


VOLLAUTOMATISCHE RAUHEITSMESSUNG „EN MINIATURE“



Für die Oberflächenmessung auf den Präzisionsmesszentren bietet Klingelberg jetzt einen neuen Rauheitstaster an, mit dem Verzahnungen ab einem Modul von 0,9 mm vermessen werden können. Damit definiert Klingelberg hinsichtlich seiner Taster einen neuen technischen Standard für die Rauheitsmessung von Verzahnungsbau­teilen – und bietet ideale Voraussetzungen für die Messung hochgenauer Verzahnungskomponenten, wie sie beispielsweise in modernen PKW-Getrieben zum Einsatz kommen.

Nicht nur die Bauteil-Geometrie, sondern auch die Oberflächenbeschaffenheit der Funktionsflächen von Verzahnungsbauteilen spielt eine große Rolle für deren einwandfreie Funktion im Getriebe. Noch vor wenigen Jahren stand dieser Aspekt in der Serienfertigung von Standardgetrieben nicht so sehr im Fokus. Durch neue oder weiterentwickelte Technologien in der Bearbeitung können mittlerweile sehr glatte Oberflächen auch in der Großserie wirtschaftlich erzeugt werden. Moderne Fertigungsverfahren wie Gleitschleifen und Polierschleifen haben hierzu einen wesentlichen Beitrag geleistet.

Möglichst definierte Oberflächeneigenschaften sind eine entscheidende Variable und oftmals auch die Grundvoraussetzung für wertvolle Verbesserungen in der Antriebstechnik. Speziell in der Fahrzeugindustrie und im Besonderen in der Elektromobilität ist die Oberflächenbeschaffenheit der Verzahnungsbauteile essenziell: In Verbindung mit Elektroantrieben werden sehr hohe Drehzahlen übertragen, was zu neuen Herausforderungen bei der Getriebe- und Verzahnungsauslegung führt. Aber auch bei konventionellen Antrieben mit Verbrennungsmotor können glattere Verzahnungen entscheidend zur Verbesserung der Laufeigenschaften beitragen. Zur Reduzierung von Geräuschen, Reibung und Verlustleistung werden deshalb mittlerweile Oberflächen mit R_z unter $0,5 \mu\text{m}$ in der Serie eingesetzt.

Infolgedessen hat auch die Bedeutung der Rauheitsmessung von Verzahnungen stark zugenommen. In diesem Zusammenhang nutzt die Industrie neben der klassischen Auswertung der Rauheitsmesskurve über Einzelmessstrecken zunehmend auch die Materialanteil-Auswertung, mit der zusätzliche, für die Beurteilung der Oberflächeneigenschaften nützliche Kenngrößen ermittelt werden

können (siehe Infokasten Rauheitsmesskurve und Materialanteil-Auswertung).

Einen Trend setzen

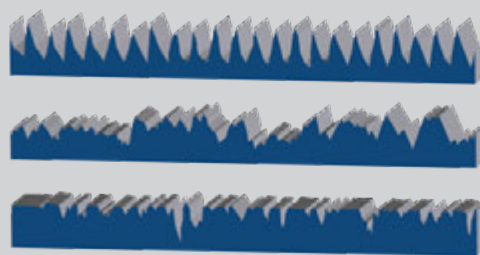
Diese Entwicklungen zeichneten sich in dieser Form noch gar nicht ab, als Klingelberg vor zehn Jahren in Zusammenarbeit mit einem auf Oberflächen-Messtechnik spezialisierten Anbieter ein Rauheitsmesssystem entwickelte, das eine optimale Aufnahme der Rauheitskenngößen speziell an Verzahnungen ermöglicht. Die mit einer integrierten Dreheinrichtung ausgestatteten Rauheitstaster wurden so stark miniaturisiert, dass sie über den Standard-Wechselteller genau wie die taktilen Taststifte für die Messung der Geometrie am Klingelberg 3D-Tastsystem betrieben werden können. Dadurch sind die Rauheitsmessabläufe analog zur Verzahnungsmessung nutzbar, sodass dabei optimale Antastbedingungen gewährleistet sind. Zwischen dem taktilen Taststift und dem

