlich durch seinen geringen Platzbedarf sowie das beste Preis-Leistungs-Verhältnis.

### **Kompaktes CT-Gerät für großflächigen Einsatz**

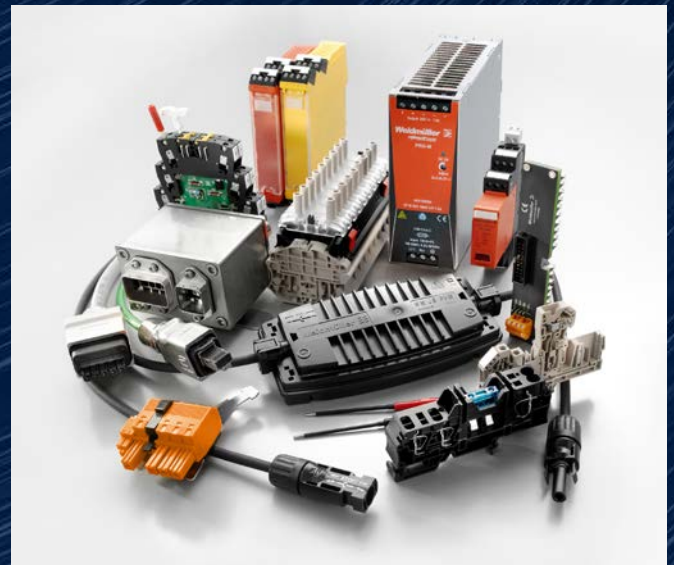
Mit dem TomoScope® XS, das erst Anfang 2017 vorgestellt wurde, ist es Werth gelungen, ein Gerät in kompakter Bauform mit hoher Leistung zu entwickeln. Dabei kam den Entwicklern ihre reiche Erfahrung zugute. Bereits Anfang der 2000er Jahre hatte das Gießener Unternehmen mit dem TomoScope® 200 das weltweit erste, speziell für die Koordinatenmesstechnik konzipierte CT-Gerät auf den Markt gebracht, das optional zum Multisensor-Gerät ausgebaut werden konnte. Im Laufe der Jahre erweiterte Werth das Produktspektrum mit weiteren CT-Gerätetypen, speziellen Messmethoden und Softwaretools.

Das kompakte TomoScope® XS erschließt nun der Computertomografie ein breites messtechnisches Einsatzfeld. Kernelement ist die erstmals im Monoblock-Design realisierte wartungsarme Transmissionsröhre, die selbst bei hoher Röhrenleistung einen kleinen Brennfleck erreicht. So lassen sich schnelle Messungen

mit hoher Auflösung durchführen. Messtechnik-Ingenieur (M.Sc.) Metin Aclan, der im Wesentlichen für die Bedienung des seit Mai 2018 im Zentralmessraum installierten TomoScope® XS zuständig ist, bestätigt das: „Ein durchschnittlicher Scan dauert bei uns etwa zwei bis drei Minuten.“ Für die kurze Messzeit ist auch die neue Betriebsart OnTheFly-CT verantwortlich, über die das TomoScope® XS zusätzlich verfügt. Dabei werden durch kontinuierliches Drehen der Geräteachse die Totzeiten vermieden, die sonst beim Positionieren des Werkstücks im Start-Stop-Betrieb entstehen. Dadurch verkürzt sich die Messzeit um den Faktor 10.

### **Vielseitig nutzbar**

Im Zentralmessraum bei Weidmüller ist es mit dem TomoScope® XS gelungen, innerhalb von nur sechs Monaten die konventionelle 3D-Koordinatenmesstechnik in den Hintergrund zu drängen. Laut Metin Aclan werden inzwischen rund 90 Prozent aller Kunststoffteile tomografiert. Sein Kollege Rauf Özden ergänzt: „Dabei sparen wir rund 75 Prozent der bisherigen Aufwände, womit sich die Investition in kürzester Zeit amortisiert haben dürfte.“



Das CT-Kompaktgerät ist für einen Großteil des Produktspektrums von Weidmüller geeignet, unter anderem qualifizieren die Messtechniker Steckerkomponenten aus Kunststoff bis zur Serienreife. Bild: Weidmüller

Özden gehört zu den neun Mitarbeitern, die derzeit die vom TomoScope® XS erzeugten digitalen Abbilder auf verschiedenste Art und Weise auswerten. Die Zeitersparnis wird vor allem bei den wichtigsten Aufgaben deutlich, zum Beispiel, wenn es darum geht, den Korrekturprozess des Formwerkzeugs bis zur Serienreife zu unterstützen.



