

KOMPLETTMESSUNG IN DER PRODUKTION



Wie lassen sich Produktivitätssteigerungen erreichen? Indem möglichst viele unterschiedliche Prozessschritte auf einer Maschine vereint sind. Was für Produktionsanlagen gilt, ist auch ein entscheidender Aspekt bei der Messtechnik. Die Präzisionsmesszentren der P-Serie decken eine große Bandbreite an Messaufgaben ab – und können direkt in der Produktion eingesetzt werden. Diese Eigenschaften standen auch bei der Entwicklung der beiden jüngsten Vertreter, der neuen P 65 und der P 16 G, im Fokus – und wurden weiter verbessert.

Die Integration unterschiedlicher Prozessschritte auf einer Maschine – damit lässt sich in der Fertigung die Produktivität deutlich steigern, insbesondere im Hinblick auf Rüst- und Durchlaufzeiten. Gleiches ist auch in der Messtechnik möglich: Die Zusammenführung unterschiedlicher Messaufgaben auf einer Maschine hilft, möglichst den gesamten Prozess in einem automatisierten Ablauf zu realisieren. So lassen sich auch auf einer Messmaschine Rüst- bzw. Umspannzeiten einsparen und Durchlaufzeiten reduzieren. Die Präzisionsmesszentren von Klingelberg folgen diesem Ansatz konsequent. Die Verknüpfung unterschiedlicher Messaufgaben aus den Bereichen Koordinaten- und Verzahnungsmessung in Verbindung mit der Form- und Rauheitsmessung macht es möglich, selbst bei der vollständigen End-of-Line-Prüfung wellenförmiger Bauteile alle Aufgaben in einem automatisierten Ablauf abzarbeiten.

Die P-Maschine: Eine für alles

Neben der Verzahnungsmessung halten die Präzisionsmesszentren von Klingelberg eine Vielzahl weiterer Messaufgaben bereit. Der spezielle Aufbau mit drei hochgenauen Linearachsen und dem Präzisionsrundtisch bietet die ideale Voraussetzung für zusätzliche Anwendungen. Die Lagerung des Präzisionsrundtisches weist eine radiale Drehführungsabweichung von unter 0,2 µm (optional) auf und besitzt somit eine für die Formprüfung geeignete Genauigkeit. Hinzu kommt ein hochgenaues Tastsystem, das optimal auf die Anforderungen der Verzahnungs-, Form- und Koordinatenmessung abgestimmt ist.

So sind die Voraussetzungen erfüllt, um nahezu alle Messaufgaben an rotations-symmetrischen Bauteilen durchzuführen – und das an jedem Punkt in der Prozesskette (siehe Abb.1). Vor dem Verzahnungsfräsen kann der Rohling bereits komplett

SCHNELLESEINFO

Die P-Maschinen zeichnen sich aus durch:

- Drei hochgenaue Linearachsen
- Präzisionsrundtisch
- Optional: radiale Drehführungsabweichung 0,2 µm
- Hochgenau messendes Tastsystem 3D-Nanoscan
- Ambience Neutral Technology
- Optional: adaptierbares vollautomatisches Rauheitstastsystem
- Optional: integrierte Schwingungsisolierung

Die P-Maschinen decken außerdem folgende Messaufgaben ab:

- Verzahnungsmessung
- Formmessung
- Koordinatenmessung
- Rauheitsmessung

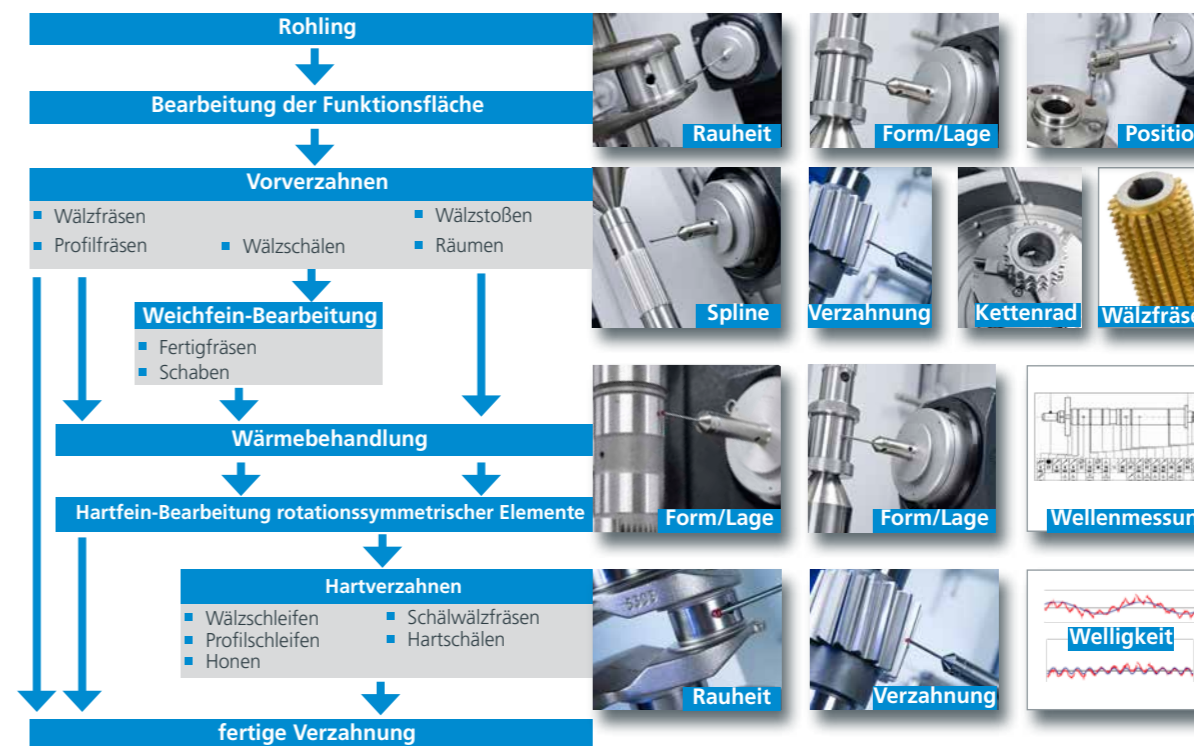
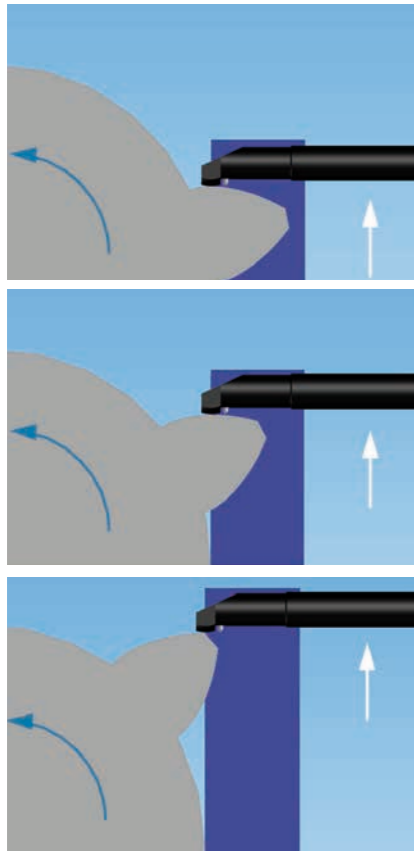
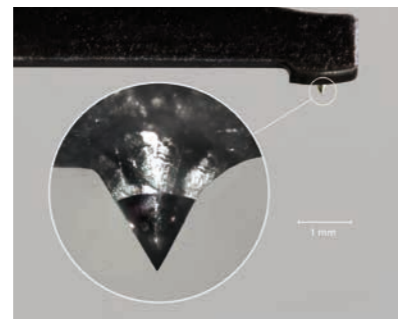