Kompakt

Rauheitsmessung in neuen Dimensionen

Moderne Fertigungsverfahren wie Gleit- und Polierschleifen sorgen für immer glattere Oberflächen bei Verzahnungsbauteilen. Präzisionsmesszentren der P-Baureihe ermöglichen eine systematische Erfassung von Bauteil-Geometrie und Oberflächenbeschaffenheit in einem vollautomatischen Messablauf – bei Klingelberg jetzt auch für kleinste Größen ab Modul $0,9 \text{ mm}$.

RAUHEITSMESSKURVE UND MATERIALANTEIL-AUSWERTUNG



feinstgefräste Oberfläche

geschliffene Oberfläche

gehonte Oberfläche

Diese drei Oberflächenprofile verdeutlichen die Bedeutung der Materialanteil-Auswertung: Obwohl die Charakteristik der Oberflächen bedingt durch die unterschiedlichen Fertigungsverfahren völlig unterschiedlich ist, würde in allen drei Fällen der gleiche R_a -Wert ermittelt.

Über die Materialanteil-Auswertung erhält man dagegen klare Kenngrößen, die aus der unterschiedlichen Materialdichte über den Höhenverlauf vom obersten Punkt der Oberfläche bis zum Übergang ins Vollmaterial resultieren. Die Charakteristika wie z. B. hohe Spitzen mit breiten Tälern oder breite Plateaus mit engen Vertiefungen werden über die Materialanteil-Kenngrößen R_k , R_{vk} und R_{pk} sowie Mr_1 und Mr_2 ermittelt, die bei den drei Oberflächen deutlich unterschiedlich ausfallen.



Abb. 1: Rauheitstaster und Steckverbinder: In den sehr kompakten Klingelberg Rauheitstastern ist neben der Sensorik auch eine präzise Schwenkeinrichtung integriert. So können die Rauheitstaster wie die taktilen Taststifte am Wechselteller betrieben und automatisch eingewechselt werden. Besonders komfortabel: der automatisierte Steckvorgang.



Abb. 2 und 3: Durch die optimierten Mess- und Antaststrategien des Gleitkufen-Tastsystems verhält sich die gekrümmte Oberfläche relativ zum Rauheitstaster wie eine ideale Ebene – hier dargestellt am Beispiel der Profilmessung an einer Evolventenverzahnung.

Rauheitstaster ist ein automatischer Wechsel möglich, was eine vollautomatische Komplettvermessung – bestehend aus Verzahnungsmessung, Maß-, Form- und Lagemessung sowie der Rauheitsmessung – in einer Aufspannung möglich macht. Durch die präzisen CNC-gesteuerten Messabläufe werden dabei Reproduzierbarkeiten von 0,01 µm erreicht.

Ein Meilenstein

Die Integration dieses Rauheitsmesssystems in das Gesamtkonzept der Präzisionsmessmaschinen war ein echter Meilenstein: Damit gelang es Klingelberg, Rauheitsmessungen an Verzahnungen in einem vollautomatischen Ablauf zu realisieren. 2014 und 2015 wurden im Zusammenhang mit dieser Entwicklung Patente an Klingelberg erteilt. „Wir kombinierten unsere Kompetenz in der Verzahnungsmessung mit dem Know-how der Rauheitsmessung – wohin uns das Ganze tragen würde, war schwer einzuschätzen“, erinnert sich Jan Häger, Projektleiter für die Softwareentwicklung, an die Entwicklungszeit. „Anfangs mussten wir bei unseren Kunden auch tatsächlich etwas Überzeugungsarbeit leisten. Mittlerweile wird das von uns entwickelte Rauheitsmesssystem stark nachgefragt und geschätzt.“

Die Möglichkeit der systematischen Messung über einen vollautomatischen Ablauf in fertigungsnaher Umgebung unterscheidet das Klingelberg System auch heute noch von vielen anderen Rauheitsmeseinrichtungen. Das System von Klingelberg wird heute weltweit bei einigen hundert P-Maschinen erfolgreich eingesetzt.