Dazu wird im CT ein digitales Abbild des Prototyps erstellt und mit dem 3D-CAD-Modell verglichen. Rauf Özden, der solche Analysen vornimmt, ist ganz begeistert von der farbcodierten Darstellung dieses Soll-Ist-Vergleichs: „Man muss kein Messtechniker sein, um zu erkennen, wie das Werkstück tatsächlich aussieht und wo die Abweichungen zur Soll-Kontur liegen. So ein Bild sagt mehr als 1000 Messwerte. Das hat auch über den Messraum hinaus zu einer schnellen Akzeptanz der neuen Technologie geführt.“ Mithilfe der CT kann in den meisten Fällen schon nach der ersten Korrekturschleife die Freigabe erteilt werden.

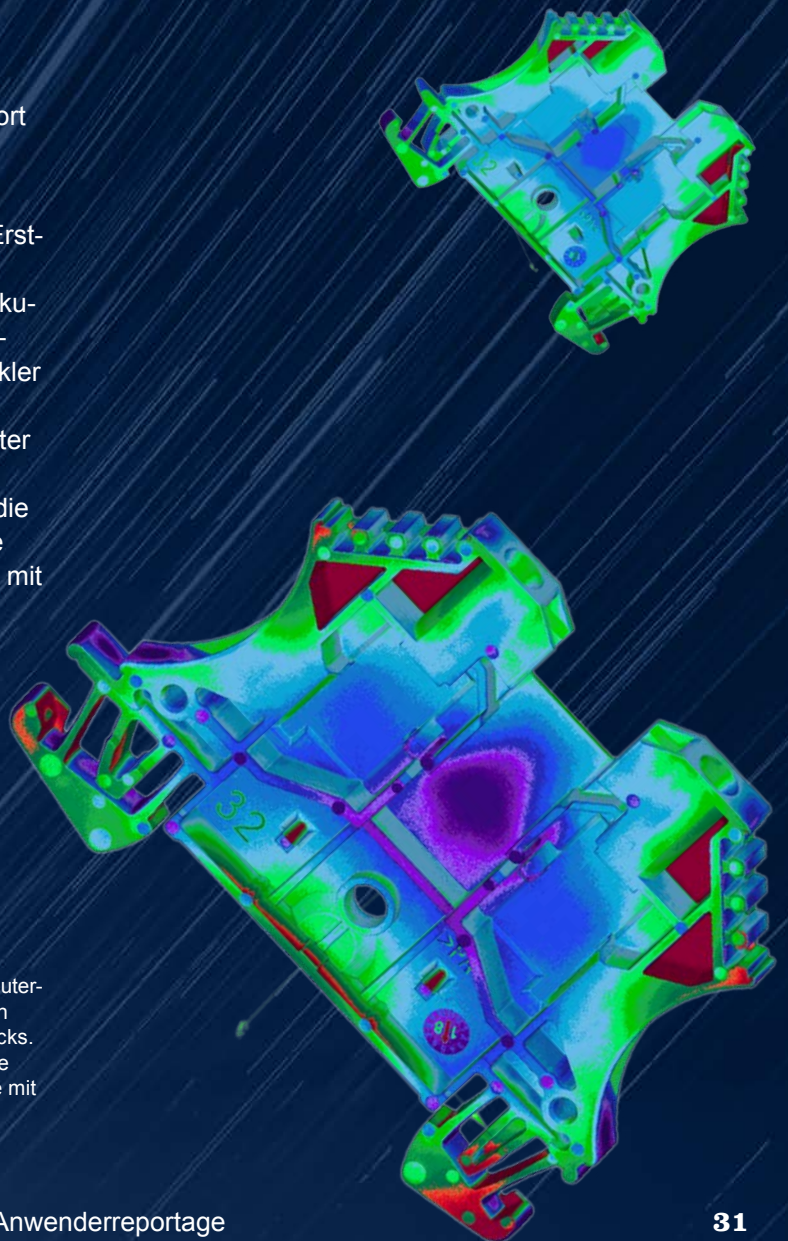
Im Zentralmessraum möchte keiner mehr das TomoScope® XS missen, denn es spielt seine Stärken in vielen Einsatzbereichen aus. Steckerkomponenten können jetzt auch im zusammengebauten Zustand untersucht werden, sodass die Funktionsbereiche eindeutig zu erkennen sind. „Die Werkzeugbauer erfahren damit, welche Korrekturen für die Funktion der Teile Priorität haben“, erklärt Rauf Özden und nennt gleich ein weiteres Beispiel: „Wenn Konstruktionszeichnungen Mehrdeutigkeiten enthalten, können wir anhand der uns jetzt offensichtlichen Funktion eines Bauteils die geeignete Messstrategie festlegen. Für wichtige Prüfmaße muss diese auf die fertigungsbegleitende Serienmessung mit konventionellen Sensoren übertragbar sein, damit die Messergebnisse auch dort reproduzierbar sind.“