Abb. 1: Beispielhafte Mess- und Auswertmöglichkeiten anhand der Prozessketten in der Zahnrad-Fertigung

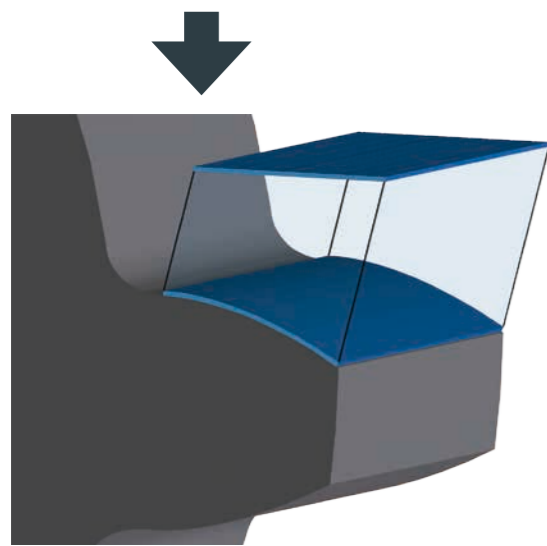
RAUHEITSMESSUNG AUF EINER ZAHNFLANKE (WÄLZEND)



Automatisches Einwechseln inklusive automatisiertem Einsteckvorgang des Rauheitstastsystems.



Der Gleitkufen-Radius ist 1.000-mal größer als der Spitzenradius der Diamantnadel.



Durch den wälzenden Bewegungsablauf bei der Rauheitsmessung wird die Zahnflanke in eine Ebene projiziert.

Abb. 2: Rauheitsmessung

mit allen relevanten Merkmalen vermessen werden. Dabei lassen sich sowohl dimensionale Messaufgaben als auch Formmessaufgaben integrieren. Gleiches gilt natürlich auch für die Bearbeitung der Formelemente nach der Wärmebehandlung und vor der Hartfein-Bearbeitung der Verzahnung.

Zusätzlich zu der klassischen Verzahnungsmessung lassen sich auch die eingesetzten Werkzeuge vermessen. Hinzu kommt nach der Hartfein-Bearbeitung die Messung der Welligkeit auf den Zahnflanken. Diese hochgenaue Erfassung der Welligkeiten ist möglich, da die Formmessfähigkeit ein wesentlicher Bestandteil der P-Baureihe ist. Mit der entsprechenden Auswertesoftware „Abweichungsanalyse“ können Geräuschphänomene wie z. B. sogenannte Geisterfrequenzen analysiert und wichtige Informationen zu deren Vermeidung gewonnen werden.

Besonderheit: Rauheitsmessung mit Gleitkufen-Tastsystem

Rauheitsmessung auf einem Klingelberg Präzisionsmesszentrum bietet mehrere Vorteile. Die hochgenauen Achsen des Messgerätes stehen zur Positionierung des Rauheitstastsystems zur Verfügung (siehe Abb. 2). Die Messung kann somit immer an exakt derselben Stelle durchgeführt werden. Darüber hinaus lässt sich die Rauheitsmessung in den Messablauf integrieren. In Verbindung mit einem automatischen Tasterwechsler entfallen Rüst- und Einrichtzeiten vollständig.

Klingelberg verwendet für die Rauheitsmessung ein Gleitkufen-Tastsystem. Somit ist die Bezugsebene für das Messergebnis die Oberfläche des Bauteils und nicht die Vorschubachse der Maschine. Die Kufe selbst weist einen großen Radius auf, so dass die Messergebnisse nicht durch die

Bezugsebene verfälscht werden können. Die Kufe mit der Tastspitze ist drehbar gelagert. Die Drehung in die Messposition erfolgt automatisch und wird durch die Messsoftware gesteuert. Auf diese Weise können an einer Verzahnung beide Zahnflanken ohne manuellen Rüstaufwand mit einem Taster gemessen werden. Darüber hinaus ist es möglich, in derselben Aufspannung auch Geometrieelemente, z. B. die Welle, auf der das Zahnrad sitzt, direkt mitzumessen. Durch diesen Aufbau lassen sich unterschiedliche Verzahnungen und Lagersitze an einem Bauteil in einer Aufspannung prüfen. Dabei werden die üblichen Kenngrößen der Rauheitsmessung ausgegeben.