Jetzt lassen sich auf den Präzisionsmessmaschinen der P-Reihe selbst feinste Strukturen bei gleitgeschliffenen Verzahnungen hochgenau erfassen und auswerten – vollautomatisch.

Warum eine eigene technische Lösung?

Die Rauheit von Verzahnungsbauteilen mit anderen etablierten Techniken zu messen, ist nicht so einfach. In der Fachliteratur und den Normen zur Rauheitsmessung werden oft Frei-Tastsysteme bzw.

Bezugsebenen-Tastsysteme empfohlen oder gefordert. Durch die evolventische Krümmung der Zahnkontur in der bevorzugten Messrichtung bei Verzahnungen ist die Verwendung dieser Systeme aber problematisch. Die Antastbedingungen verschieben sich durch diese Krümmung mitunter sehr deutlich – insbesondere, wenn man längere Taststrecken verwendet. Insgesamt treten bei der Verwendung dieser Systeme folgende Nachteile auf:

- Eine optimale Antastung der Diamantnadel in Normalenrichtung ist nur in einem Teil der Antaststrecke gewährleistet.
- Durch diesen Effekt entstehen bei der Filterung Fehler, die ausgeglichen werden müssen.
- Die große Tasterauslenkung, die dabei entsteht, erfordert einen entsprechend großen Messbereich, der die Auflösung des Messsignals einschränken kann.
- Das Einrichten für die Messung an Verzahnungen ist aufwendig und fehleranfällig.
- Systematische Serienmessungen mit konstanten Bedingungen sind oft nicht möglich.
- Die Systeme reagieren sensibel auf Schwingungen.

„Unter Laborbedingungen sowie für Referenzmessungen sind diese Systeme zweifelsohne das Mittel der Wahl“, so die Einschätzung von Peter Mancasola, Anwendungstechniker. „In Verbindung mit der Verzahnungsmessung und der Integration in den P-Maschinen stand für uns aber eine anwenderfreundliche, robuste und gegen Schwingungseinflüsse unempfindliche Lösung für den produktionsnahen Einsatz im Vordergrund.“ Diese Anforderungen erfüllt das von Klingelnberg entwickelte Gleitkufen-Tastsystem, das auch komplexe Bewegungsabläufe mit bis zu vier Maschinenachsen zulässt.

Vorteile eines Gleitkufen-Tastsystems

Die Messbewegungen werden bei einem Gleitkufen-Tastsystem so gesteuert, dass für die Gleitkufe und die Tastnadel eine lineare Bewegung relativ zur Oberfläche entsteht. Über die integrierte Schwenkeinrichtung werden die Diamantnadel und die Gleitkufe automatisch optimal zur Oberfläche ausgerichtet. So werden folgende Vorteile gegenüber der Messung mit Bezugsebenen-Tastsystemen erreicht:

- Die Antastung der Diamantnadel erfolgt über den gesamten Messweg optimal in Normalenrichtung zur Oberfläche, unabhängig von der Messlänge.
- Die Antastkraft der Diamantnadel kann sehr klein gehalten werden, da über die deutlich höhere Antastkraft der Gleitkufe eine sichere Anlage des gesamten Tastsystems auf der Oberfläche gewährleistet wird.
- Durch die wälzende Messbewegung wird die evolventische Krümmung vollständig ausgeglichen und somit quasi eine Linearisierung der Abtastung auf der Verzahnungsoberfläche erreicht (siehe Abbildungen 2 und 3).
- Über die Auslenkung des 3D-Tastsystems wird die Auslenkung der Gleitkufe unabhängig von der Diamantnadel-Auslenkung erfasst.
- Die Diamantnadel nimmt ausschließlich die Oberflächenrauheit auf. Dadurch kann ein kleiner Messbereich mit einer sehr hohen Auflösung verwendet werden.
- Durch die Verstärkung und Auswertung des Differenzsignals zwischen Gleitkufe und Diamantnadel werden Schwingungseinflüsse sehr wirkungsvoll ausgekoppelt.
- Die Diamantnadel ist in dem Schaft mit der Gleitkufe so eingebettet, dass sie vor Beschädigungen geschützt wird.