Ein anderer typischer Einsatzfall, bei dem sich mit dem TomoScope® XS viel Zeit sparen lässt, ist die Erstmusterprüfung. Anstatt bislang drei Wochen muss der Zentralmessraum nun nur noch drei Tage einkalkulieren. Und es erschließen sich immer mehr Einsatzfelder. So kommen inzwischen sogar Produktentwickler mit Teilen aus dem 3D-Drucker, um deren geometrische Qualität überprüfen zu lassen. Oder Mitarbeiter der Reklamationsabteilung bitten um Hilfe, wenn sie auf der Fehlersuche nicht weiterkommen. Auch die Rheologen nutzen die neuen Möglichkeiten, um ihre Simulationen des Fließ- und Verformungsverhaltens mit dem spritzgegossenen Prototypen abzugleichen.

## Ideen für die Zukunft

Die Computertomografie steht bei Weidmüller erst am Beginn ihrer Karriere, da ist sich Rauf Özden sicher. Er würde in Zukunft gerne auch Metallteile untersuchen, wofür die maximale Röntgenspannung von 130 kV im Moment nicht ausreicht. Das TomoScope® XS ist jedoch auch mit 160 kV Röntgenspannung erhältlich und die Leistungserhöhung lässt sich problemlos vor Ort nachrüsten. Für massive Metallteile müssen die Messtechniker leider noch auf leistungsstärkere Geräte bei Dienstleistungspartnern zurückgreifen.

Das TomoScope® XS sieht Özden zukünftig auch in der Serienproduktion: „Es ist einfach zu bedienen, robust und wartungsarm – optimal, um direkt in der Fertigung Werkstücke zu messen. Damit ließen sich Anzeichen für Werkzeugausbrüche und Gratbildung einfacher und schneller erkennen als mit dem Mikroskop.“



Moderne Koordinatenmessgeräte mit Computertomografie-Sensorik liefern in kurzer Zeit ein vollständiges Volumenmodell des Werkstücks. Dieses eignet sich sowohl für dimensionelle Messungen als auch für Soll-Ist-Vergleiche mit farbcodierter Abweichungsdarstellung.  
Bild: Weidmüller



Neues zur Werth-Gruppe

# Kundenorientiert, kompetent und kreativ

● Werth Inc.  
Kalifornien

○ Colorado

○ Ohio

● Werth Inc.  
Connecticut

○ South Carolina

- Vorführ- und Servicezentrum
- Regionale Servicestützpunkte
- Deutschland zum Größenvergleich

## Auslandsvertretungen stellen sich vor – Werth Inc. USA

Nach dem Start der Werth Messtechnik GmbH in den US-amerikanischen Markt über einen Handelsvertreter im Jahre 1994, wurde 2003 das Vertriebs- und Servicezentrum der Werth Inc. in Old Saybrook, Connecticut, eröffnet. Der Standort ist günstig gelegen zwischen Boston und New York, mit Zugang sowohl zu den dortigen internationalen Flughäfen als auch den regionalen Flughäfen in Hartford und Providence. Werth Inc. begann zunächst mit zwei Mitarbeitern, schnell kamen Anwendungs-, Vertriebs- und Serviceingenieure sowie regionale Vertriebsmitarbeiter und eine Bürokräft hinzu. 2014 eröffnete das Unternehmen eine Filiale mit Vorführzentrum ● im Silicon Valley, zwei Autostunden südlich von San Francisco. Bis 2020 folgten mehrere regionale Servicestützpunkte ● in South Carolina, Ohio und Colorado. Das Vorführzentrum ● in Old Saybrook ist mit nahezu dem gesamten Produktportfolio der Werth Messtechnik GmbH ausgestattet. Somit besteht die Möglichkeit Produktdemonstrationen und Schulungen, sowohl für Kunden als auch für Mitarbeiter, durchzuführen.