Auf Präzisionsmesszentren von Klingelberg wird die Rauheitsmessung auf evolvierenden Zahnflanken immer wälzend durchgeführt. Dabei führen, wie bei der Verzahnungsmessung, die C- und die X-Achse eine gekoppelte Bewegung aus. So wird die gekrümmte Zahnflanke relativ zum Tastsystem in eine Ebene überführt, wodurch die Tastspitze immer in einem rechten Winkel zur vermessenen Oberfläche steht (siehe auch Abb. 2).

P 65: Premiere für das neue Design

Bei der neuen P 65 wurde die bewährte Technologie der P-Maschinen gezielt weiterentwickelt, um die hohen Anforderungen an die Messgenauigkeit bei der Komplettvermessung von rotationssymmetrischen Präzisionsbauteilen zu erfüllen. Über die technischen Funktionen hinaus wird nicht nur bei Bearbeitungs-, sondern auch bei Messmaschinen die Bedienbarkeit und Ergonomie immer wichtiger. Aus diesem Grund hat Klingelberg das Design und die Ergonomie seiner Produktpalette grundlegend überarbeitet und vereinheitlicht. Die P 65 ist die erste Maschine, in der Funktion, Design und Ergonomie nach dem neuen Maßstab in Einklang gebracht werden (siehe Abb. 3).

Klingelberg Tastsystem 3D-Nanoscan

Neben der Verzahnungsmessung, gewinnen die Koordinaten- und Formmessaufgaben bei der Komplettmessung auf den Maschinen der P-Baureihe zunehmend an Bedeutung. Dabei spielt das Tastsystem eine besondere Rolle. Für eine Vielzahl von Messaufgaben ist ein 3D-Tastsystem erforderlich, welches in allen Koordinatenrichtungen gleiche Eigenschaften bezüglich Genauigkeit, Dynamik und Antastverhalten aufweist – und einen großen linearen Messbereich bei paralleler Auslenkung gewährleistet. Für hochgenaue Formmessaufgaben sind zusätzliche Eigenschaften wie geringe Antastkraft und höchste Auflösung erforderlich. Bei der Verzahnungsmessung ist darüber hinaus eines besonders wichtig: die Auslenkrichtung gezielt beeinflussen zu können.

Kompakt

Erste Maschine im neuen Design

Wie bei Produktionsmaschinen spielen auch bei Messmaschinen die Bedienbarkeit und Ergonomie immer wichtigere Rollen.

Die P 65 ist das erste Präzisionsmesszentrum, bei der das neue Design umgesetzt wurde.



Abb. 3: Bei der neuen P 65 wurden neben den technischen Eigenschaften auch die Ergonomie und Bedienbarkeit weiter verbessert. Auffälligstes Merkmal ist das neue Design.

Kompakt

Die neue P 65

Das neue Design der P 65 bietet weitaus mehr als „nur“ etwas für das Auge: eine bessere thermische Entkopplung, optionale integrierte Schwingungsisolierung und ein effizienteres Handling durch eine optimierte Ergonomie. Damit ist das neue Präzisionsmesszentrum noch besser für den direkten Einsatz in der Produktion geeignet.

Um diese unterschiedlichen, anspruchsvollen Aufgaben zu erfüllen, hat Klingelberg eine spezielle Kinematik entwickelt, die in den patentierten 3D-Tastsystemen eingesetzt wird. Eine Besonderheit dieser Kinematik ist die geringe bewegte Masse, die darüber hinaus auch in allen drei Koordinatenrichtungen identisch ist. Dadurch wird die Auslenkung der Tastkugel mit hoher Dynamik verlustfrei auf die integrierten Längenmesssysteme übertragen. Diese Längenmesssysteme, mit einer Auflösung von weniger als 0,004 µm, arbeiten nach dem gleichen optisch-interferentiellen Messverfahren wie die Systeme in den Messachsen. Durch die hochdynamische, speziell auf dieses Verfahren abgestimmte Signalverarbeitung werden alle Messsysteme inklusive des 3D-Tastsystems synchron ausgelesen und weiterverarbeitet.