SCHNELLESEINFO

Alle Präzisionsmesszentren der P-Baureihe können mit einer hochpräzisen Rauheitsmess-Einrichtung ausgestattet werden.

- Vollautomatische Rauheitsmessung an Verzahnungen ab Modul 0,9 mm sowie an Wellen und Planflächen
- Auswertung der Rauheitskenngrößen nach DIN EN ISO 4287 (Ra, Rz, Rt, Rmax)
- Auswertung der Traganteil-Kenngrößen nach DIN EN ISO 13565-2 (Rk, Rpk, Rvk, MR1, MR2)
- Sehr hohe Auflösung von 7 nm
- Integrierte motorische Schwenkeinrichtung zur automatischen Ausrichtung der Diamantnadel mit einem Spitzenradius von 2 µm oder 5 µm
- Optimale Antastbedingungen durch Messabläufe analog zur Verzahnungsmesstechnik
- Einfachstes Handling durch Integration in den normalen Messprozess
- Exakte Messung selbst in fertigungsnaher Umgebung

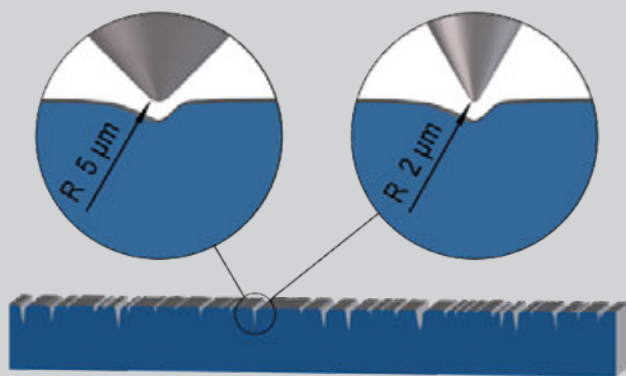
Abb. 4: Die Makroaufnahme des neuen Rauheitstasters für Verzahnungen ab Modul 0,9 mm zeigt die Gleitkufe in Relation zur Diamantnadel. Trotz der extrem kleinen Abmessungen des Gesamtsystems wurde ein Verhältnis von 1:1000 zwischen Spitzenradius und Gleitkufen-Radius erreicht. Dieser Rauheitstaster ist grundsätzlich mit der 2- μm /60°-Diamantnadel ausgestattet.



„Knackpunkte“ in der Entwicklung

Um auch in kleine Verzahnungslücken eintauchen zu können, wählte Klingelberg bereits bei dem 2012 eingeführten Taster für Module ab 1,6 mm ein spezielles Gleitkufen-Design, das sowohl eine schlanke Bauform zulässt als auch große Gleitkufenradien ermöglicht. Dies mit optimalen Gleiteigenschaften und die stark integrierende Wirkung auf der Oberfläche gewährleisten dabei eine hohe Messsignal-Qualität. Den Taster gibt es neben der Ausführung mit 5 μm Diamantspitze jetzt auch mit einem Diamanten, der einen Spitzenradius von 2 μm und einen Winkel von 60° aufweist.