### Lange Reisezeit für den Service

In den USA sind inzwischen einige Hundert Werth-Koordinatenmessgeräte installiert, die meisten in den wirtschaftlichen Zentren im Nordosten, dem industrialisierten Mittleren Westen, der Rocky Mountain-Region in Colorado sowie in Utah und Kalifornien. Werth Inc. hat jedoch auch Kunden an entlegeneren Orten, wie der oberen Halbinsel von Michigan oder auf der Insel Puerto Rico. Die „Lower 48“, also die Bundesstaaten ohne Alaska und Hawaii, sind mit einem Gebiet von 7,6 Millionen Quadratkilometern 21-mal so groß wie Deutschland. Dies führt in Extremfällen zu Reisezeiten zu den Kunden von bis zu 18 Stunden per Flugzeug und Auto. Durch den dezentral organisierten Service gelingt es der Werth Inc. die meisten Serviceanfragen innerhalb desselben Tages zu beantworten und trotz der großen Entfernungen kurzfristig vor Ort zu sein. Das heute landesweit aufgestellte Team bestand anfangs aus zwei vom Werth-Stammhaus ausgebildeten Einwanderern aus Deutschland. Die Kunden schätzen den oft unbürokratischen und kreativen Ansatz zur Lösung ihrer Probleme.

Das Sales-Team von Werth Inc. mit Röntgentomografie- und Multisensor-Koordinatenmessgeräten auf der Messe IMTS in Chicago (oben)

Das Service-Team beim Training und Erfahrungsaustausch im Vorführzentrum in Old Saybrook (CT) (unten)

### TomoScope® XS fördert den Markennamen Werth

Werth Inc. stellt sich tagtäglich den Herausforderungen des großen Landes mit drei verschiedenen Zeitzonen und sechs Stunden Zeitverschiebung zum Stammsitz in Deutschland. Das Unternehmen konnte seinen Umsatz zwischen 2016 und 2019 verdreifachen und wurde zwei Jahre in Folge als erfolgreichste Tochtergesellschaft der Werth-Gruppe ausgezeichnet. In den letzten Jahren förderte insbesondere die Einführung des TomoScope® XS den Markennamen Werth in den Vereinigten Staaten und bewirkte eine rasch steigende Nachfrage nach Werth-Geräten. Schon innerhalb des ersten Jahres nach der Markteinführung verkaufte Werth Inc. circa 20 Geräte dieses Typs. Um die Zufriedenheit der Kunden zu gewährleisten und alle Bestellungen zeitnah abzuwickeln, wurden temporär Spezialisten aus Gießen entsendet, die die Ausbildung der amerikanischen Kollegen und die Schulungen der Kunden unterstützten.







## Service-Außendienst CT

### Was tun Sie gerade, Herr Hemelik?

Ich überprüfe die Längenmessabweichung eines TomoScope® XS Plus mit einem Mehrkugeldistanznormal. Nach der Inbetriebnahme im Werk werden die Spezifikationen im Rahmen der Aufstellung und Inbetriebnahme beim Kunden vor Ort erneut überprüft. Wir möchten sicherstellen, dass das Gerät nach dem Transport in einwandfreiem Zustand ist. Die Ergebnisse werden protokolliert und gemeinsam mit dem Prüfprotokoll aus unserer Endkontrolle für die Annahmeprüfung an den Kunden übergeben.

### Wie ist Ihr Werdegang?

Im September 2005 habe ich die Ausbildung zum Mechatroniker bei Werth begonnen. Die Kombination von Mechanik, Elektronik und Informatik bietet die besten Voraussetzungen für die vielseitige Tätigkeit im Service. Noch heute profitiere ich von den Tipps, die mir damals Kollegen gaben, die selbst bei Werth ihre Berufsausbildung absolviert hatten oder schon viele Jahre im Unternehmen arbeiteten. Schon im Bewerbungsgespräch wurde eine mögliche Zukunft im Service-Außendienst angesprochen. Bis 2018 habe ich an den unterschiedlichen Multisensor-Koordinatenmessgeräten gearbeitet. Eine Weiterbildung im Bereich Röntgentomografie war der logische nächste Schritt.



