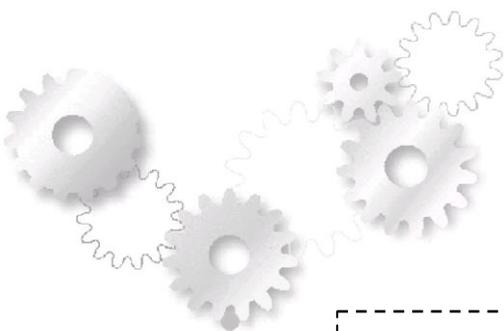
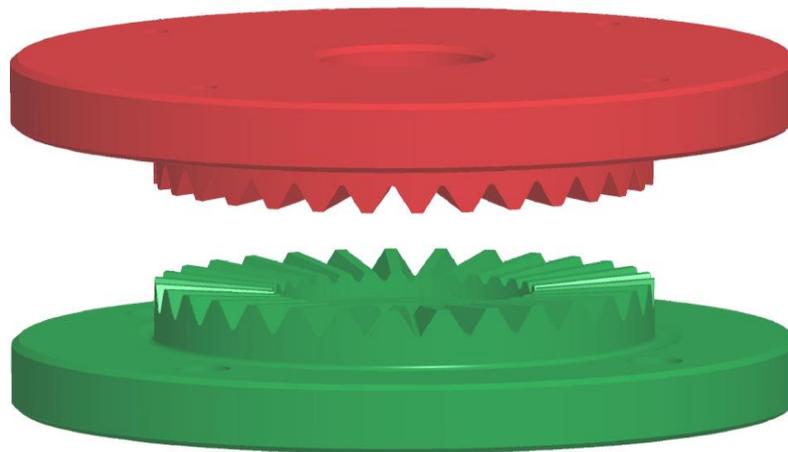




# Prüfen und Messen von Planverzahnung in der Serienfertigung



*Planverzahnung  
Hirthverzahnung  
Stirnverzahnung*

*pure  
perfection*

**FRENCO**

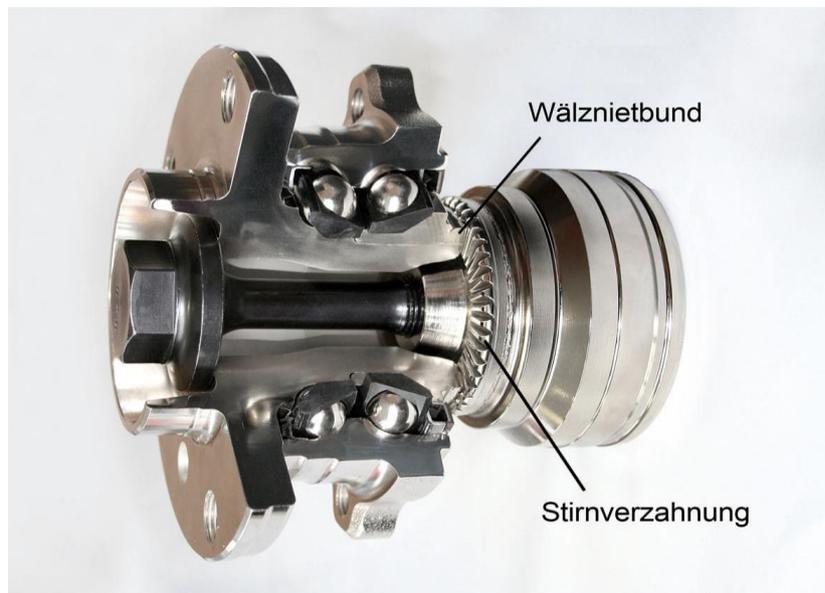
# Inhaltsverzeichnis

1	Einführung .....	2
2	Problemstellung .....	3
3	Lösungsvorschläge zur Planverzahnung Gelenkglocke .....	3
3.1	Grundsätzliche Annahmen .....	3
3.2	Prüfen der Planverzahnung am Schmiedeteil .....	5
3.3	Spannmittel für Drehbearbeitung .....	6
3.4	Messung des Gelenkmittelpunktes zur Planverzahnung am URM .....	7
3.5	Messung der Qualität der Planverzahnung am URM (Neuentwicklung) .....	8
3.6	Messvorrichtung zur Rundlauf- und Planlaufmessung .....	8
4	Weiteres Vorgehen .....	9

