

# KOMPLETTVERMESSUNG ROTATIONSSYMMETRISCHER BAU- TEILE AUF EINER MASCHINE

Die Verzahnungstechnik stellt an eine Messmaschine besonders hohe Anforderungen: Sie muss eine hohe Messgenauigkeit für die kontinuierliche Messwert-Aufnahme (scanning) bei der Profil- und Flankenlinien-Messung an Zahnflanken aufweisen und hierbei auch kleinste Abweichungen mit einer hohen Punktdichte erfassen. Bei diesen Aufgaben handelt es sich um eine anspruchsvolle Kombination aus hochgenauer Form- und Koordinatenmessung. Die Präzisionsmesszentren von Klingelnberg besitzen diese Eigenschaften und ermöglichen damit auch kombinierte Messaufgaben an rotationssymmetrischen Bauteilen, die klassisch häufig auf mehreren Maschinen erfolgen.

**D**ie zentrale Herausforderung der Verzahnungsmessung ist die Kombination von hochgenauer Bahnmessung, allgemeiner Formmessung und absoluter 3D-Messung auf einer Maschine, ohne Abstriche bei der Genauigkeit machen zu müssen. Bei der Qualitätsprüfung von Verzahnungen werden Absolutmaße wie z. B. die Zahndicke oder der Kopfkreis-Durchmesser – beides Beispiele für die Koordinatenmessung – gefordert. Gleichzeitig muss aber auch sichergestellt werden, dass die Formabweichungen, z. B. von Profil- und Flankenlinie, in sehr engen Grenzen bleiben. Sollen darüber hinaus noch Bewertungen hinsichtlich des Geräuschverhaltens der Verzahnung auf Basis der Welligkeiten im Profil durchgeführt werden, steigen die Anforderungen an die Formmess-Genauigkeit der Messmaschine noch weiter.

Diese Eigenschaften der Messmaschine können nicht nur für die Verzahnungsmessung gewinnbringend eingesetzt werden. Die Präzisionsmesszentren von Klingelberg können die allermeisten Messaufgaben auch an Wellen erledigen. Das gilt sowohl für die Koordinaten- als auch die Formmessung.

## Formmessung mit selbst entwickelter Technik

Eine entscheidende Komponente der Maschinen von Klingelberg ist das kontinuierlich messende 3D-Tastsystem. Das Tastsystem muss für die Formmessung ideale Scanning-Eigenschaften aufweisen. Hierzu sind sehr geringe Mess- und Auslenkkräfte sowie eine niedrige Trägheit der Tastsystem-Kinematik erforderlich. Darüber hinaus wird eine hohe Abtastfrequenz und ein optimales Verhältnis zwischen Auslenkung und Messsignal benötigt. Gleichzeitig muss das Tastsystem aber auch in allen Antastrichtungen ein robustes, störungsfreies Messsignal liefern und optimal vor Beschädigungen durch Kollision oder Fehlbedienung geschützt sein. Daher setzt Klingelberg mit dem 3D-Tastsystem M44 konsequent auf

eine Eigenentwicklung, die die Anforderungen an Präzision und Robustheit in vollem Umfang erfüllt.

Eine weitere zentrale Komponente als Voraussetzung für eine hohe Formmess-Qualität auf den Klingelberg Präzisionsmesszentren ist die Werkstück-Rundheitsprüfgenauigkeit der Werkstück-Drehachse etwa um den Faktor 10 genauer sein, als die Toleranz des zu messenden Bauteils. In den meisten Fällen werden bei Formprüf-Maschinen Luftlager eingesetzt, die eine sehr hohe Rundheitsprüfgenauigkeit ermöglichen. Diese besitzen aber nicht die notwendige Robustheit für ein Messen in der Produktion, wie es bei Klingelberg seit vielen Jahren Stand der Technik ist. Daher setzt Klingelberg hier auf eine Eigenentwicklung mit einer speziellen Präzisionswälzkörper-Technologie. Um mit dieser Technik die notwendige Genauigkeit erreichen zu können, werden die Lager von Klingelberg selbst hergestellt.

## Die „perfekte Welle“

Das Ergebnis all dieser Bemühungen ist eine Messmaschine, die nicht nur in der Verzahnungsmesstechnik, sondern auch in der allgemeinen Wellen-Messtechnik über herausragende Eigenschaften verfügt. Die Philosophie bei Klingelberg ist, dass auf einer Welle nicht nur das Zahnrad, sondern die gesamte Welle mit allen zu messenden

## Kompakt

### Eine für alles

Kein Umspannen, kein Maschinenwechsel: Die Präzisionsmesszentren von Klingelberg kombinieren hochgenaue Form-, Koordinaten- und Oberflächenmessungen – Aufgaben, die sonst klassischerweise mehrere Maschinen übernehmen. Dabei messen sie als „Allrounder“ sowohl Verzahnungen als auch Kurbel- und Nockenwellen – und können direkt in der Produktion eingesetzt werden.