William Hemelik mit einem TomoScope® XS Plus (oben)

Platzierung des Mehrkugel-Distanz-Normals auf dem Drehtisch des Messgeräts (unten)

### Was macht Ihnen bei der Arbeit am meisten Spaß?

Reizvoll war damals wie heute die Abwechslung im Service. Einerseits die verschiedenen Tätigkeiten wie die Aufstellung von Neugeräten, Hardware- und Software-Updates, Wartung und Kalibrierung. Aber auch die wechselnden Arbeitsplätze mit vielen interessanten Einblicken in Hightech-Fertigungsprozesse. Es ist spannend zu sehen, wie sich die Multisensorik weiterentwickelt, immer neue Sensoren und Funktionen hinzukommen und wie die Röntgentomografie mit ihren vielen Möglichkeiten die Qualitätssicherung zum Beispiel im Kunststoffspritzguss revolutioniert.

# Montage Werth Zoom

## Was machen Sie auf dem Foto, Herr Rohrbach?

Ich montiere unseren patentierten Werth Zoom. Dazu werden zunächst die Komponenten gereinigt und zur Montage vorbereitet. Dann setze ich die Unterbaugruppen zusammen, richte die Optiken aus und verkitte sie, um eine spätere Dejustierung zu verhindern. Es folgt die Montage des Zoomgrundkörpers mit den Fassungen und Spindeln. Zum Schluss komplettiere ich die Einheit mit Motor, Hellfeld-Auflicht-Beleuchtung, unserer einheitlichen Sensor-Schnittstelle Werth Multisensor-System und der Kamera.

## Wie ist Ihr Werdegang?

In den 1970er Jahren war die Industrielandschaft in unserer Region noch vielfältiger und als junger Mensch hatte man bei der Suche nach einem gewerblichen Ausbildungsplatz die freie Wahl. Ich habe mehrere Betriebe besucht und mich dann für Werth entschieden. Bis Anfang der 1990er Jahre hatte Werth mit damals etwa 100 Mitarbeitern noch eine extrem hohe Fertigungstiefe und fast alle Komponenten wurden im Haus gefertigt, angefangen von Dreh- und Frästeilen bis hin zu Linsen, Prismen und Spiegeln. Nach der Ausbildung zum Mechaniker kam ich zunächst in die Fertigung und wurde dann Lagerist. Ab Mitte der 90er Jahre verringerte Werth die Fertigungstiefe auf der Grundlage

der hervorragenden Lieferantenstruktur in der Umgebung immer weiter. Es wurden neue Montagearbeitsplätze geschaffen und die Belegschaft bis heute nach und nach vergrößert. Bei meiner vorherigen Tätigkeit in der Messtischmontage fiel meine saubere und präzise Arbeitsweise auf, und ich bekam das Angebot die Zoom-Montage in unserer Sensorfertigung zu übernehmen.

## Was macht Ihnen bei der Arbeit am meisten Spaß?

Bis heute habe ich ungefähr 2000 Zooms gebaut und viele Herausforderungen gemeistert. Einmal gelang es mir nicht, eine Schattenbildung bei der Hellfeld-Auflicht-Beleuchtung zu beheben. Ich zweifelte schon an mir selbst, aber schließlich stellte sich heraus, dass die Kollegen in der Konstruktion etwas an den Zeichnungen geändert hatten, leider ohne den Änderungsstand zu kommunizieren. Da war meine Ehre wieder gerettet.

Auch die Zusammenarbeit im Kollegenkreis ist sehr gut. Zusätzlich zu Sommerfest und Weihnachtsfeier der Firma trafen wir uns seit den 1970er Jahren bei Grillfesten, die durch den Verkauf der Verpflegung finanziert wurden.

Jürgen Rohrbach, seit August 1973 bei Werth Messtechnik: „Werth Zoom-Montage ist Präzisionsarbeit.“