## 1 Einführung

Bisher war das Herstellen von Planverzahnung (auch Hirth- oder Stirnverzahnung – nicht zu verwechseln mit Stirnrädern!) auf die Bereiche Maschinen- Eisenbahn- und Flugzeugbau beschränkt. Hier hat man die Qualitätssicherung im Griff, da es sich um geringe Stückzahlen handelt und die Verzahnungen paarweise hergestellt werden können. Das hat den Vorteil, dass die sich daraus ergebende Verbindung durch tuschieren oder Rundlauf- und Planlaufmessungen direkt geprüft werden kann.

Mit der Entwicklung z.B. eines neuen Radlagermoduls (Bild 1) durch FAG soll nun auch die Hirthverzahnung in Großserie verwendet werden. Hier finden die Fertigung der Radnabe und des Gelenkes räumlich getrennt und in großen Stückzahlen statt.



**Bild 1: FAG Radlager mit Stirnverzahnung (Quelle: [www.schaeffler.com](http://www.schaeffler.com))**

Die Qualitätssicherung solcher Verzahnungen in Großserie ist ein neues Feld, für das Frenco hier mehrere Vorschläge erarbeitet hat.

## 2 Problemstellung

Im Gegensatz zu einer Passverzahnung, ist die Fügbarkeit einer Planverzahnung immer gewährleistet, sobald die Zähnezahl stimmt. Das heißt eine Gut – Ausschusslehre ist nicht möglich. Es können nur quantitative Aussagen z.B. über :

- Planlauf zueinander
- Eindringtiefe
- Rundlauf der gefügten Teile zueinander
- Kugeleindringtiefen

getroffen werden.

Von der Planverzahnung erhoffen sich die Hersteller sowohl wirtschaftliche Vorteile, als auch höhere Momentenübertragung und Gewichtseinsparungen.

Wesentliche Nachteile, vor allem hinsichtlich der Messaufgabe (aber auch im Einsatz) sind:

- Verschmutzungen und Beschädigungen in einer Planverzahnung wirken voll auf die Paarung ein und können Einfluss auf Plan- und Rundlauf des Gegenstücks haben, während das Fügen von Passverzahnungen zu einer Selbstreinigung der Zahnflächen führt
- Die Fügekraft z.B. durch eine Schraube kann Einfluss auf die Eindringtiefe der Planverzahnung haben, das kann vor allem bei einer Prüfung zu Streubreiten führen.
- Die Messung einer Planverzahnung ohne Gegenstück muss immer zu einer Referenzfläche bzw. Achse erfolgen, die auf die Lage des dann auf die Planverzahnung montierten Gegenstücks keinen Einfluss hat.
- Messungen von Profil- und Flankenlinienabweichungen sind zwar möglich, aber nicht genormt. Damit gibt es auch keine Qualitätsstufen und Erfahrungen hinsichtlich des Einflusses dieser Qualitätsmerkmale auf die Paarung.

Ein weiteres Problem stellt die zeichnerische Darstellung der Planverzahnung dar. Es scheint keine genormte Vorgehensweise zu geben, wie Planverzahnungen dargestellt und bemaßt werden sollen und deshalb gibt es die unterschiedlichsten Varianten und Prüfmerkmale, die zu berücksichtigen sind.

## 3 Lösungsvorschläge zur Planverzahnung am Beispiel einer Gelenkglocke

Die Serienfertigung und damit der Herstellungsprozess solcher Gelenkglocken ist noch nicht festgelegt. Es ist aber davon auszugehen, das die Planverzahnung mit dem Rohteil geschmiedet wird. Danach werden entsprechende Referenzflächen, Außen- und Innenkonturen zu dieser Verzahnung gedreht und danach die Kugelbahnen eingefräst und gehärtet.

Laut Zeichnung muss dann die Gelenkmitte zur Planverzahnung passen.

