

SCHLANKE MESSABLÄUFE MIT PRÄZISIONSMESSZENTREN

Moderne Getriebe, aber auch andere Antriebssysteme mussten sich in den letzten Jahren aufgrund beständig steigender Effizienzforderungen deutlich verändern. So zeichnen sich zum Beispiel Doppelkupplungsgetriebe oder neuartige Automatikgetriebe auf Bauteilebene durch eine extreme Funktionsintegration und Auslegungen in physikalischen Grenzbereichen aus – und stellen damit sehr hohen Anforderungen an die Fertigungsgenauigkeit. Diese engen Toleranzen erfordern wiederum eine angepasste Messtechnik, die den Fertigungsprozess überwacht und regelt. Denn nur so lässt sich die Qualität des Endprodukts garantieren.

Bei einer typischen wellenförmigen Komponente, wie sie unter anderem in einem Doppelkupplungsgetriebe eingesetzt wird, muss eine Vielzahl an qualitätsrelevanten Größen gemessen werden (Abb. 1). Diese Messgrößen werden klassisch in drei Gruppen eingeteilt:

1. Koordinatenmesstechnik
(z. B. Abstände, Durchmesser, Breiten)
2. Form- und Lagemessungen
(z. B. Rundheiten, Ebenheiten, Rundlauf, Rechtwinkligkeit)
3. Verzahnungsmessung
(z. B. Profil, Flankenlinie, Teilung, Zahndicke)

Messablauf traditionell

Diese Unterteilung spiegelt sich auch in der Ausstattung der Messräume und den Qualitätsmanagementprozessen wider. So läuft ein Messprozess heute überwiegend wie folgt ab: Die fertig bearbeiteten Bauteile werden in den Messraum gebracht

und dort nacheinander auf einer Koordinatenmessmaschine, einer Formmessmaschine und einem Verzahnungsmessgerät vermessen (Abb. 2). Dabei kommt es zu Wartezeiten zwischen den einzelnen Stationen. Denn die Messanforderungen aus der Produktionslinie sind nicht planbar und häufen sich beispielsweise am Schichtbeginn. Zudem sind oft nicht alle Maschinen frei und nicht jeder Mitarbeiter ist auch auf allen Maschinen geschult. Sind die qualitätsrelevanten Parameter aufgenommen, werden die gemessenen Bauteile zurück in die Fertigung gebracht und bei Bedarf an den Fertigungsmaschinen Maßnahmen zur Prozesskorrektur eingeleitet.

Dieser Ablauf kann je nach Größe der Fertigung und Auslastung des Messraums lange dauern. In dieser Zeit wartet die Fertigung entweder auf eine Freigabe oder arbeitet mit dem Risiko von Ausschuss weiter. Gerade bei kleinen Losgrößen und bei aufgrund enger Toleranzen unsicheren Fertigungsprozessen kann dies zu deutlichen Einbußen in der Gesamtanlageneffektivität der ganzen Linie führen.

Kompakt

Lean Production in Bestform

Alles „auf Linie“ bringen: Verzahnungsmessungen in die Produktionslinien zu integrieren, ermöglicht kleine, schnelle Qualitätsregelkreise, die eng mit dem Fertigungsablauf synchronisiert sind. Transport- und Wartezeiten minimieren sich ebenso wie Nacharbeit und Ausschuss.

