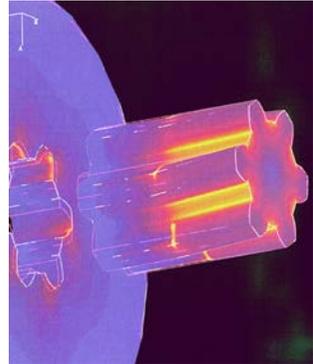


# Zahnwellenberechnung

Schäfer, G.

*Die Zahnwelle als formschlüssige Welle-Nabe-Verbindung wird häufig anhand einer vereinfachten Betrachtung der mittleren Flächenpressung durchgeführt. Damit sind aber toleranz- und steifigkeitsbedingte Lastkonzentration in vielen Fällen bezüglich ihrer schädigenden Wirkung nicht hinreichend bewertet.*



**Keywords:** *splined shaft-hub connection, fatigue, involute, stress distribution, calculation*

## 1 Einleitung

Die Zahnwellenverbindung als formschlüssige Verbindung von zwei Bauteilen, Welle und Nabe, hat neben der Problematik der Doppelpassung aufgrund der Vielzahl der Formschlusselemente als zweite Einflussgröße auf die Lastverteilung das unterschiedliche Steifigkeitsverhalten der beiden gekoppelten Bauteile z.B. durch unterschiedliche Torsionswiderstandsmomente bei der Dimensionierung zu beachten. Die Torsionssteifigkeitsdifferenzen wirken sich auf die Lastverteilung in axialer Richtung aus, die Doppelpassung unter realen Fertigungsbedingungen wird in der Lastverteilung in Umfangsrichtung überhöhend wirksam /1/.

## 2 Lastverteilung

Einfache Ansätze zur Berechnung formschlüssiger Welle-Nabe-Verbindungen wie Passfedern und Zahnwellenverbindungen gehen in axialer Richtung von mittleren Flächenpressungen aus und berücksichtigen Doppelpassungseinflüsse durch Traganteile von ca. 75%. Neben diesen reinen Flächenpressungsbetrachtungen werden im Anhang der FKM-Richtlinie /2/ Betrachtungen zur Kerbwirkung des Zahnwellenprofils auf die Gestaltfestigkeit der Welle wiedergegeben. Diese Betrachtungen sind grundlegender Art und schließen eine ungleichförmige Lastverteilung innerhalb der Verbindung nicht ein, dies hat im Vorwege zur Bestimmung der Nennspannung oder lokalen Spannungen zu erfolgen.

## 2.1 Lastverteilung in axialer Richtung

Durch den Steifigkeitssprung am Rand der Nabe kommt es in aller Regel zu einer deutlichen Lastüberhöhung am Verbindungsbeginn, siehe Abbildung 1. Für eine genaue Festigkeitsanalyse muss die Beanspruchungshöhe an dieser klassischen Bruchstelle betrachtet werden.

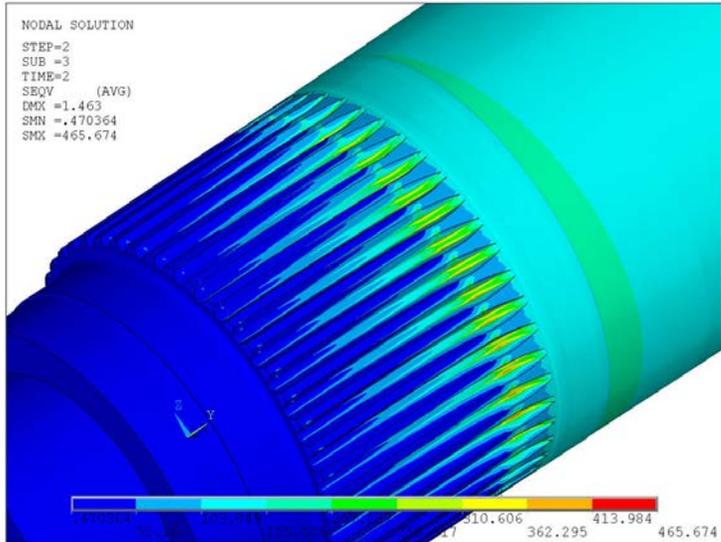


Abbildung 1: Einfluss von Teilungsabweichungen der Qualität IT8

Um von den globalen Last- und Größenangaben der Verbindung auf den Beanspruchungswert am Verbindungsbeginn zu kommen, wurde in DIN 5466 /1/ ein Lastüberhöhungsfaktor in Breitenrichtung eingeführt. Dieser bezieht sich auf eine optimale Verbindungsbreite bei reiner Torsionsübertragung von  $b = 0,6 \cdot d_B$ . Im zurückliegenden Jahr konnte dieser Faktor durch eine große Anzahl von numerischen Variantenrechnungen mit verfeinerter Vernetzung und genaueren Werkstoffmodellen überarbeitet werden. Verschiedene Faktoren konnten dabei neu festgelegt werden, was im Ergebnis zu reduzierten Überhöhungsfaktoren in der Berechnung führt.

