

# **ZAHNRADMESSUNG MIT KOORDINATENMESSGERÄTEN NACH DEM FLÄCHENMODELL**

---

PROF. DR. WERNER LOTZE

DRESDEN OKTOBER 2000

## ETWAS GESCHICHTE

---

Der heutige Stand der Zahnradmeßtechnik – für Stirnräder - fußt auf einer langen Entwicklung, die mit der Einführung der Evolventenverzahnung als Grundlage für eine wirtschaftliche Fertigung im vorigen Jahrhundert ihren Anfang nahm. Nach der Herausbildung der nationalen und internationalen Toleranzsysteme für Flach- und Randpassungen in den ersten zwei Jahrzehnten dieses Jahrhunderts ist auch für das Maschinenelement Zahnrad eine Weiterentwicklung von Terminologie, Verzahnungsparametern, Verzahnungsabweichungen und Verzahnungstoleranzen in Angriff genommen worden. Diese wissenschaftlich-technischen Grundlagenarbeiten sind insbesondere in den dreißiger Jahren am damaligen Institut für Meßtechnik und Austauschbau unter Leitung von Prof. G. Berndt an der TH Dresden durchgeführt worden. Aus diesen Arbeiten sind schließlich DIN 3969 und die Zahnradprüfgeräte von Carl Zeiss Jena hervorgegangen<sup>1</sup>.

Bedingt durch den damaligen Stand der Meßtechnik sowie der mathematischen Hilfsmittel ist die Theorie der Verzahnung und die Zahnradmessung so angelegt worden, daß die eingeführten Verzahnungsabweichungen mittels einfacher Gleichungen in ausgewählten 2D-Schnitten direkt berechnet und letztlich mit Unterschiedsmeßgeräten auch direkt gemessen werden können. Auf dieser Basis hat sich über Jahrzehnte eine sehr stabile Philosophie der Zahnradmeßtechnik auf diesem Niveau herausgebildet, das sich bis zur Gegenwart, selbst mit der aktuellen VDI-Richtlinie VDI - 2607<sup>2</sup>, auf diesem Stand erhalten hat.

In der Zwischenzeit ist mit der Entwicklung der Koordinatenmeßtechnik sowie der CAD-Technik eine vollständige 3D-Modellierung jeglicher Werkstück auf der Basis geometrischer Formelemente (Ebene, Zylinder, Kegel, Kugel, ..) Stand der Technik. Diese neue 3D-Modellierung ist - wiederum in Dresden am ehemaligen Institut von Prof. Berndt und unter wissenschaftlicher Leitung des Verfassers - auch auf die Verzahnungsmessung ausgedehnt worden. Im Ergebnis liegen ein vollständiges mathematisches 3D-Modell, allgemeine Regeln für die 3D-Messung sowie Software für die 3D-Auswertung von Stirnrädern vor. Die 3D-Modellierung beruht auf der vollständigen mathematischen Beschreibung der Evolventenfläche und hat demzufolge als Merkmalsnamen die Bezeichnung *Flächenmodell* erhalten. Demgegenüber wird die klassische Methode der Modellierung und Messung von Stirnrädern in Schnitten mit der Bezeichnung *Linienmodell* charakterisiert. Das Flächenmodell führt sich derzeit national und international zunehmend ein, da die Möglichkeiten moderner 3D-Meßgeräte mit dem Linienmodell nicht ausgeschöpft werden können.

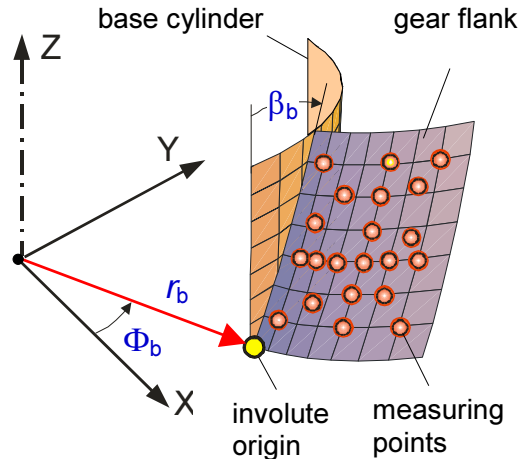
---

<sup>1</sup> Ein nahezu vollständiger Überblick bei: Hultzsch, E.: Messung an Stirnrädern mit Zahnradmeßgeräten und anderen Feinmeßgeräten aus Jena, VEB Carl Zeiss Jena Nachrichten, Sonderband Feinmeß I, Dezember 1965

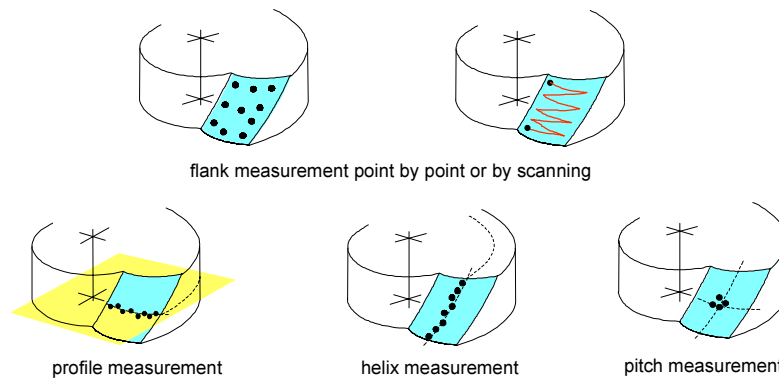
<sup>2</sup> VDI 2607: Rechnergestützte Auswertung von Profil- und Flankenlinienmessungen. Ausgabe 2000-02

## DAS PRINZIP DES FLÄCHENMODELLS

Grundgedanke des Flächenmodells ist, die Zahnflanke vergleichbar zu jedem anderen Formelement (z. B. Zylinder) mit hinreichend vielen Punkten zu messen und durch Bestfit-Rechnung als geometrisches Ersatzelement zu modellieren. Das folgende Bild zeigt diesen Weg. Aus den Meßpunkten wird mittels Ausgleichsrechnung nach Gauß (oder auch nach minimaler Zone) die Ausgleichsflankenfläche berechnet.