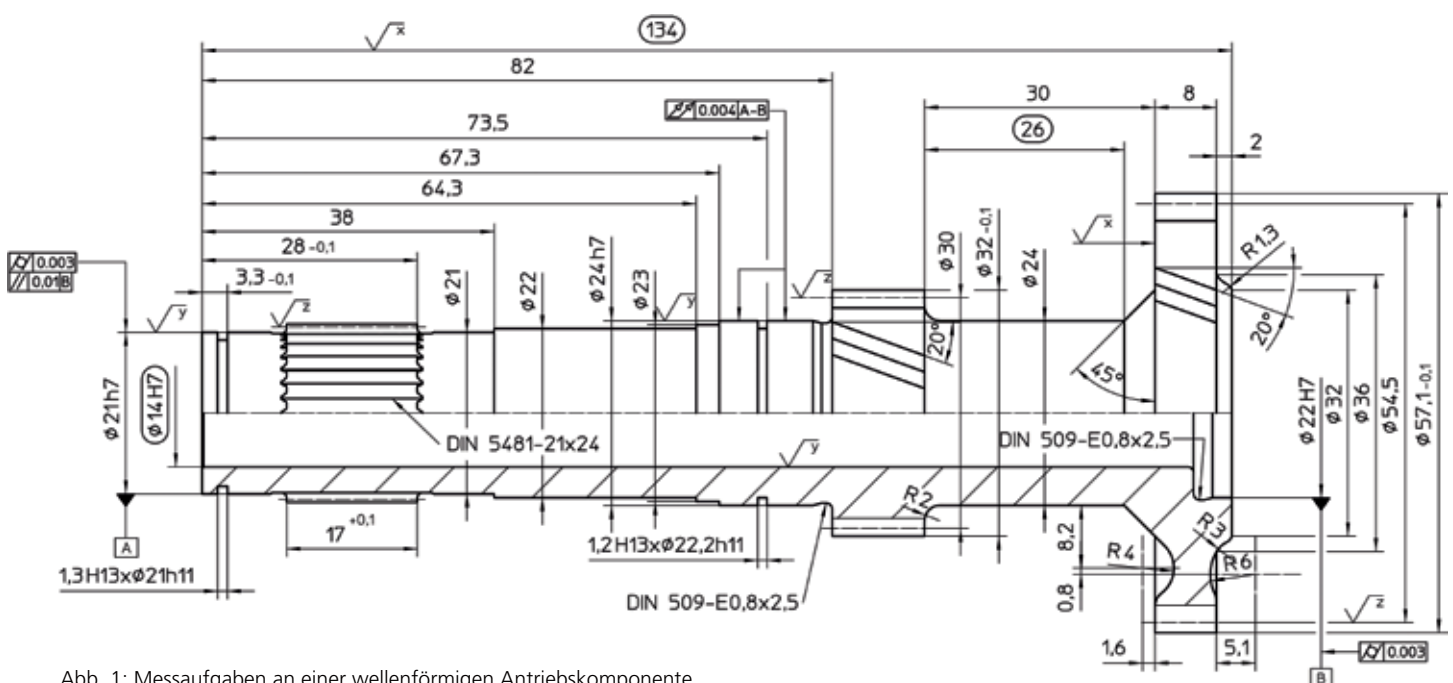


Abb. 1: Messaufgaben an einer wellenförmigen Antriebskomponente

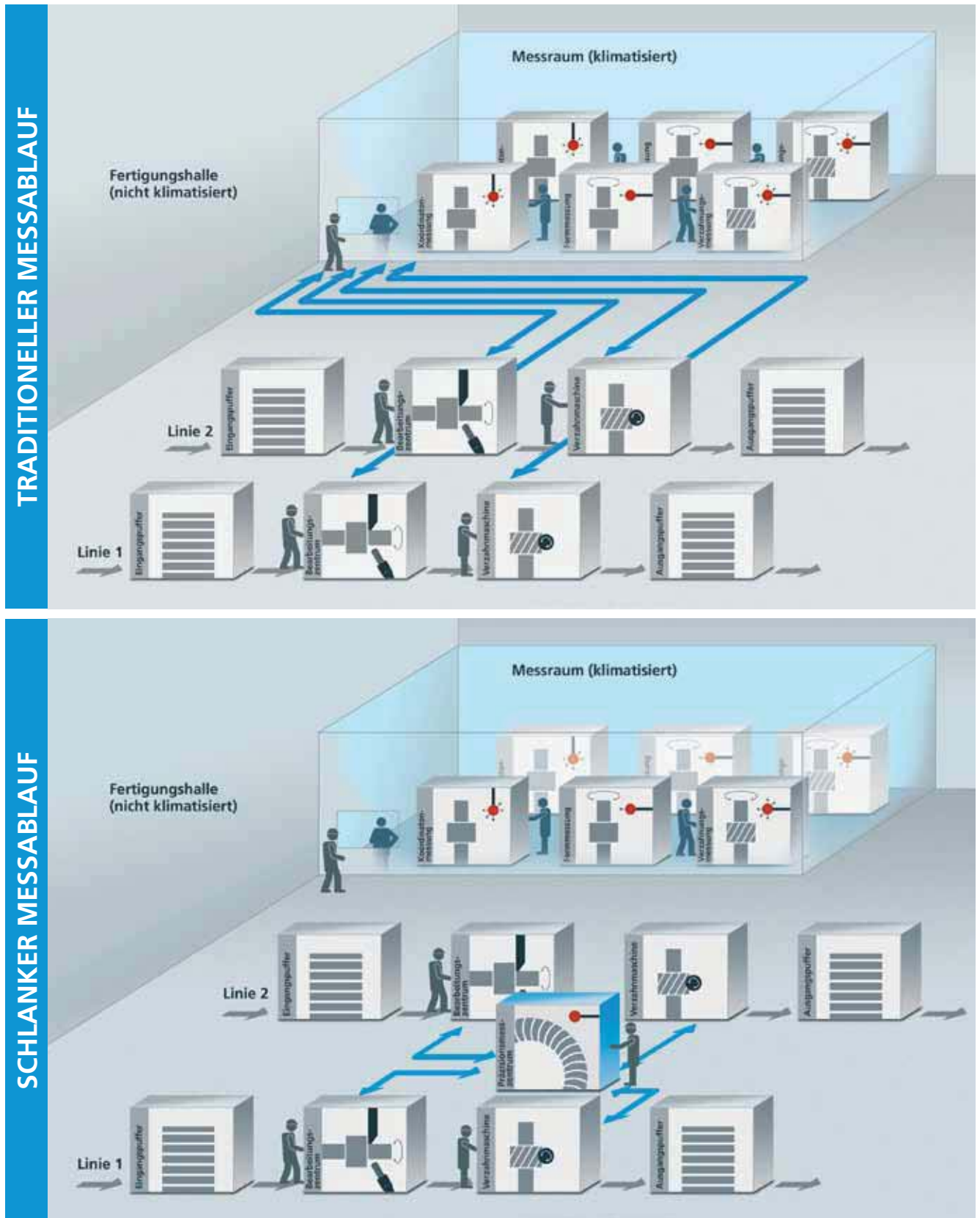


Abb. 2: Traditioneller und schlanker Messablauf

Analogien aus der Fertigungstechnik

Vergleicht man die messtechnischen Prozesse mit denen der Fertigung, so fallen zwei wesentliche Unterschiede auf: Zum einen die Entwicklung von einer Maschine pro Operation hin zu Maschinen, die integriert mehrere Fertigungsoperationen ausführen können (Bearbeitungszentren, „Inline-Maschinen“), und zum anderen die konsequente Umsetzung von Lean-Production-Konzepten, insbesondere im Hinblick auf die Prozessorientierung.

Funktionsintegration

In der Fertigungstechnik werden heute vermehrt auch bei großen Stückzahlen Maschinen eingesetzt, die mehrere Bearbeitungsverfahren in einem System integrieren, z. B. drehen, bohren und fräsen. Die Vorteile dieser Strategie sind vielfältig:

- Komplettbearbeitung in einem automatisierten Ablauf (kurze Durchlaufzeiten, weniger Personal, weniger Schulung)
- Einmalige Aufspannung (weniger Handling- und Transportaufwand sowie kleinere Puffer)
- Nur noch eine Maschine erforderlich (geringere Investitionen, höhere Flexibilität, hohe Auslastungen, geringerer Raumbedarf)