Deshalb wird folgender Ablauf vorgeschlagen:

1. Prüfen der fertigen Verzahnung am Schmiedeteil und die entsprechenden Aufmaße (z.B. in der Glocke)
2. Aufnahme des Rohlings beim Drehen in einer genauen Planverzahnung (Spannmittel)
3. Messung des Gelenkmittelpunktes zur Planverzahnung am URM vertikal
4. Weitere Messungen wie Rundlauf und Abstände an der fertigen Kontur

### 3.1 Grundsätzliche Annahmen

Die Planverzahnung des Radlagers und des Gelenkes sind nicht identisch. Deshalb muss in Gegenlehre mit werkstückidentischen Verzahnungsdaten und den entsprechenden Lehren/Aufnahmen unterschieden werden. Voraussetzung für alle folgenden Vorschläge ist, das FRENCO möglichst fehlerfreie Planverzahnungen schleifen und diese auch nachweisen kann.

Die Idee ist, eine nahezu werkstückidentische, ideale und damit möglichst fehlerfreie Gegenlehre herzustellen, mit deren Hilfe dann die effektiven Höhen der Verzahnungen sämtlicher Lehren/Aufnahmen mit Negativprofil zu einer Bezugsebene sowie die Rund- und Planläufe dieser Lehren/Aufnahmen zu einem Prüfbund festgestellt werden können.

Dabei ist wie folgt vorzugehen:

1. Das Kugelmaß wird an zwei Messdurchmessern der Gegenlehre gegen eine Bezugsfläche auf einem Messgerät bestimmt, ähnlich der Maßprüfung bei einer Passverzahnung. Das ergibt  $H_{\text{actual/GL}}$ . (siehe Bild 2)
2. Das Kugelmaß wird an zwei Messdurchmessern der Lehre/Aufnahme mit Negativprofil auf die gleiche Art und Weise bestimmt ( $H_{\text{actual/L}}$ ). (siehe Bild 2)
3. Danach werden Gegenlehre und Lehre/Aufnahme gepaart und der Abstand der Bezugsflächen in mindestens 3 Stellungen als Paarungsmaß bestimmt ( $H_{\text{effective}}$ ).

Der Mittelwert dieser effective Höhe sollte in einer bestimmten Toleranz zu einem im CAD bestimmten theoretischen Summenmaß plus/minus die Summe der Abweichungen zum Sollmaß aus 1. und 2. liegen. Damit kann von einer ausreichend guten Lehre ausgegangen werden.

Nun können die Systemhöhen der Gegenlehre und der Lehre/Aufnahme bestimmt werden:

Die Abweichung effective  $A_{\text{effectiv}}$  ergibt sich aus:

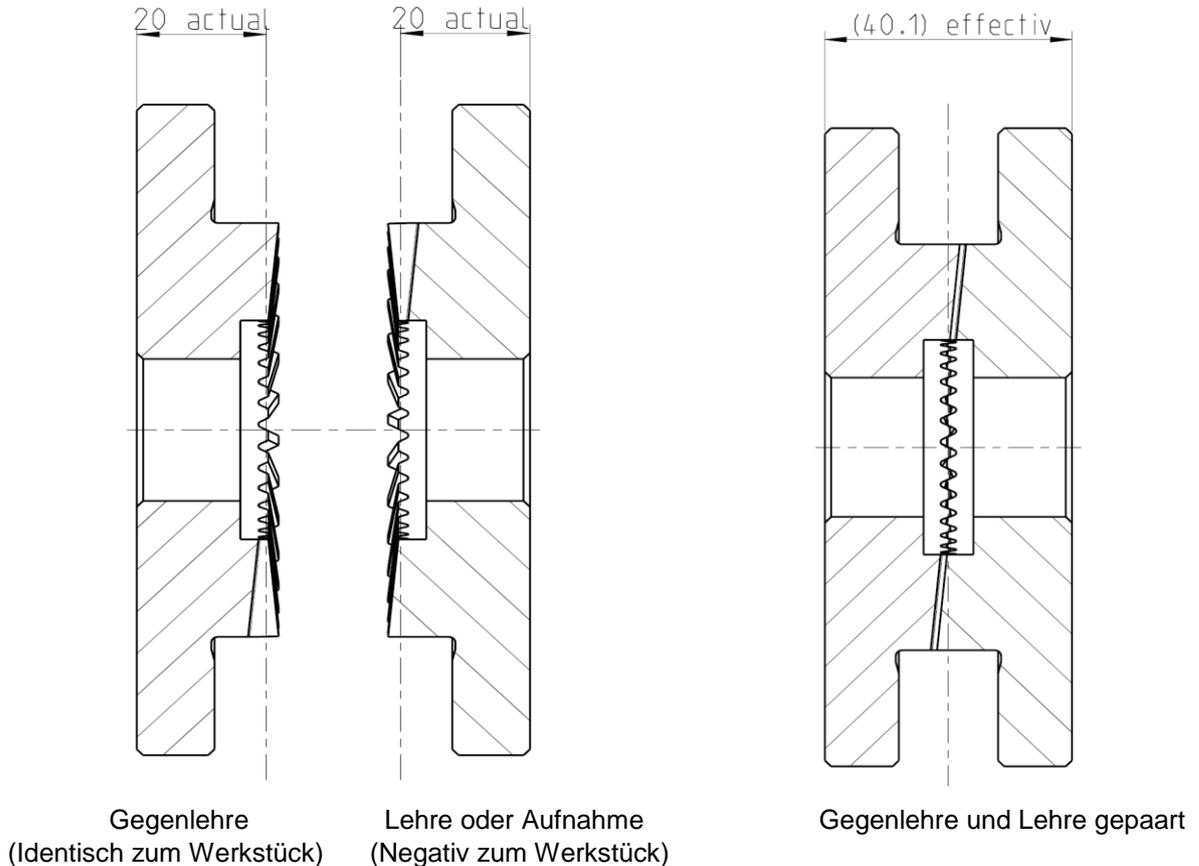
$$A_{\text{effectiv}} = H_{\text{effective}} - H_{\text{actual/GL}} - H_{\text{actual/L}}$$

Da beide Lehren in gleicher Qualität hergestellt wurden, kann die Abweichung effective gleichmäßig verteilt werden:

$$H_{\text{effectiv/GL}} \approx H_{\text{actual/GL}} + A_{\text{effectiv}} / 2$$

$$H_{\text{effectiv/L}} \approx H_{\text{actual/L}} + A_{\text{effectiv}} / 2$$

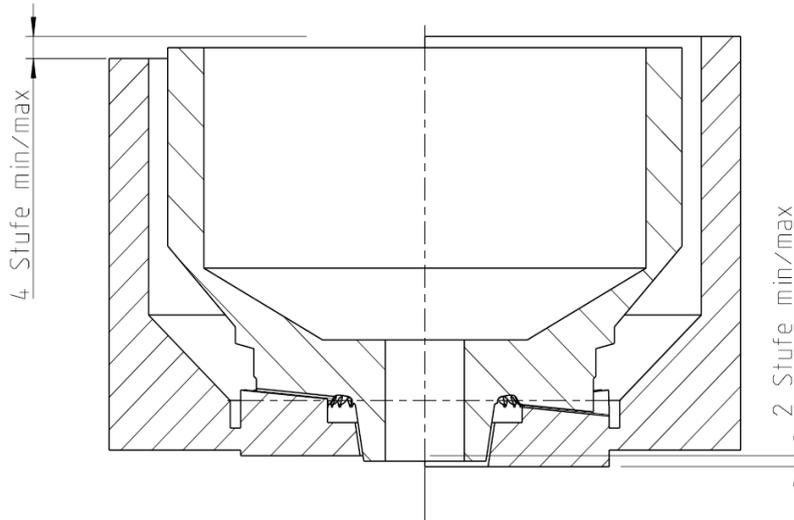
Mit Hilfe der Gegenlehre können nun Plan- und Rundläufe der Lehre überprüft werden, d.h. die Gegenlehre auf PL/RL = 0 ausrichten und den Rund- bzw. Planlauf der Lehre in mindestens 3 Stellungen messen (max 10µm).