## Ausbildung Koordinatenmesstechnik bei Werth

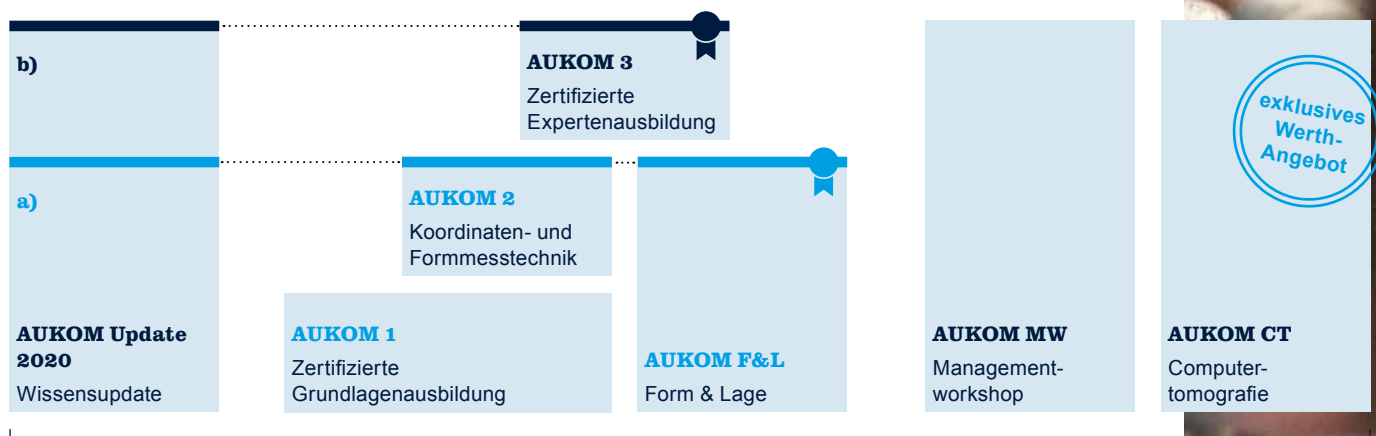
Die zertifizierten AUKOM-Trainer von Werth vermitteln Fachwissen mit der Kompetenz des führenden Herstellers von Koordinatenmessgeräten mit optischen Sensoren, Röntgen-Computertomografie und Multisensorik.

Der gemeinnützige Verein AUKOM (Ausbildung Koordinatenmesstechnik) e. V. bietet eine herstellernerneutrale Grundlagenausbildung für Koordinatenmesstechniker. Diese dient zum Ausgleich für leider fehlende Ausbildungsberufe und Studienfächer. Die Schulungsunterlagen zur Koordinatenmesstechnik mit optischen Sensoren, Röntgentomografie und Multisensorik wurden unter federführender Mitwirkung von Werth Messtechnik erstellt. Mit seinen erfahrenen AUKOM-Trainern bietet Werth alle AUKOM-Kurse: AUKOM Stufe 1, 2 und 3, Form & Lage, Computertomografie, den Management-Workshop und das AUKOM Update 2020. Die Kurse AUKOM 1, Form & Lage, Update 2020 und Computertomografie können jetzt bis auf Weiteres auch online absolviert werden.

Unter dem Motto „AUKOM 2020“ wurden die Schulungsinhalte für Messtechniker überarbeitet und erneut aktiv von Werth mitgestaltet. Der Kurs „AUKOM Update 2020“ enthält alle neuen Inhalte für bereits AUKOM-ausgebildete Messtechniker. So kann das Wissen auf den neuesten Stand der Technik gebracht werden. Das Update bietet außerdem die Möglichkeit, sowohl das Zertifikat „AUKOM-Messtechniker“ als auch das Zertifikat „Prüfprozess-Designer/AUKOM-Experte“ zu erwerben.

Die Themen aus AUKOM 3 wurden in AUKOM 2 vorgezogen, und die Themen für den Prüfprozess-Designer in AUKOM 3 konzentriert. Um sich AUKOM-Messtechniker nennen zu dürfen, müssen die Kurse AUKOM Stufe 1 und 2 sowie Form & Lage erfolgreich absolviert werden. Für das Berufsbild Prüfprozess-Designer sind es AUKOM Stufe 1, 2 und 3 sowie der Kurs Form & Lage.

Der separate Kurs zur Computertomografie wurde mit reduziertem Umfang in die Kurse AUKOM Stufe 1 bis 3 integriert, um sie einem breiteren Teilnehmerkreis zu erschließen. Werth als erster Anbieter von Koordinatenmessgeräten mit Röntgen-Computertomografie führt jedoch weiterhin den speziellen AUKOM-Kurs zu diesem Thema durch, um direkt von Experten tiefgründiges Wissen zu vermitteln. Unter dem Motto „AUKOM 2025“ werden zukünftig weitere Themen in die bestehenden Kurse integriert und ein neuer Kurs zur Oberflächenmesstechnik entwickelt.