Hinter den vielfältig einsetzbaren Präzisionsmesszentren von Klingelberg stehen Eigenentwicklungen von Technologien und Werkzeugen – sie machen den Einsatz der Messmaschinen in der Produktion erst möglich.

## Aufbau P 40



Abb. 1: Präzisionsmesszentren wie die P 40 erlauben die Messung der gesamten Welle mit allen zu messenden Parametern.

Selbst Bauteile, die keine Verzahnungskomponente mehr enthalten, können mit Präzisionsmesszentren wie der P 40 vermessen werden.

Parametern auf einer Messmaschine vermessen werden kann. Inzwischen sind die Entwicklungen hier so weit fortgeschritten, dass auch viele Bauteile, die keine Verzahnungskomponente mehr enthalten, auf Klingelberg Präzisionsmesszentren vermessen werden (siehe hierzu auch Abbildung 1).

Typische Beispiele für solche Wellenmessaufgaben sind Kurbelwellen oder Nockenwellen im Motorenbau. Bei diesen Bauteilen ist eine Vielzahl von geometrischen Messoperationen erforderlich.

Hierbei kann neben der Koordinaten- und Formmessung auch die Oberflächengüte direkt in einem Ablauf geprüft werden.

### Blick aufs Detail: Kurbelwelle ...

Zentrale Elemente einer Kurbelwelle sind die Haupt- und Hublager, bei denen – neben der Geometrie – die Rundheit und der Rundlauf entscheidende Parameter sind. Ein weiteres Qualitäts- und damit Prüfkriterium bei den Hublagern ist die Winkelposition. Bei der Prüfung der Lagersitze (siehe Abbildung 2a) werden Maß, Form und Lage gemessen. Bei der Prüfung des Antriebsflansches (siehe Abbildung 2b) stehen die Positionsprüfung der Bohrungen und auch die Winkellage der Passbohrung, z.B. in Relation zu den Hublagern oder zur Verzahnung, im Fokus. Dafür wird ein abgewinkelter Taster eingesetzt, der über einen automatischen Tasterwechsler gewechselt werden kann.



## KURBELWELLEN-MESSUNG AUF EINER P 40



Abb. 2a: Messung der Lagersitze (Maß, Form und Lage)



Abb. 2b: Prüfung des Antriebsflansches (Messung von Bohrung und Winkellage); im Hintergrund ist der automatische Tasterwechsler zu sehen.

## ... und axialer Lagersitz

Ein axialer Lagersitz beispielsweise fordert wiederum andere Messaufgaben: zum einen die Messung des Übergangsradius zwischen der radialen und der axialen Lager-Lauffläche (siehe Abbildung 3a), zum anderen die Rauheitsmessung an der axialen Lager-Lauffläche (siehe Abbildung 3b). Zur Rauheitsmessung wird ein Kufen-Tastsystem eingesetzt, das je nach Aufgabenstellung mit einer Tastnadel mit einem Spitzenradius von entweder 5 µm oder 2 µm ausgerüstet ist. Damit ist eine normkonforme Rauheitsmessung direkt auf dem Präzisionsmesszentrum möglich.

## Rauheitsmessung

Die Rauheitsmessung ist integraler Bestandteil des Messablaufs. Der Rauheitsmesstaster wird wie ein normales Tastelement über einen Standard-Wechselteller an dem 3D-Tastsystem M44 befestigt. Dadurch kann der Rauheitsmesstaster über den automatischen Tasterwechsler gewechselt werden. Hierzu hat Klingelberg eine spezielle Adaption entwickelt, mit der die Steckverbindung des Rauheitstasters beim automatischen Wechseltorgang auch



Abb. 3a: Messung des Übergangsradius am axialen Lagersitz



Abb. 3b: Rauheitsmessung an der axialen Lager-Lauffläche



Abb. 4a: Nockenwellen-Messung

automatisiert eingesteckt wird. Der Rauheitstaster verfügt über eine integrierte motorische Dreheinrichtung, mit der die Antastrichtung passend zur Messaufgabe automatisch eingestellt wird. Durch diese Voraussetzungen können unterschiedliche Rauheitsmessungen in den automatischen Messablauf einbezogen und das gesamte Bauteil in einem Ablauf vollständig vermessen werden. Ein weiterer Vorteil dieser Vorgehensweise ist die Reproduzierbarkeit, die damit erreicht wird. Da der Rauheitstaster wie ein normales Tastelement auf dem 3D-Tastsystem eingewechselt und dort auch geführt wird, ist sichergestellt, dass die Rauheitsmesswert-Aufnahme immer exakt an der gleichen Position auf dem Bauteil er-

folgt. So lassen sich genau definierte Messungen reproduzierbar im funktionsrelevanten Bereich des Werkstücks sicherstellen.