**Bild 2:  $H_{\text{actual}}$  und  $H_{\text{effectiv}}$**

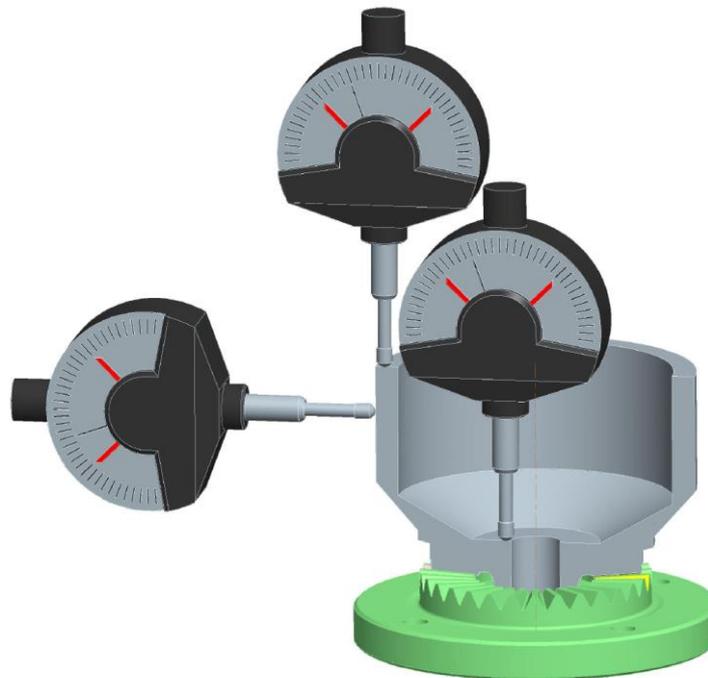
### 3.2 Prüfen der Planverzahnung am Schmiedeteil

Die geschmiedete Verzahnung ist im Verlauf der Fertigung die Basis für alle Bearbeitungsschritte und alle Messungen. Deshalb ist eine reine Funktionsprobe durch eine sogenannte Stufenlehre mit einer Höhenprüfung zum Zentrierkegel **oder** zur gegenüberliegenden Planfläche ausreichend (in Bild3 sind beide in einer Lehre gezeigt). Damit wird durch eine Summenprüfung festgestellt, ob die Verzahnung die richtige Höhe hat oder ob evtl. Werkzeugbruch an einem Zahn festzustellen ist (ausgefüllte Lücke am Werkstück).



**Bild 3: Stufenring zur Prüfung Planverzahnung am Schmiedeteil**

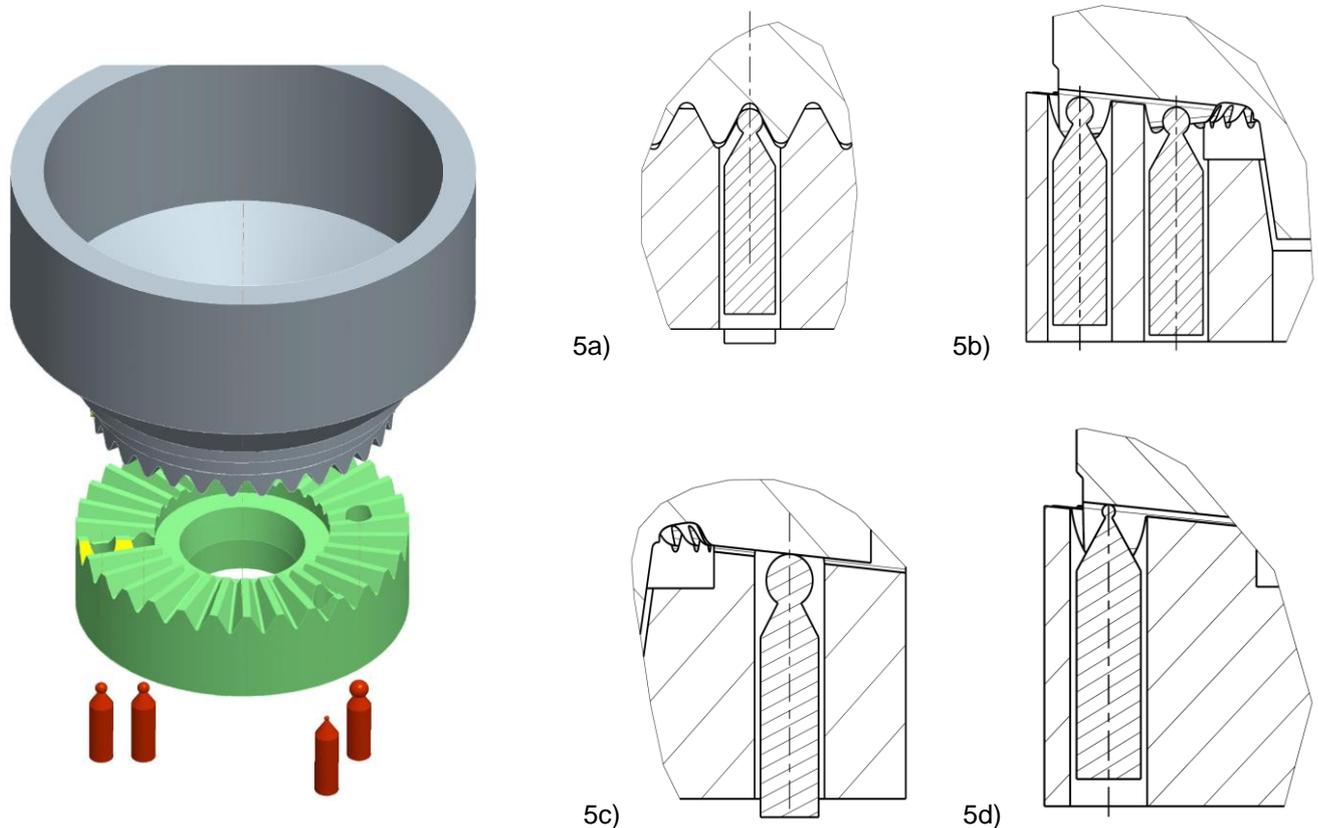
Eine bessere Möglichkeit ist eine Mehrstellenmesseinrichtung mit einer planverzahnten Aufnahme mit Negativverzahnung zur Prüfung des Schmiedeaufmaßes (Bild 4). Dazu ist ein Einstellmeister (Gegenlehre) mit Werkstückverzahnung erforderlich.



