



1 Das digital-holographische Messsystem HoloGear erfasst die Oberfläche von Verzahnungsgeometrien vollständig – so schnell und so präzise wie kein zweites Messsystem weltweit.

2 HoloGear vermisst jede einzelne Zahnflanke eines Zahnrads und liefert die exakten, vollständigen Ist-Maße des kompletten Zahnrads. So sichert und dokumentiert das System die Verzahnungsqualität zu 100 Prozent.

### Fraunhofer-Institut für Physikalische Messtechnik IPM

Georges-Köhler-Allee 301  
79110 Freiburg

#### Ansprechpartner

Dr. Alexander Bertz  
Gruppenleiter  
Inline-Messtechnik  
Telefon +49 761 8857-362  
alexander.bertz@ipm.fraunhofer.de

[www.ipm.fraunhofer.de](http://www.ipm.fraunhofer.de)

## HOLOGEAR

### OPTISCHE VERZAHNUNGSMESSUNG: SCHNELL, PRÄZISE, VOLLSTÄNDIG

Zahnräder, Zahnstangen, Wellen oder Schnecken mit qualitativ hochwertigen Verzahnungsgeometrien kommen in vielen Industrieanwendungen zum Einsatz. Vor allem im Fahrzeug- und Maschinenbau, in der Luft- und Raumfahrttechnik sowie in der Medizintechnik ist die exakte Maßhaltigkeit von Verzahnungen essentiell – für eine optimale Funktion, maximale Effizienz und eine minimale Geräuschentwicklung. Das optische Verzahnungsmesssystem HoloGear von Fraunhofer IPM revolutioniert die Qualitätsprüfung bei Verzahnungen.

#### Standard heute: einzelne Messpunkte

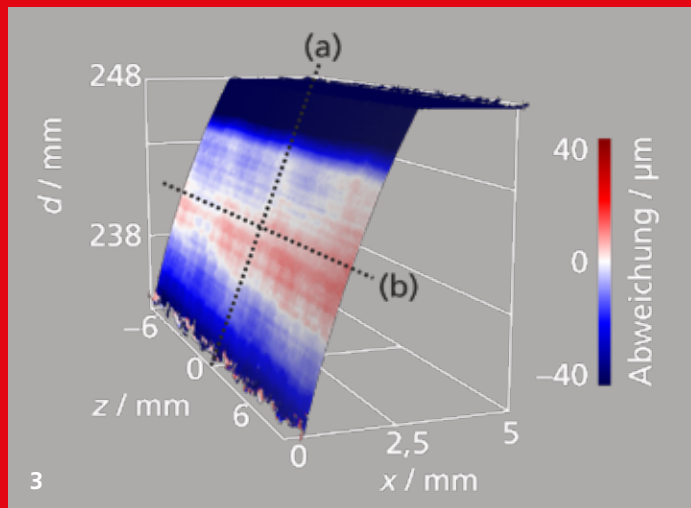
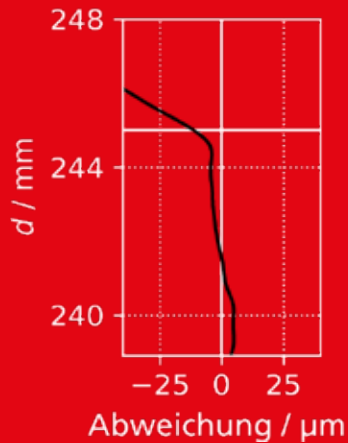
Heute werden Verzahnungsgeometrien üblicherweise mithilfe von Koordinaten- bzw. Zahnradmessmaschinen gemessen. Diese Messverfahren sind hochpräzise, jedoch aufwändig und entsprechend langwierig: Jeder benötigte Messpunkt muss mit einem Messtaster einzeln an-

gefahren werden. In der Praxis sind solche taktilen Messungen so zeitaufwändig, dass sie meist nur stichprobenartig durchgeführt werden. Die vollständige Erfassung aller Funktionsflächen einer Verzahnung erfolgt heute nur in Einzelfällen.

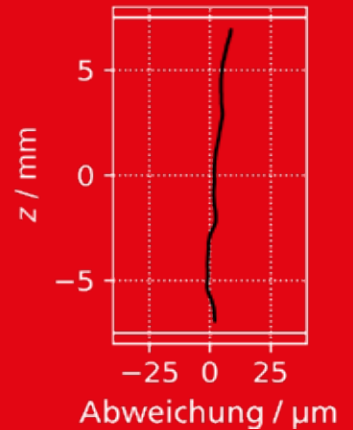
#### 100-Prozent-Kontrolle der Verzahnung

Das optische Verzahnungsmesssystem HoloGear erlaubt erstmals die schnelle, vollständige und hochpräzise Kontrolle von Verzahnungsgeometrien. Das Messsystem arbeitet kontaktfrei und erfasst in wenigen Sekunden über 100 Millionen 3D-Punkte. Wo taktilen Messmethoden Stunden benötigen, liegt bei HoloGear innerhalb von Minuten ein umfassender Datensatz mit Millionen von Messpunkten für jede einzelne Zahnflanke vor. Die Reproduzierbarkeit der Formabweichungsdaten liegt bei unter einem Mikrometer – genau genug selbst für höchste Qualitätsansprüche.