## Kettenrad- und Stirnrad-Vermessung

Selbstverständlich werden auf derselben Messmaschine in einer Aufspannung auch die Kettenrad- und die Stirnrad-Verzahnung vermessen. Speziell bei der Messung der Stirnrad-Verzahnung kommt die langjährige Erfahrung von Klingenberg zum Tragen. In der Messsoftware für Stirnräder existieren viele Auswerteooptionen, mit denen alle weltweit relevanten Normen (z. B. DIN, ISO, AGMA) abgedeckt werden. Hinzu kommen

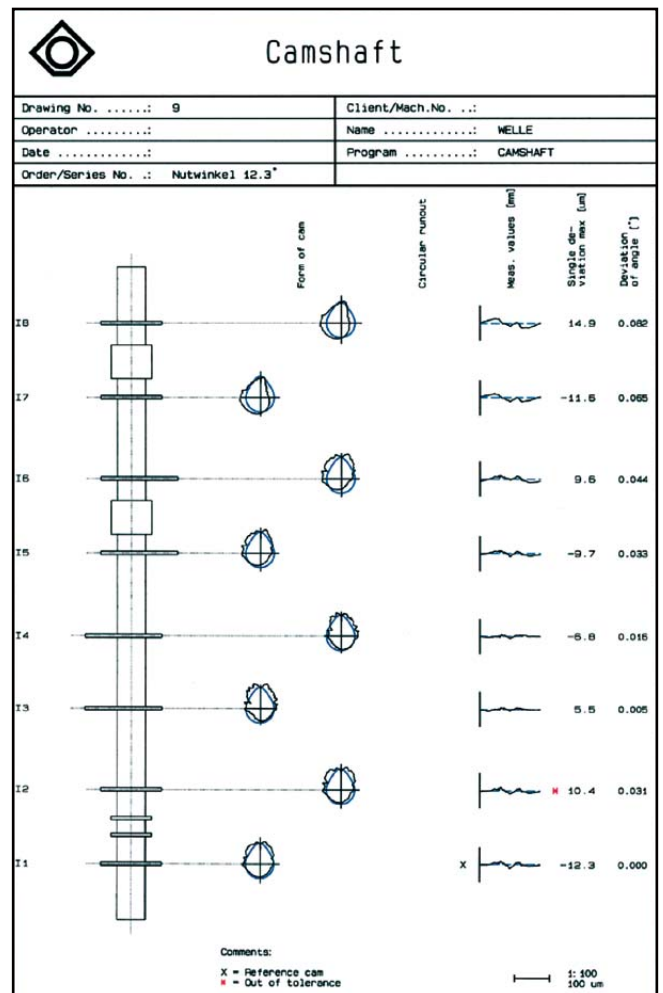
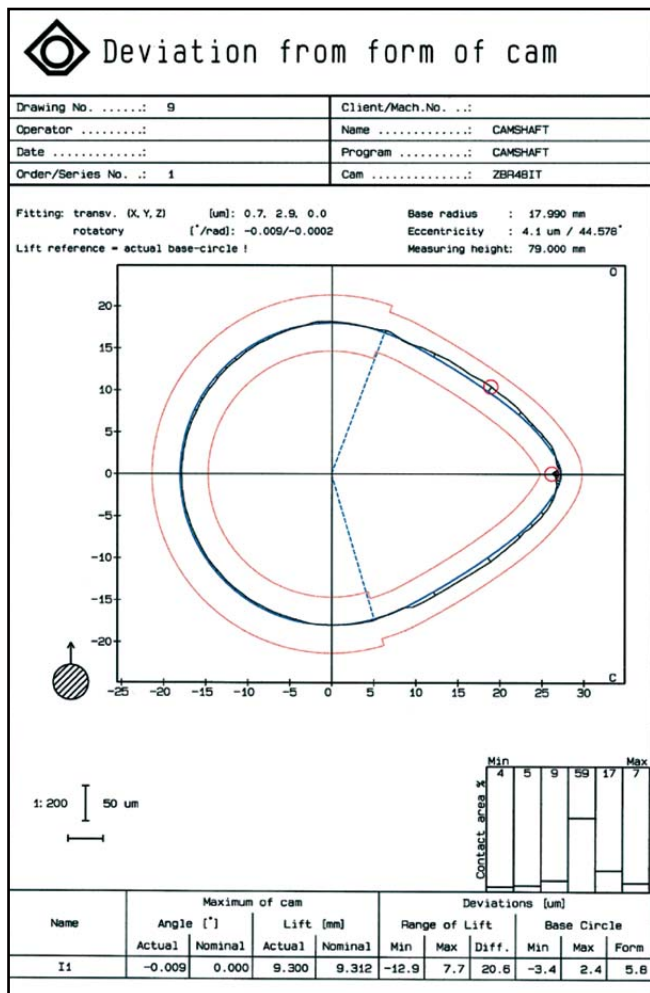