**Bild 4: Mehrstellenmessvorrichtung für Aufmaßmessung nach dem Schmieden**

Eine quantitative Aussage über die Verzahnung an sich ist nur mit einer Messlehre und entsprechenden Einstellmeistern möglich. Messlehren können für folgende Merkmale festgelegt werden:

- Differenz effektiv zu actual, die Messkugel ermittelt die actual Lückenweite zur effektiven Verzahnungspaarung (Bild 5a)
- Kegelwinkel, Messung des „Kugelmaßes“ an zwei verschiedenen Durchmessern (Bild 5b)
- Kopfhöhe an einem bestimmten Messkreis (Bild 5c)
- Fußhöhe an einem bestimmten Messkreis (Bild 5d)



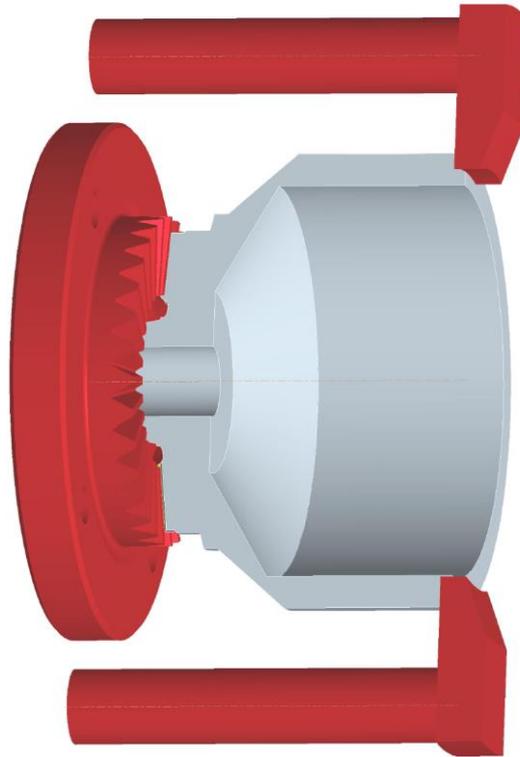
**Bild 5: Vorschläge Messlehre**

Denkbar ist auch eine Messlehre, die den Öffnungswinkel der Kerbverzahnung mit unterschiedlich angeordneten unterschiedlich großen Kugeltastern ermittelt.