Eine solche Funktionsintegration ist jedoch in der Messtechnik schwierig, da die Anforderungen der drei Messverfahren sehr unterschiedlich sind. Das wird am Beispiel eines Zylinders deutlich: Eine Koordinatenmessmaschine kann an einem Zylinder zwar Höhe und Durchmesser ermitteln (absolute Messung), nicht aber die Rundheit. Eine Formmessmaschine wiederum kann zwar Rundheit oder Ebenheit auswerten, nicht jedoch den Durchmesser (relative Messung).

So kommen also prinzipiell nur Verzahnungsmessgeräte, die gleichzeitig absolute Maße wie Teilung oder Zahndicke

und relative Formen wie Profil oder Flankenlinie messen können, als Basis für ein „Messzentrum“ in Frage. Und selbst in dieser Geräteklasse bleiben zwei Herausforderungen bestehen: Die Formmessung setzt einen exakten Rundtisch sowie einen hochsensiblen Messkopf voraus – und für die Koordinatenmessung muss auf dem gesamten Verfahrensweg der Linearachsen die erforderliche absolute Messgenauigkeit eingehalten werden.

Lean-Production-Konzepte

In nahezu allen Produktionsbetrieben werden heute die Konzepte der Lean Production bzw. Weiterentwicklungen des Toyota-Produktionssystems (TPS) verwirklicht. Wesentliche Punkte sind hierbei die Vermeidung von Verschwendung („Muda“) durch synchronisierte Abläufe, die kontinuierliche Verbesserung der Prozesse und ein konsequentes Qualitätsmanagement, das Fehler umgehend und nachhaltig behebt.