MINIATURISIERUNG DES TASTERS: SPITZENRADIUS VON 2 μm



Gleitgeschliffene Verzahnungen erfüllen höchste Anforderungen: Sie weisen einen sehr großen Materialanteil auf – dank ihrer Oberflächenbeschaffenheit mit breiten Plateaus und sehr schlanke Riefen. Eine Herausforderung an die Messtechnik.

Bei der Darstellung des Höhenprofils wird typischerweise eine starke Überhöhung in senkrechter Richtung zur Oberfläche genutzt, wie auch in diesem Beispiel. Dadurch wirken die gerade mal 0,5–1,5 μm tiefen Riefen sehr eng und scheinen mit einer 90°-Diamantspitze gar nicht erfassbar. In der Vergrößerung sieht man die tatsächliche Relation der engsten Riefe zur Diamantnadel. Durch die Verwendung der jetzt ebenfalls verfügbaren Diamantnadel mit 60° und 2 μm Spitzenradius lässt sich die Antast-situation in solchen Fällen weiter verbessern.

Jetzt ab Modul 0,9 mm

Nochmal um einiges höher lagen die Herausforderungen bei der aktuellen Entwicklung des neuen Rauheitstasters für Verzahnungen ab Modul 0,9 mm (siehe Abbildung 4). Eine Innovation, die Klingelberg zum ersten Mal Ende April dieses Jahres auf der Control 2016 in Stuttgart präsentierte.

Ein speziell entwickeltes Design gewährleistet jetzt auch für extrem kleine Verzahnungen die Antastung des größtmöglichen Anteils der Verzahnungsoberfläche. Um in Zahn-lücken mit 1 mm Lückenweite tief eintauchen zu können, wurden Gleitkufe und Diamantnadel nochmals weiter miniaturisiert. Durch das ausgeklügelte Design ließen sich dabei trotzdem große Gleitkufen-Radien sowohl in Längs- als auch in Querrichtung realisieren. Zusätzlich wurde ein sehr kleiner Abstand zwischen Diamantnadel und Gleitkufe erreicht, sodass ein größtmöglicher Anteil der bei kleinen Verzahnungen kurzen verfügbaren Messstrecke aufgenommen werden kann.

Dieser neue Rauheitstaster bietet die idealen Voraussetzungen für die Messung hochgenauer Verzahnungskomponenten moderner PKW-Getriebe. ◆