## Profillinie (a)



## Flankenlinie (b)



### HoloGear: optisch statt taktil

In der Messtechnik haben optische Verfahren einige Vorteile gegenüber den taktilen: Sie sind schneller in der Messung, oft genauer im Ergebnis und meist günstiger im Handling. Bei der Verzahnungsmessung scheitern schnelle optische Methoden jedoch bislang an der Aufgabe: Steile Flanken, wenig reflektiertes Licht, tiefe Strukturen und Mehrfachreflexionen machten die Messung unmöglich. Fraunhofer IPM gelang es jetzt mit dem Verfahren der digitalen Mehrwellenlängenholographie, die Präzision taktiler Messtechnik mit der Geschwindigkeit optischer Messungen zu kombinieren: In puncto Messgenauigkeit und Messzeit erfüllt HoloGear höchste Anforderungen. Erstmals gelingt mit diesem Messsystem die hochpräzise und gleichzeitig schnelle 100-Prozent-Qualitätskontrolle von Verzahnungen. Das ist vor allem für große Zahnräder mit hoher Leistungsübertragung wichtig, denn diese müssen geometrische Vorgaben exakt einhalten – z. T. bis in den Mikrometerbereich.

### Präzise Messung der Verzahnung

HoloGear kann die absolute Geometrie von Zahnrädern direkt in der Fertigung messen: Dabei wird die komplette Zahnflanke (inkl. Kopf- und Fußkreis) mit einer einzigen Bildaufnahme erfasst – ohne zu scannen. HoloGear erfasst  $15 \times 15 \text{ mm}^2$  große Zahnflanken mit rund 10 Mio. 3D-Punkten. Durch Drehung des Zahnrads wird jeder Zahn einzeln erfasst und anschließend numerisch zu einem digitalen Datensatz zusammengesetzt,

visualisiert und bewertet. Je nach Kundenwunsch lassen sich aus dem Datensatz hunderte Profil- und Flankenlinien extrahieren. Selbst normalerweise schwer erkennbare periodische Strukturfehler lassen sich herauslesen. Darüber hinaus sind anhand dieser Daten auch Geräuschanalysen bzw. -simulationen in hervorragender Qualität möglich.

### Digitale Mehrwellenlängenholographie

Fraunhofer IPM hat die digitale Mehrwellenlängenholographie in den vergangenen Jahren für andere Messaufgaben in der Industrie etabliert. Dank jüngster Entwicklungsfortschritte ist es nun gelungen, die Vorteile dieser laserbasierten Methode für die Verzahnungsmessung zugänglich zu machen. Durch den Einsatz mehrerer schmalbandiger Laser werden verschiedene synthetische Wellenlängen erzeugt. Dank dieser unterschiedlichen Messwellenlängen erschließt sich ein breites Messspektrum je nach Rauigkeit der Oberfläche vom (Sub-)Mikrometer- bis in den Millimeterbereich. Die Messung gelingt selbst bei wenig zurückgestreutem Licht. Und durch die Anordnung zweier Sensoren (wie in Abb. 1)

3 HoloGear erfasst die gesamte Zahnflanke einer Evolventenverzahnung (inkl. Kopfkreis) mit einer einzigen Aufnahme.

können die rechte und die linke Zahnflanke gleichzeitig vermessen werden. Ein weiterer Vorteil: Bei holographischen Messdaten ist es möglich, tiefenausgedehnte Objekte, die außerhalb des Schärfebereichs der Abbildungsoptik liegen, numerisch scharf zu stellen. Auf diese Weise kann ein Zahn mit einer einzigen Aufnahme vom Fußkreis bis zum Kopfkreis scharf dargestellt werden.

### Vorteile von HoloGear

- **schnell:** Die gesamte Verzahnung wird mit nur einer Messung erfasst.
- **100-Prozent-Kontrolle:** Jedes einzelne Zahnrad und jeder einzelne Zahn wird vollständig erfasst.
- **hochpräzise:** Die Reproduzierbarkeit der Verzahnungsmaße liegt im Mikrometerbereich.
- **kontaktlos:** Die Messung erfolgt optisch per Laser.

### Messung am Beispielzahnrad

Außendurchmesser 248 mm, 60 Zähne, Modul 4, Zahnbreite 15 mm

Messzeit für komplettes Zahnrad	~ 4 min
Anzahl 3D-Messpunkte	~ 3,6 Mio. auf einer Flanke ~ 430 Mio. auf dem kompletten Zahnrad
Reproduzierbarkeit im Einzelpunkt	< 1 $\mu\text{m}$ (1 $\sigma$ )