Aus den Parametern der Evolventenfläche lassen sich jegliche abgeleitete Zahnradparameter (Kugelmaße, Zahnweite, Eingriffswinkel, ..) mittels exakter 3D-Rechnung berechnen. Des weiteren ergeben sich auf dieser Grundlage wesentliche Vereinfachungen für die Messung von Profil-, Flankenlinien- und Teilungsabweichungen. Das folgende Bild charakterisiert die Meßmöglichkeiten, und zwar die Flächen-, Profil-, Flankenlinien- und Teilungsmessungen (weitere für Schneckenmessungen usw. sind hier nicht aufgeführt).



Wesentliche Merkmale der Messung unter Verwendung des Flächenmodells sind:

- Die Messung muß nicht exakt im definierten Stirn- bzw. Zylinderschnitt erfolgen.
- Die Messung kann und sollte mit einem 3D-Taster in Richtung der Flächennormalen erfolgen.

Aus der Sicht der Antastung und Auswertung ergeben sich dann auch keine prinzipiellen Unterschiede zur Schneckenmessung. Des weiteren läßt sich die Messung von Profilmodifikationen (z. B. als Höhen- und Breitenballigkeit) vollständig in dieses Modell integrieren.

Als Erweiterung ist auch die Messung und Auswertung von Kupplungsverzahnungen mit Evolventenverzahnung zu erwähnen, wobei die effektive Zahndicke (wie mit der Gegenlehre) bestimmbar ist.

## ZUR GENAUIGKEIT DER VERZÄHNUNGSMESSUNG

---

Beim Übergang vom konventionellen zum 3D-Modell der Auswertung von Verzahnungen treten zunächst eine Reihe von Fragen auf:

1. Welche Auswertefehler treten bei der 3D-Auswertung auf?
2. Welche Unterschiede bestehen zwischen konventioneller und 3D-Auswertung?
3. Wie ist die Rückführbarkeit der 3D-Zahnradmessung auf die Längeneinheit?

Dazu läßt sich folgendes feststellen:

- Die 3D-Modellierung der Zahnradgeometrie ist mathematisch vollständig exakt; bei der Auswertung werden keinerlei Näherungsgleichungen aus der Zahnradgeometrie benutzt. Die in den Meßpunkten enthaltenen 3D-Informationen werden auch vollständig 3D genutzt (z. B. wenn die Messung nicht exakt im definierten Schnitt erfolgt).
- Unterschiede zwischen konventioneller und 3D-Meßtechnik sind bei identischen Meßpunkten vom Prinzip her Null. Mit der Entwicklung von Verzahnungstestdaten durch die PTB werden identische Urdaten in beiden Formen (konventionell und 3D) bereitgestellt, so daß dann auch beide Gerätegruppen identischen Prüfungen unterworfen werden können. Fraglich ist vielmehr die Genauigkeit konventioneller Messungen bei sehr großem Schrägungswinkel.
- Für die Rückführung von 3D-Messungen an Verzahnungen gelten auf der Grundlage der aktuellen Projekte bei der PTB für Verzahnungsmessungen folgende Randbedingungen, die nur bei der 3D-Auswertung mit dem Flächenmodell voll ausgeschöpft werden können:
  - Die Rückführung von Koordinatenmeßgeräten und damit von 3D-Messungen erfolgt nach zertifizierten Verfahren (z. B. mittels Kugelplatte).
  - Für die Verzahnungsmessungen werden von der PTB werkstückähnliche Prüfnormale bereitgestellt, die ihrerseits auf der Grundlage des Flächenmodells und interferometrischen Messung von Flankenpunkten an die Längeneinheit angeschlossen werden.

## SCHLUßFOLGERUNGEN

---

Die derzeitige Entwicklung der 3D-Meßtechnik und ihre Anwendung auf die Messung von Verzahnungen (Stirnräder, Kegelräder, Kupplungsverzahnungen, ...) hat eine Entwicklung der zugehörigen mathematischen Modellierung für die Beschreibung und Auswertung von entsprechenden Messungen ausgelöst, die sich wie folgt charakterisieren läßt:

- Die konventionelle Verzahnungsmeßtechnik (DIN 3960) wird derzeit durch die vollständige 3D-Modellierung ergänzt und erweitert.
- Die Messung von Verzahnungen auf modernen Koordinatenmeßgeräten erfolgt grundsätzlich räumlich (3D), so daß für die Auswertung ebenfalls 3D-Modelle notwendig und eingeführt werden.
- Die Verzahnungsabweichungen werden von der Software unabhängig von der internen 3D-Auswertung in Übereinstimmung mit DIN 3960 ausgegeben; weitergehende 3D-Ergebnisse sind optional möglich und werden in Zukunft von Interesse sein.
- Die Übereinstimmung von konventionellen und 3D-Messungen setzt eine übereinstimmende Meßstrategie voraus. Profil- und Flankenlinienmessungen sind unmittelbar nur dann vergleichbar, wenn an der gleichen Stelle einer Zahnflanke gemessen wird.
- Die Rückführung von Verzahnungsmessungen (bei der PTB) erfolgt künftig ebenfalls über das Flächenmodell.