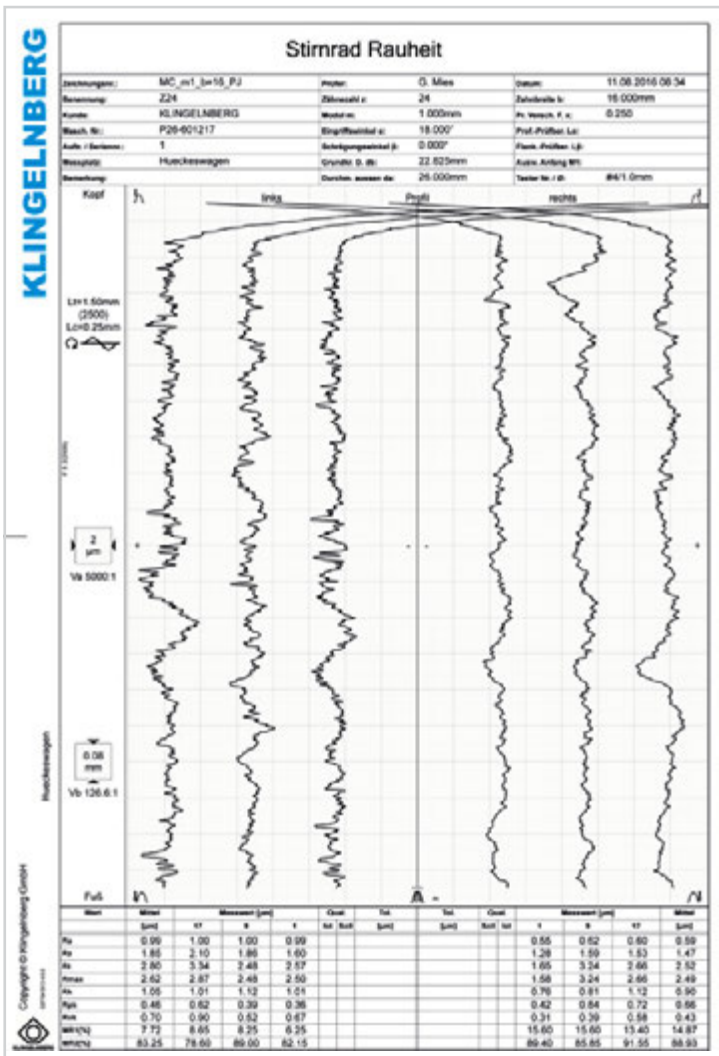


Abb. 5: Die Ausgabe der Messergebnisse erfolgt sehr übersichtlich mit der Darstellung der Messkurven und der angewählten Kenngrößen in Tabellenform, analog zur Geometriemessung an der Verzahnung. Die Auswertung der Rauheitskenngrößen erfolgt nach DIN EN ISO 4287 (Ra, Rz, Rt, Rmax). Die Auswertung der Materialanteil-Kenngrößen erfolgt nach DIN EN ISO 13565-2 (Rk, Rpk, Rvk, MR1, MR2).

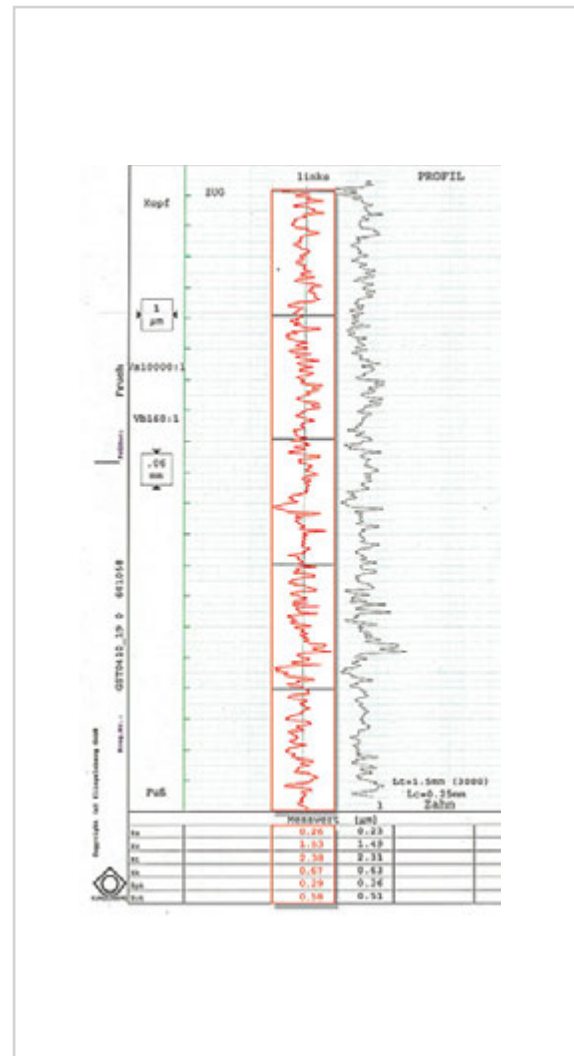


Abb. 6: Vergleichsmessung: Diese von einem Kunden durchgeführte Vergleichsmessung zeigt die sehr gute Übereinstimmung zwischen der Messung mit einem Bezugsebenen-Referenzmesssystem (rot) und der Klingelberg Messung (schwarz). Dies gilt nicht nur für die Kenngrößen, sondern auch für den Kurvenverlauf der beiden Messkurven.



Dipl.-Ing. Georg Mies

Leiter Entwicklung
Präzisionsmesszentren,
KLINGELNBERG GmbH