Hier sind jedoch große Unsicherheiten zu erwarten und weitere Untersuchungen nötig.

### **3.3 Spannmittel für Drehbearbeitung**

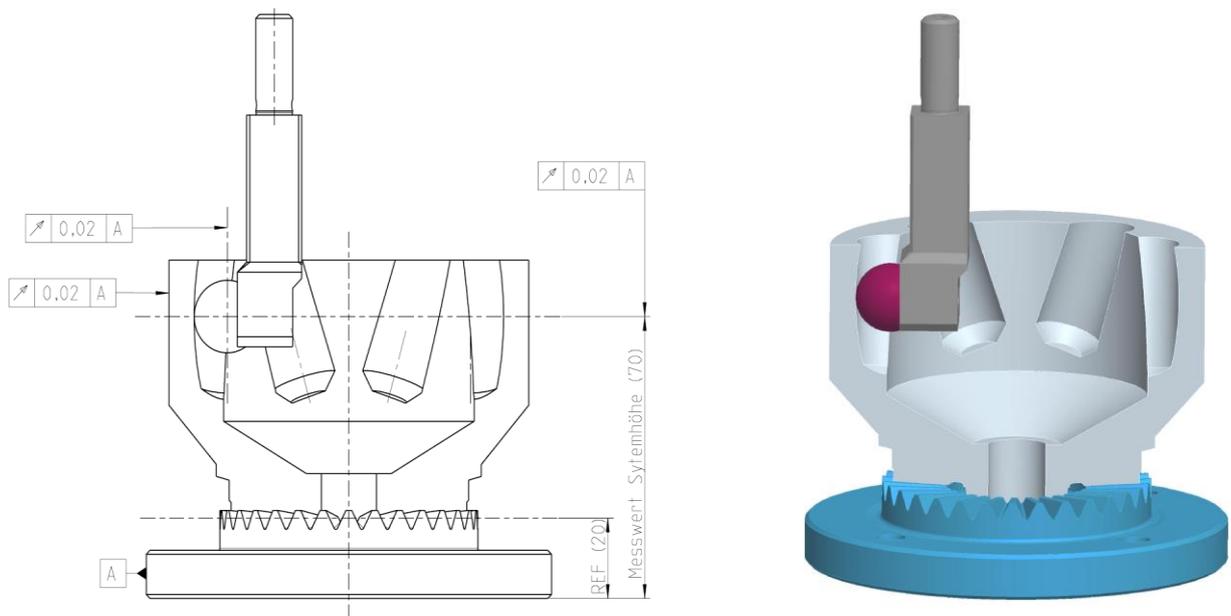
Um einen guten Lauf der Außen- und Innenkontur zur Planverzahnung zu gewährleisten, muss das Werkstück beim Drehen in der Verzahnung aufgenommen werden. Dazu sind Spannmittel mit einer idealen Negativverzahnung vonnöten (Bild 6). Die Planverzahnung des Spannmittels muss ebenfalls mit der Gegenlehre geprüft und die Höhen von Referenzflächen bestimmt worden sein, damit die entsprechenden Zustellungen bei der Zerspanung stimmen. Ohne entsprechende Gegenlehre (S.4 Bild 3) können die Maße aus dem actual Wert bestimmt werden, dann sind aber Toleranzen von mindestens 10µm zu akzeptieren.



**Bild 6: Spannmittel für Drehen innen (exemplarisch)**

### 3.4 Messung des Gelenkmittelpunktes zur Planverzahnung am URM

Zur Messung des Gelenkmittelpunktes wird ein vertikales URM verwendet, wie es schon teilweise in der Fertigung von Gelenkglocken im Einsatz ist. Dabei wird jedoch das Werkstück auf einer nach o.g. Vorgehensweise geprüften Aufnahme mit Negativverzahnung gespannt. Es werden die Kugelbahnen gescannt und damit kann die effektive Höhe der Werkstückplanverzahnung zum Gelenkmittelpunkt und der Rundlauf dieser Kugelbahnen zur Planverzahnung bestimmt werden.