Bezieht man diese Prinzipien auf die fertigungsbegleitende Messtechnik, wird deutlich, dass diese mit dem Ziel kleiner, schneller Qualitätsregelkreise räumlich und ablauftechnisch dem Fertigungsprozess

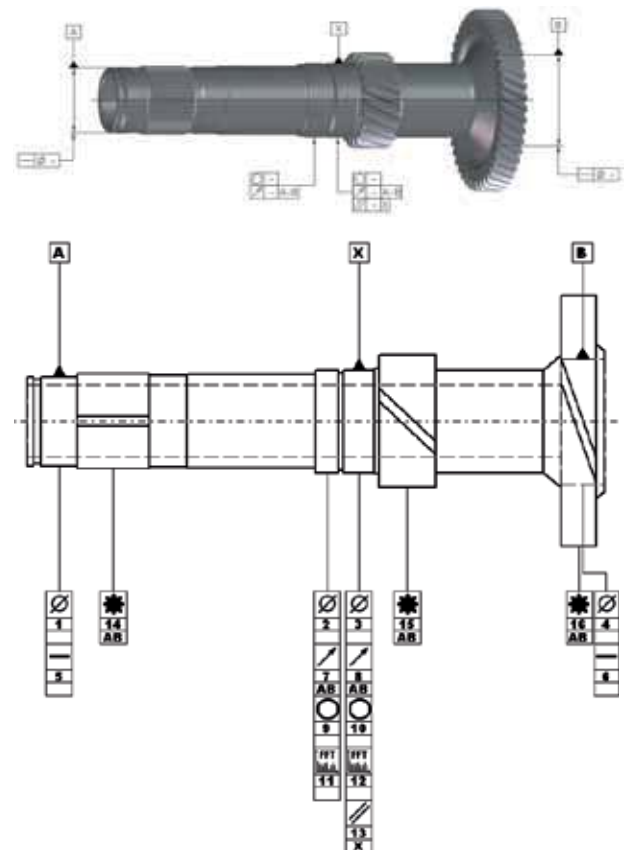


Abb. 3: Programmierung des Bauteils im Programm „Welle“

„Unsere Messmaschinen lassen sich direkt in der Produktionslinie aufstellen und messen dort mit höchster Genauigkeit. Weder Staub noch Temperatur ändern etwas daran.“

Dr. Marcus Stolz, Geschäftsbereichsleiter, Präzisionsmesszentren, KLINGELBERG GmbH

DIE P-BAUREIHE



Die Klingelnberg Messgeräte der P-Baureihe zeichnen sich heute durch folgende Merkmale aus:

- Geeignet für den fertigungsnahen Einsatz (Temperaturstabil im Bereich von 15 bis 35°C durch eine Kombination aus konstruktiven und softwaretechnischen Maßnahmen für Maschine und Bauteil, solide Konstruktion, d. h. hochgenaue Wälzlagerführungen, Maschinenbett aus Stahlguss)
- Geeignet für Koordinaten-, Form- und Verzahnungsmessung
- Rauheitsmessung (Bewertung der Oberflächenmikrostruktur mit einem automatisch einwechselbaren Rauheitsmesstaster)
- Höchste Genauigkeit (Verzahnungsmessung besser als VDI Gruppe 1, Messunsicherheit $U1 = 1,8 + L/250$, Rund- und Planlauf $< 0,5 \mu\text{m}$)
- Einfache grafische Programmierumgebung (Im Programm „Welle“ kann ein rotationssymmetrisches Bauteil entsprechend der Zeichnung modelliert und anschließend per Drag-and-Drop mit den Mess- und Auswerteoperationen ergänzt werden.)
- Vollautomatisierter Messablauf (Für die Serienmessung wird das Bauteil aus einer zentralen Datenbank ausgewählt, ansonsten läuft die Messung ohne Nutzereingriff. Die Messprotokolle werden ausgedruckt oder in einem Dokumentenmanagementsystem archiviert. Der Schulungsaufwand für die Mitarbeiter in der Produktionslinie ist minimal.)
- Schwingungsisolierung (Für die produktionsnahe Formprüfung, insbesondere bei der Welligkeitsanalyse, kann die Maschine mit einer Schwingungsisolierung ausgestattet werden.)

zugehörig und mit diesem synchronisiert sein sollte. So können vier der sieben Verschwendungsarten des TPS minimiert werden: Überflüssige Bewegungen, Wartezeiten, Transporte sowie Nacharbeit und Ausschuss.

Um so erstaunlicher ist die Tatsache, dass auch in sonst konsequent prozessorientiert denkenden Unternehmen die Messtechnik vielfach werkstatorientiert, d. h. in einem zentralen Messraum, organisiert ist. Und das hat viele Gründe:

- Umgebungsbedingungen in der Fertigung: In einem Messraum herrscht eine konstante Temperatur. Störungen der Messung durch Staub, Öl oder Zugluft sind weitgehend ausgeschlossen.
- Qualifikation der Mitarbeiter: Für die Programmierung und Bedienung der Messgeräte sind spezialisierte Mitarbeiter erforderlich.
- Auslastungsorientiertes Denken: In stabilen Fertigungsprozessen ist die zu prüfende Menge an Werkstücken in der Regel relativ gering. Werden dann noch drei unterschiedliche Messsysteme für eine einzige Fertigungslinie benötigt, lässt sich die Investition aufgrund der geringen Auslastung normalerweise nicht rechtfertigen.