Die Kombination aus diesem kinematischen Aufbau, den hochgenauen Messsystemen und der Echtzeit-Signalverarbeitung gewährleistet ein lineares, hysterese-freies Übertragungsverhalten, das insbesondere beim dynamischen 3D-Scanning mit hoher Auflösung erforderlich ist. Somit können auch feinste Formabweichungen im Nanometerbereich erfasst werden, die z. B. bei der Verzäh-

nungs-Geräuschanalyse, aber auch bei vielen Formmessaufgaben relevant sind.

Ambience Neutral Technology

Die Möglichkeit, mit der P-Baureihe direkt in der Produktion zu messen, nutzen Kunden von Klingelberg bereits seit über zehn Jahren erfolgreich. Die Entwicklung der neuen P 65 wurde konsequent darauf ausgerichtet, die dazu erforderlichen Eigenschaften weiter zu verbessern. Entsprechend umhüllt die neue Maschinenverkleidung die gesamte Maschine jetzt komplett. Damit wird eine bessere thermische Entkopplung der für die Geometrie der Maschine relevanten Maschinenkomponenten von der Umgebungstemperatur erzielt.

Für die Entkopplung gegen Bodenschwingungen hat Klingelberg die integrierte Schwingungsisolierung, die bei den Maschinen P 26 und P 40 bereits seit einigen Jahren eingesetzt wird, auf die P 65 übertragen. Durch umfangreiche FE-Berechnungen ließ sich die Maschinenstruktur so gestalten, dass die für Maschinen in Ständerbauweise optimale Aufstellung auf drei Luftfedern (Dreipunkt-Lagerung) jetzt auch für die P 65 genutzt werden kann. Dank dieser Art der Schwingungsisolierung ist für die neue P 65 keine aufwändige schwingungsisolierte Plattform mehr nötig – und dies bei gleichzeitig deutlich verbesserter Ergonomie (siehe Abb. 5).

Verbesserte Ergonomie

Im Rahmen des neuen Designs wurde auch die Ergonomie der Maschine optimiert: Die neue Positionierung des Gegenhalters und des Containers sorgen für einen besseren Zugang zur Werkstück-Achse (siehe Abb. 6). Dadurch wird das Be- und Entladen, Aufspannen und Fixieren des Werkstücks erleichtert. Dank einer optimierten Achslagenbestimmung ist zudem eine genaue Ausrichtung des