AUKOM-Schulungssystem



**Werden Sie jetzt AUKOM-  
Messtechniker oder  
Prüfprozess-Designer!**

**AUKOM 2025**  
Oberflächen-  
messtechnik

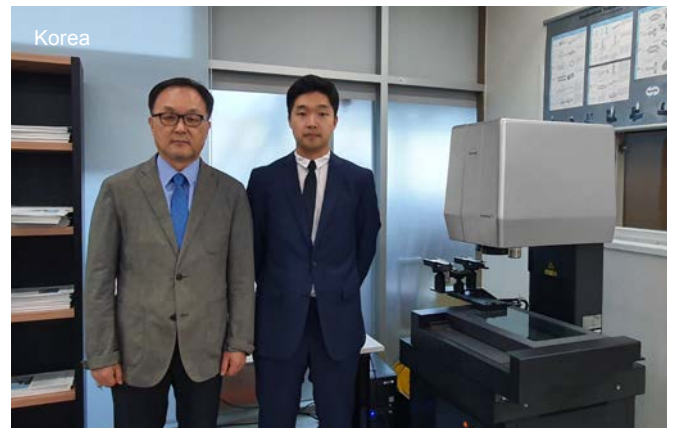
zukünftige  
Themen





### Förderung von Wissenschaft und Technik

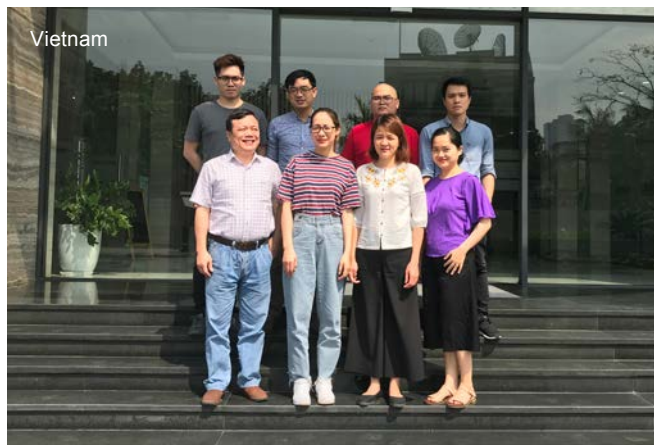
Im Rahmen des Werth-Techniktages 2019 in Gießen überreichte Arno Fink (links), der Kuratoriumsvorsitzende der Dr.-Ing. Siegfried Werth Stiftung, die Preise für herausragende wissenschaftliche Arbeiten auf dem Gebiet der berührungslosen dimensionellen Messtechnik an B. Eng. Henrik Sprankel, Dr.-Ing. Klaus Bergner und Dr. rer. nat. Joscha Maier (von links). Der Techniktag informierte Kunden aus dem gesamten Bundesgebiet über Trends und Entwicklungen der Multisensor-Koordinatenmesstechnik und der Röntgentomografie. Informative Fachvorträge aus Forschung und Entwicklung sowie interessante Erfahrungsberichte von Anwendern rundeten das Programm ab. Die Möglichkeit, Testmessungen an mitgebrachten Werkstücken durchzuführen, wurde rege genutzt. Zum Techniktag bemerkte Besucher Christoph Egloff vom Scanlabor in Coesfeld: „Dank der offenen Atmosphäre konnten wir gute Einblicke in den Betriebsablauf, die Produktion und Qualitätskontrolle der Messsysteme gewinnen.“



### 20 Jahre Werth in Korea und Taiwan

Seit Ende der 90er Jahre ist der asiatische Markt eine essentielle Quelle der geschäftlichen Erfolge der Werth Messtechnik GmbH. In dieser Zeit knüpften wir die ersten Kontakte zu einigen Handelsvertretern, die auch heute noch erfolgreich den Namen Werth in den jeweiligen Ländern repräsentieren. In Taiwan wird Werth durch das Full Bright Industrial Supply Center mit Firmengründer Mike Chen (links) und Vertriebsleiter Danny Lee vertreten. Das Unternehmen verbucht mit den weltweit steigenden Anforderungen an die Fertigungsqualität eine zunehmende Nachfrage nach Werth-Koordinatenmessgeräten. Die Kunden stammen beispielsweise aus der Optik-, Medizin-, Elektronik- und Automobil-Industrie.