**Bild 7: Messung Planverzahnung zum Gelenkmittelpunkt am vertikalen URM**

### 3.5 Messung der Qualität der Planverzahnung am URM (Neuentwicklung)

Für die Messung der Teilung, der Flankenlinie (Lückenscan zweiflankig), den Rund- und Planlauf zu einem Bezug ist ein spezielles vertikales URM geeignet. Durch den Umbau des Tasters für vertikale Antastung und vertikales Scannen und eine neue Software ist das URM in der Lage, die o.g. Parameter zu ermitteln.



Bild 8: URM mit Planverzahnung (noch nicht funktionsfähig)

### 3.6 Messvorrichtung zur Rundlauf- und Planlaufmessung

Es wurden für andere Planverzahnungen schon diverse Messvorrichtungen für Rund- und Planlaufmessungen erstellt. Diese Vorrichtungen sind, im Gegensatz zu einem URM für ein bestimmtes Werkstück ausgelegt. Hier ein Beispiel (Bild 9) bei dem auch schon die Ideen aus Bild 5 eingearbeitet sind:

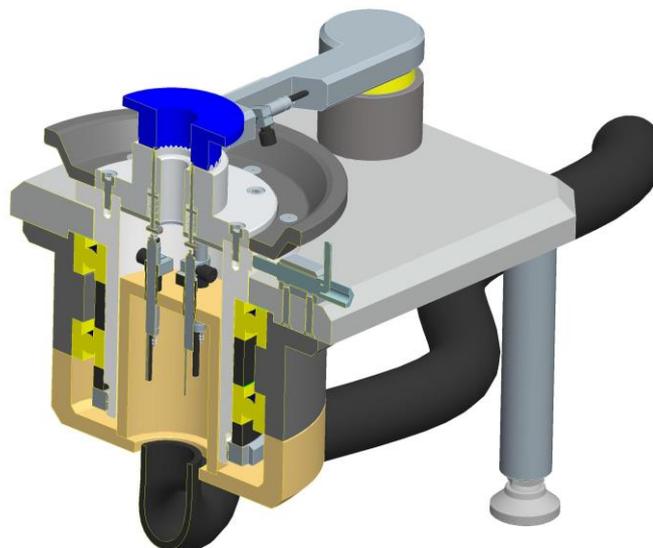


Bild 9: Messvorrichtung für Lückenmessung und Rundlaufmessung

## 4 Ansprechpartner bei FRESCO:

Johannes Ziegler	09187/ 9522- 227	johannes.ziegler@fresco.de	Vertrieb
Jan Kühl	09187/ 9522- 634	jan.kuehl@fresco.de	Qualitätssicherung



Notizen:



Notizen:

# Frenco Produktgruppen



## Verzahnte Höchstpräzision H

Prüfkörper  
Verzahnungslehren  
Prüfräder  
Meister  
Normale  
  
Werkzeuge  
Spannsysteme  
Umformwerkzeuge  
Elektroden  
  
Verzahnungsherstellung



## Rotationsmessgeräte R

Messgeräte mit Messkreisen  
Multiple Mehrstellenmessgeräte  
Wälzprüfgeräte  
Linear-Wälzprüfgerät Zahnstange  
Wälzscangeräte  
Zweiflankenwälzprüfgeräte



## Istmaßprüfgeräte Gruppe V

Messrollen- und Kugeleinsätze  
Prüfgeräte zum Auspendeln  
Prüfgeräte mit Plananschlag  
Prüfgeräte mit Führungsverzahnung  
Drehflankenspielmessgeräte  
Sonderprüfgeräte



## Verzahnungsprüfung P

Werkstückprüfungen  
Prüfzertifikate im Neuzustand  
Prüfmittelüberwachung  
DAkKS-Kalibrierscheine



## Know-how Transfer K

Beratung und Berechnung  
Software für Passverzahnungen  
Schulungen und Seminare  
Literatur und Dokumentationen  
Normung



# FRENCO

Frenco GmbH

Verzahnungstechnik • Messtechnik

Jakob-Baier-Straße 3

D - 90518 Altdorf

Tel.: +49 (0) 9187 - 95 22 0

Fax: +49 (0) 9187 - 95 22 40

E-Mail: [frenco@frenco.de](mailto:frenco@frenco.de)