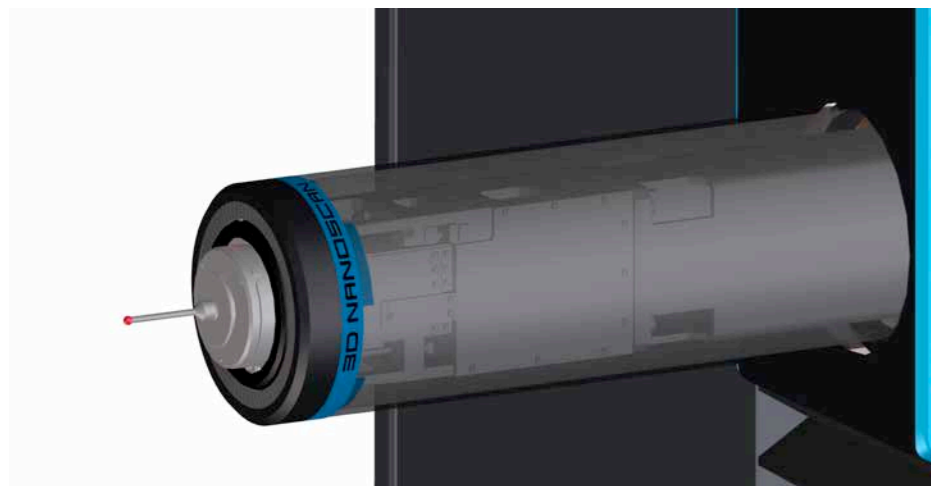


Abb. 4: Das Klingelberg Tastsystem 3D-Nanoscan bietet durch seine besonderen Eigenschaften die Funktionalität eines Multisensor-Systems. Neben der Verzahnungs- und Koordinatenmessung sind hochauflösende Formmessaufgaben durchführbar, unabhängig von der Antastrichtung. Darüber hinaus lässt sich das Klingelberg Rauheitsmesssystem sehr komfortabel adaptieren.

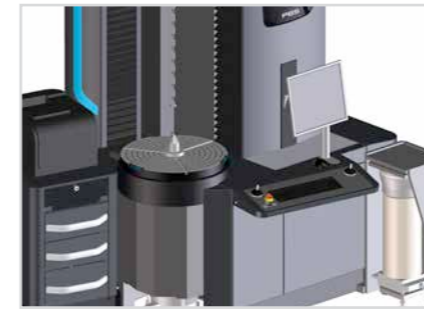


Abb. 5: Mit der von Klingelberg entwickelten Dreipunkt-Schwingungsisolierung werden weltweit seit über zehn Jahren Präzisionsmesszentren von Klingelberg in der Produktion erfolgreich betrieben. Das von der P 26 und P 40 bekannte integrierte System wurde auf die neue P 65 übertragen.

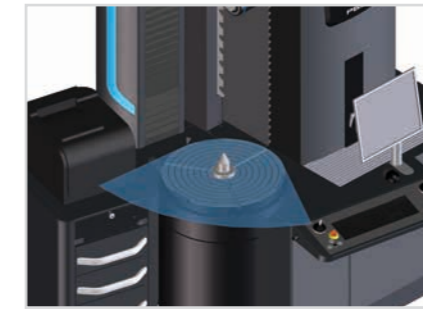


Abb. 6: Um eine optimale Werkstück-Beladung zu erreichen, wurde der Zugang zur C-Achse deutlich verbessert. Der Beladewinkel konnte gegenüber der alten P 65 um mehr als 50 % vergrößert werden.



Abb. 7: In der Produktion werden die Maschinen typischerweise im Stehen bedient. Für eine optimale Ergonomie steht jetzt auch für die P 65 die motorische Bedienpult-Höhenverstellung optional zur Verfügung.

Werkstücks nicht mehr nötig. Somit entfällt auch die dazu bisher erforderliche pneumatische Tischanhebung.

Optimale Komplettmessung in der Produktion

In Summe ist die neue P 65 die optimale Lösung für die Messung rotations-symmetrischer Bauteile. Es ist in den letzten Jahren gelungen, eine Vielzahl unterschiedlicher Messaufgaben in einem Präzisionsmessgerät zu integrieren und damit diverse Messgeräte in einer Maschine zu vereinen. Ein weiterer wichtiger Aspekt zur Steigerung der Wirtschaftlichkeit ist die Messung in der Produktion.

P 16 G – ein Ersatz für Lehren

Heute werden im Produktionsumfeld an vielen Stellen Lehren zur Qualitätsprüfung einzelner Prozessschritte eingesetzt. Diese können ohne Einschränkungen direkt an der Fertigungsmaschine eingesetzt werden. Sie zeichnen sich durch eine hohe Robustheit und eine „eingebaute Temperaturkompensation“ aus. Besteht die Lehre aus einem Material mit demselben Wärmeausdehnungskoeffizienten wie das Werkstück und haben beide die gleiche

Präzisionsmesszentren von Klingelberg werden weltweit nicht nur von vielen Kunden, sondern auch von namhaften Metrologieinstituten als Referenz eingesetzt.