## 2.2 Lastverteilung in Umfangsrichtung

Die Lastverteilung in Umfangsrichtung wird ganz wesentlich durch die Teilungsabweichungen innerhalb der Verzahnung bestimmt. Da-

neben wirken sich zusätzliche Querkräfte/Biegemomente überhöhend aus. Vergrößertes Verzahnungsspiel führt bei reiner Drehmomentbeanspruchung zu keiner veränderten Lastverteilung über dem Umfang, wohl aber bei zusätzlichen Querkräften/Biegemomenten. Eine reduzierte Flankensteifigkeit, ggf. auch durch eine Beschichtung realisiert, führt zu einer Vergleichmäßigung der Lastverteilung.

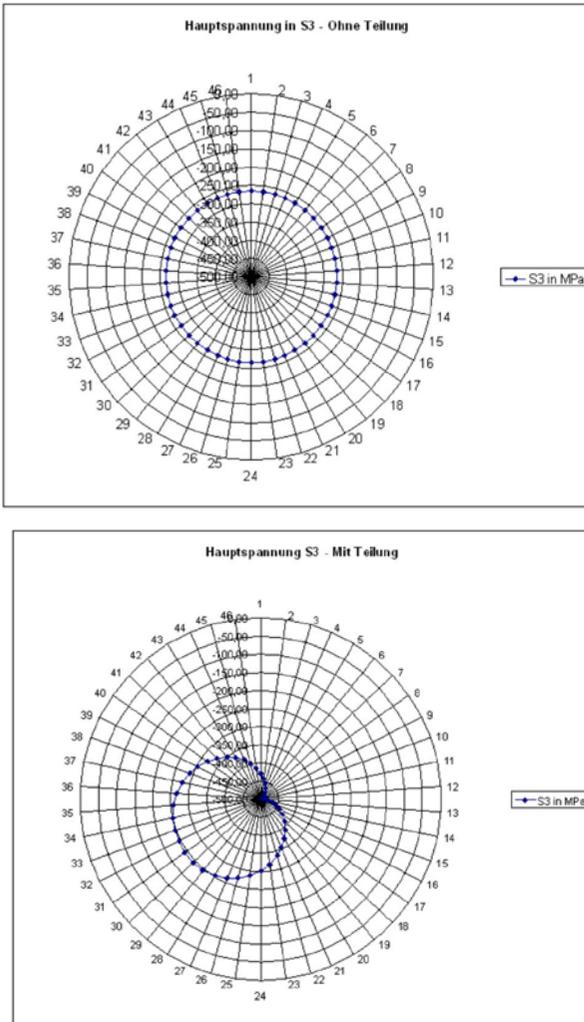


Abbildung 2: Einfluss von Teilungsabweichungen der Qualität IT8, Maximalwerte des Flankendrucks liegen im Zentrum

Die Abbildungen 2 (Flankenpressung) und 3 (Spannungen im Zahnfuß und auf der Flanke S3) geben einen Eindruck zum Einfluss der Teilungsabweichungen einer Qualität 8 bei reiner Torsionsbelastung. Auch zu diesem Thema wurden im vergangenen Jahr umfangreiche Simulationsrechnungen ausgewertet und es konnten damit die bestehenden Ansätze deutlich zutreffender formuliert werden.

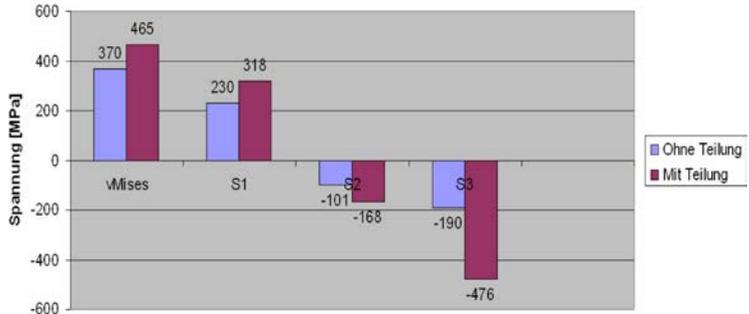


Abbildung 3: Einfluss von Teilungsabweichungen der Qualität IT8 auf die maximale Vergleichsspannung im Zahnfuß der Welle und die Hauptspannungen

### 3 Zusammenfassung

Mit den jetzt vorliegenden Ergebnissen wird aktuell der Normentwurf zur DIN 5466 überarbeitet und soll im Frühjahr 2014 vorgelegt werden.

### 4 Literatur

- /1/ DIN 5466: Tragfähigkeitsberechnungen von Zahn- und Keilwellenverbindungen, Deutsches Institut für Normung, Berlin, Beuth-Verlag, 2000
- /2/ FKM-Richtlinie: Rechnerischer Festigkeitsnachweis für Maschinenbauteile. 6. Auflage, Forschungskuratorium Maschinenbau (FKM), Frankfurt/ Main, VDMA-Verlag 2012
- /3/ Schäfer, G.: Neuerungen in der Berechnung von Passverzahnungen. VDI-Bericht 2114, S. 197 – 210, 2010, ISBN 978-3-18-092114-3