Um auch die Messtechnik konsequent in die Fertigungsabläufe einzubinden, braucht es entsprechend Messgeräte, die auch in einem fertigungsnahen Umfeld hochpräzise messen, die einfach zu bedienen sind und die möglichst alle in der Linie erforderlichen Messoperationen durchführen können.

Eine für alles: Klingelnberg P-Baureihe

Die Firma Klingelnberg ist seit Jahren dafür bekannt, dass sie als „Vollsortimenter“ in der Kegelradfertigung ihre Kunden bei der Auslegung sowohl der Bauteile als auch der

Fertigungsprozesse unterstützt. Dabei bietet Klingelberg ein durchgängiges System, das alle Prozesse von der Auslegung des Bauteils über die Werkzeugfertigung und -einstellung sowie die Weich- und Hartbearbeitung bis zur abschließenden Qualitätskontrolle beinhaltet. Ein zentraler Aspekt dieses Systems ist die Verwirklichung von kleinen Qualitätsregelkreisen (Closed-Loops) in der Kegelradfertigung, die sicherstellen, dass immer nur fehlerfreie Teile weitergegeben werden.

Insofern bestand für die Messtechnik bei Klingelberg schon immer die Forderung nach fertigungsnahen Maschinen für die höchsten Verzahnungsqualitäten, die aber auch andere Bauteile wie z. B. Werkzeuge vermessen mussten.

Schlanker Messablauf

In diesem Sinne lässt sich mit einer Klingelberg P 26 als fertigungsnahes Präzisionsmesszentrum der traditionelle Messablauf deutlich effizienter gestalten. Bei diesem schlanken Messablauf ist die Messung vollständig in die Linie eingebunden (Abb. 2). Die Fertigungsmitarbeiter prüfen ihre Bauteile selbst und steuern bei Abweichungen mit Korrekturmaßnahmen gegen. Die Programmierung neuer Teile erfolgt durch eine zentrale Qualitätsabteilung, die auch für die Betreuung der Maschinen zuständig ist (einschließlich Einweisung, Tasterkalibrierung, Problembeseitigung etc.).

Eine solche Struktur wurde bereits vor einigen Jahren in der Kegelradfertigung realisiert. Seither gewinnt sie mehr und mehr Anhänger in der Automobil- und Automobilzulieferindustrie. Anwender schätzen neben den bereits genannten Vorteilen auch die Standardisierung, die ein solches Konzept mit sich bringt. So muss beispielsweise nur eine Software geschult werden, die Instandhaltung nur einen Maschinentyp warten und auch flexible Backup-Strategien bei Ausfällen sind möglich.

Für das Einstiegsbeispiel der Welle aus Abbildung 3 wird das Bauteil im Futter gespannt und komplett in einer Aufspannung vermessen. Am Lagersitz werden der Durchmesser und der Rundlauf relativ zu einer zuvor gemessenen Werkstückreferenzachse ermittelt. Aus der Formabweichung kann über eine Fourieranalyse die Welligkeit berechnet werden. Diese liefert wiederum wichtige Aussagen über den Fertigungsprozess (z. B. Schwingungen, Aufspannfehler, prozessbedingte Abweichungen) und das spätere Einsatzverhalten im Getriebe. Für die Verzahnung werden die üblichen Verzahnungskennwerte wie Profil, Flankenlinie und Teilung ermittelt.

Ausblick

Aktuell arbeitet Klingelberg daran, die in der Formmessung verwendeten Welligkeitsanalysen auch auf die Verzahnungsmessung zu übertragen. So können zum Beispiel Herstellungsfehler aufgedeckt werden, die zu Geräuschen im Getriebe führen. Für diese Fehler existieren zwar heute noch keine genormten Kennwerte, die Technologieführer haben aber bereits erkannt, dass Welligkeiten bei den steigenden akustischen Anforderungen messtechnisch berücksichtigt werden müssen. Aufgrund ihrer Eignung für die Form- und Oberflächenmessung sind Klingelberg Messzentren bereits heute nachweislich für diese Aufgaben gerüstet. ◆



Dr. Marcus Stolz

Geschäftsbereichsleiter
Präzisionsmesszentren,
KLINGELNBERG GmbH