Temperatur, dann wird der thermische Einfluss auf das Prüfergebnis ausgeschlossen. Auch ist die Prüfung sehr einfach und kann direkt vom Bediener der Werkzeugmaschine durchgeführt werden.

Lehren haben jedoch wesentliche Nachteile: sie sind sehr teuer, erfordern lange Lieferzeiten und müssen individuell auf das Bauteil und die Prüfaufgabe angepasst werden. Dies stellt die Produktionsverantwortlichen gerade bei Zeichnungsänderungen vor eine schwierige Aufgabe. Hinzu kommt, dass eine Dokumentation des Prüfergebnisses nur qualitativ vorliegt und nicht für eine Prozesssteuerung genutzt werden kann. Es wäre also wünschenswert, ein Messmittel zu besitzen, das die Vorteile von Lehren besitzt – aber nicht die Nachteile.

Kompakt

Die neue P 16 G

Die P 16 G ist eine Messmaschine für scheibenförmige Bauteile und kurze Wellen, die wie Lehren direkt in der Produktion einsetzbar ist. Alle typischen Messaufgaben für Lehren können auf dieser Maschine realisiert werden – mit dem Vorteil, dass sie viel flexibler ist. So lässt sich eine beliebige Anzahl unterschiedlicher Bauteile prüfen – zur Anpassung an Geometrieänderungen bestehender Bauteile muss lediglich der Messablauf leicht verändert werden.

Grundsätzlich lassen sich alle Messaufgaben an rotationssymmetrischen Bauteilen auf einem Präzisionsmesszentrum von Klingelberg durchführen. Neben den präzisen Linearachsen ist hierzu ein hochgenauer Rundtisch mit einer sehr kleinen radialen Drehführungsabweichung erforderlich. In Verbindung mit dem Tastsystem 3D-Nanoscan können sowohl Maße ermittelt als auch Formprüfungsaufgaben durchgeführt werden. Hinzu kommt die Möglichkeit, das Messgerät im direkten Produktionsumfeld einzusetzen. Die notwendige Robustheit in Verbindung mit einer Temperaturkompensation und der Schwingungsisolierung machen dies möglich. Wie alle Messgeräte von Klingelberg ist auch die P 16 G mit der Ambience Neutral Technology, dem hochgenauen Rundtisch und dem Tastsystem 3D-Nanoscan ausgestattet.

Viel flexibler als Lehren

„Typische“ Messaufgaben auf einer P 16 G sind beispielsweise die Prüfung von Durchmesser, Abständen und Längen,

sowie Positionen zu einer Referenz und viele andere Positionen (siehe Abb. 8). Diese können als Messaufgaben auf einem Koordinaten-Messgerät realisiert werden. Die Flexibilität dieses Messgerätes ist mit einer Lehre nicht zu vergleichen, denn es lässt sich eine beliebige Zahl unterschiedlicher Bauteile prüfen – letztendlich muss nur das passende Messprogramm erstellt werden. Zur Anpassung an Geometrieänderungen bestehender Bauteile sind häufig nur kleine Veränderungen des Messablaufs notwendig.

Verbesserte Prozesskontrolle

Bei der P 16 G (siehe Abb. 9) handelt es sich um eine Messmaschine für scheibenförmige Bauteile und kurze Wellen, wie sie z. B. in der Automobilindustrie häufig vorkommen. Die Messung in der Produktion ermöglicht eine deutlich verbesserte Prozesskontrolle. Dank der statistischen Erfassung von Messwerten lassen sich beispielsweise Trends frühzeitig erkennen – so kann ein Eingriff erfolgen, bevor das erste Bauteil außerhalb der Toleranz und damit Ausschuss ist.

Ein weiterer wesentlicher Faktor im Produktionsumfeld, in dem natürlich kein geschultes Messpersonal zur Verfügung steht: Die Messmaschine wird durch den Maschinenbediener bedient. Hierzu hat Klingelberg mit der Software „EasyStart“ ein System entwickelt, mit dem die Erstellung des Messprogramms und die Messung selbst für den Bediener konsequent voneinander getrennt werden. Der Bediener findet das Messprogramm auf dem Startbildschirm und kann es mit einem Mausklick direkt starten. Dieses Vorgehen lässt sich durch den Einsatz eines Scanners in Verbindung mit einer Kennzeichnung auf dem Bauteil noch weiter vereinfachen.