JiMEAS Technology Corp. mit Sitz in der koreanischen Hauptstadt Seoul wurde 1997 von J. J. Ji (hier zu sehen mit seinem Sohn Gyoon Chul Ji) gegründet und begann 2003 zusätzlich zur vertrieblichen Tätigkeit eine Kooperation für die Entwicklung von Sensortechnologie mit der HanYang Universität. In der Folge wurden zwei taktile Sensoren und verschiedene Softwareverfahren vorgestellt, die zum Teil patentiert sind. Besonders erfolgreich waren JiMEAS und Werth in mehreren Projekten zum Messen von Kameraobjektiven für Mobiltelefone (siehe Seite 15 ff.).



### Werth Österreich eröffnet neues Vorführzentrum

Um der steigenden Nachfrage gerecht zu werden, eröffnete die Werth Messtechnik Österreich GmbH als Basis für die Aktivitäten in Österreich ein neues Vertriebs- und Anwendungszentrum in Wien. Die Räumlichkeiten sind mit Multisensor- und Röntgen-tomografie-Koordinatenmessgeräten ausgestattet und sowohl mit Auto und Bahn als auch vom Flughafen aus gut zu erreichen. In Kombination mit dem dezentral organisierten Serviceteam werden die Kunden in ganz Österreich nun bestens betreut. Die Eröffnungsfeier mit Livemusik und Rahmenprogramm im November 2019 lockte viele Besucher an. Im Zuge der Veranstaltung fanden interessante Fachvorträge von Experten der Firma Werth und Anwendern aus Industrie und Forschung statt.

### Neuer Partner in Mexiko

Seit Beginn dieses Jahres hat die 2006 gegründete Metrologia e Ingeniería Avanzada S.A. de C.V., mit Sitz in San Nicolas de los Garza im Norden des Landes, die Vertriebs- und Serviceaktivitäten für Werth-Koordinatenmessgeräte in Mexiko übernommen. Das Unternehmen verfügt über eine Akkreditierung nach ISO/IEC 17025:2017. Messtechnische Beratungen, Schulungen und Auftragsmessungen gehören neben dem Vertrieb von Geräten ebenfalls zum Portfolio.

### Werth Italia expandiert

Um der gestiegenen Nachfrage im italienischen Markt gerecht zu werden, ist die Werth Italia S.r.l. im Mai nach Casorate Sempione in die unmittelbare Nähe des internationalen Flughafens Mailand-Malpensa umgezogen. Die neuen Räumlichkeiten inklusive Vorführzentrum verfügen nun über eine Fläche von 300 m<sup>2</sup>. Geschäftsführer Sandro Telasi freut sich auch über den neuen ScopeCheck® FB DZ. Neben Schulungen und Vorführungen der unterschiedlichen Koordinatenmessgeräte, bietet die Werth Italia nun auch Lohnmessungen und die Erstellung von kundenspezifischen Messprogrammen an. Werth Italia kümmert sich natürlich auch um die Aufstellung und Inbetriebnahme der Geräte, Schulungen und den Service bei Kunden in ganz Italien.

### Neuer Partner in Vietnam

NITECH Co. Ltd wurde 2017 gegründet und hat sich auf den Vertrieb von 3D-Präzisionsmessgeräten, 3D-Druckern und entsprechenden Dienstleistungen spezialisiert. Der geschäftsführende Direktor Hoang Anh (zweiter von rechts) und sein Team arbeiten in der Hauptstadt Hanoi. Außerdem verfügt das Unternehmen über ein weiteres Büro in Ho-Chi-Minh-Stadt, der größten Stadt des Landes. Ab 2020 übernimmt das 10-köpfige Team Vertrieb, Marketing und Service für die 3D-Koordinatenmessgeräte von Werth in Vietnam.



# Koordinatenmessgeräte mit Optik, Tomografie und Multisensorik



Der „Multisensor“ ist die  
Hauszeitung der

**Werth Messtechnik GmbH**  
Siemensstraße 19  
35394 Gießen, Deutschland

[www.werth.de](http://www.werth.de) · [mail@werth.de](mailto:mail@werth.de)  
Telefon +49 641 7938-0

**Herausgeber und Geschäftsführer**  
Dr.-Ing. habil. Ralf Christoph

**Redaktion**  
Dr.-Ing. Schirin Heidari Bateni

**Grafik und Gestaltung**  
Yvonne Kümmel

**Druck**  
Druckhaus Bechstein GmbH

Der Inhalt der Beiträge gibt nicht in jedem Fall die Meinung des Herausgebers wieder.  
Nachdruck nur mit schriftlicher Genehmigung.