Abb. 4b: Ergebnis einer Nockenwellen-Messung: Das linke Messblatt zeigt die Messaufgaben für die einzelne Nocke an; alternativ können auch alle Nocken in einer Übersicht dargestellt werden, um einen Überblick über das gesamte Bauteil zu bekommen (rechtes Messblatt).

die Werknormen nahezu aller namhaften Verzahnungs- und Getriebehersteller, was speziell für die Zulieferindustrie große Vorteile mit sich bringt.

## Prüfung der Nockenwelle

Ein weiteres Feature bei der Wellenmessung ist die Prüfung von Nockenwellen. Hierbei wird die Sollgeometrie der Nocke mit dem realen Messergebnis bzw. der realen Nockengeometrie verglichen (siehe hierzu Abbildungen 4a/b). Dabei kann der Anwender wählen, ob für die Messaufgabe die einzelne Nocke im Vordergrund steht – oder ob er sich alternativ in einer Übersicht alle Nocken anzeigen lassen will, um einen Überblick über das gesamte Bauteil zu bekommen. Hierbei kann natürlich neben der Nockenform auch die Position der Hochpunkte der unterschiedlichen Nocken zueinander ausgewertet werden.

## Einsatz in der Produktion

Ein ganz wesentlicher Aspekt für den Einsatz von Klingelberg Präzisionsmesszentren ist das vorteilhafte Temperaturverhalten der Maschine, das durch eine wirkungsvolle Temperaturkompensation ergänzt wird. In vielen Anwendungen werden die Messmaschinen heutzutage direkt in der Produktion eingesetzt. Hierdurch können in der Produktion lange Wege zum Messraum und damit unproduktive Wartezeiten, speziell bei der Erstteilmessung und damit bei der Fertigungsfreigabe, vermieden werden. Ermöglicht wird der Einsatz in der Produktion durch ein geeignetes Maschinenkonzept und die Kompensation von Temperatureinflüssen. Hier wirkt sich der konsequente Einsatz von Stahlwerkstoffen für den Maschinenaufbau positiv aus, da die Maschinenkomponenten und das zu messende Bauteil den gleichen Temperaturdehnungskoeffizienten aufweisen. Auf Basis von Messungen der Umgebungs-, Maschinen- und Werkstück-Temperatur wird darüber hinaus eine rechnerische Restfehler-Kompensation

durchgeführt. So ist ein Einsatz der Messmaschinen im Produktionsumfeld möglich – und ein klimatisierter Messraum in vielen Fällen nicht mehr erforderlich. Vervollständigt wird die Messung in der Produktion durch die optional erhältliche, integrierte Schwingungsisolierung (siehe Abbildung 1).

## Fazit

Speziell in der Antriebstechnik können viele Bauteile vollständig auf einem Präzisionsmesszentrum von Klingelberg vermessen werden. Der Hauptvorteil liegt hierbei in der Kombination von Form-, Koordinaten- und Oberflächenmessung auf einer Messmaschine. Maschinenwechsel und Umspannvorgänge können so entfallen. Hinzu kommt die Möglichkeit, viele Messaufgaben direkt in einem automatischen Ablauf durchzuführen. Diese Eigenschaften zur Optimierung der Wirtschaftlichkeit bei der Vermessung von komplexen rotations-symmetrischen Bauteilen wird durch die Möglichkeit der Messung direkt in der Produktion gut ergänzt. ◆

## SCHNELLESE-INFO

- Kombination von Form-, Koordinaten- und Oberflächenmessung
- Messung komplexer, rotations-symmetrischer Bauteile (z. B. Kurbel- und Nockenwellen)
- Vielzahl an Messaufgaben in einem automatisierten Ablauf
- Hohe Reproduzierbarkeit
- Messsoftware deckt alle weltweit relevanten Normen sowie Werknormen namhafter Verzahnungs- und Getriebehersteller ab
- Wirkungsvolle Temperaturkompensation ermöglicht Einsatz in der Produktion

Produktionsnah fertigen: Durch den Einsatz von Stahlwerkstoffen weisen die Maschinenkomponenten und das zu messende Bauteil den gleichen Temperaturdehnungskoeffizienten auf.



Dr.-Ing. Christof Gorgels

Geschäftsbereichsleiter Messgerätebau,  
KLINGELNBERG GmbH