Einsparpotenziale in der Qualitätssicherung

Die Präzision und die Robustheit der Messgeräte aus der P-Baureihe von Klingelberg eröffnen interessante Einsparpotenziale in der Qualitätssicherung. Durch den Einsatz einer P 16 G als Ersatz für Lehren in der Produktion können sowohl die hohen Kosten für Lehren eingespart als auch die langen Wiederbeschaffungszeiten umgangen werden, die z. B. bei Zeichnungsänderungen auftreten. Zusätzlich ermöglicht die P 16 G, direkt an der Produktionsmaschine, die statistische Prozessregelung zu nutzen und auch die Nachverfolgbarkeit von Bauteilen aus der Produktion zu gewährleisten.

Mit der P-Baureihe „fit“ für Industrie 4.0

Eine Vielzahl von Messaufgaben direkt in der Produktion automatisch abarbeiten zu können, und dies bei einfachem Handling und möglichst lückenloser, digitaler Dokumentation – Klingelberg verfolgt bei der Entwicklung seiner Präzisionsmesszentren konsequent das Ziel, Einsparpotenziale in der Qualitätssicherung zu eröffnen. Die neue P 65 und die P 16 G sind zwei Beispiele aus dem Hause Klingelberg für innovative Lösungen im Sinne von Industrie 4.0. ◆

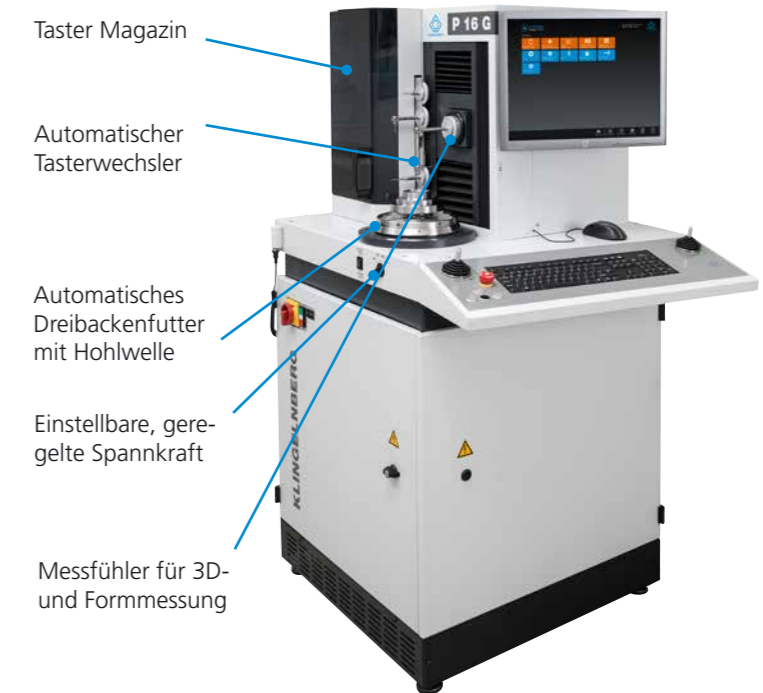


Abb. 9: Eine P 16 G kann mehrere Fertigungsmaschinen bedienen und Lehren ersetzen.

MESSBEISPIEL AUF EINER P 16 G



Abb. 8: Als Alternative zur Lehre kann auch direkt ein Präzisionsmessgerät eingesetzt werden.



Dr.-Ing. Christof Gorgels

Geschäftsbereichsleiter
Präzisionsmesszentren
KLINGELNBERG GmbH



Dipl.-Ing. Georg Mies

Leiter Entwicklung
Präzisionsmesszentren
KLINGELNBERG GmbH