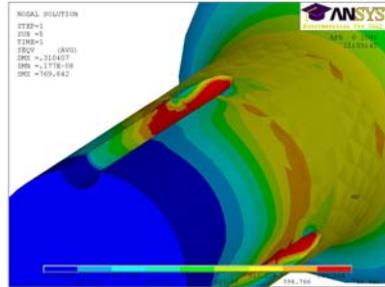


# Gestaltfestigkeit von Längsstiftverbindungen

Korte, T.

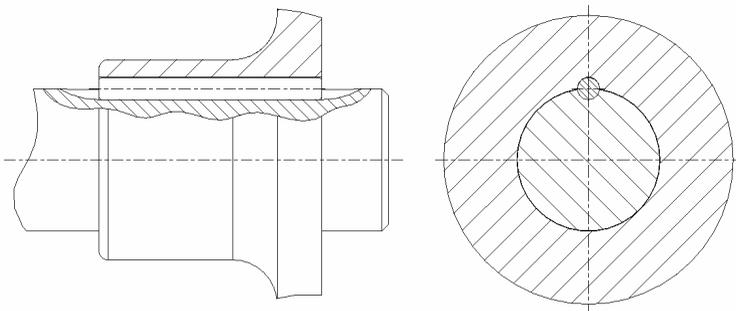
Am Institut für Maschinenwesen wurden umfangreiche Untersuchungen zur Gestaltfestigkeit von spielbehafteten Längsstiftverbindungen bei dynamischen Lasten durchgeführt. Ziel ist es, Berechnungsgrundlagen an dieser bisher wenig verbreiteten Welle-Nabe-Verbindung zu schaffen.



At the Institute of Mechanical Engineering investigations on structural strength of longitudinal pin connections are executed. The research objective is to develop fundamentals of calculation for these collar-shaft-connections.

## 1 Spielbehaftete Längsstiftverbindungen

Längsstiftverbindungen gehören wie die Passfederverbindung zur Gruppe der formschlüssigen Welle-Nabe-Verbindungen. Das Drehmoment wird durch axial am Umfang der Welle angeordnete Stifte übertragen. Die spielbehafteten Längsstifte werden in eine vor der Montage der Bauteile gefertigte Nut eingelegt. Längsstiftverbindungen zeichnen sich aufgrund Ihres halbkreisförmigen Nutquerschnittes durch geringe Spannungsüberhöhungen in der Kerbe aus. Bild 1 zeigt den prinzipiellen Aufbau einer Längsstiftverbindung.



**Bild 1:** Prinzip der Längsstiftverbindung

## 2 Kerbwirkungszahl Torsion $\beta_\tau$ und $\beta_{\tau c}$

Der Einfluss von Kerben auf die Dauerfestigkeit bei unterschiedlichen Werkstoffen wird mit der Kerbwirkungszahl erfasst. Sie stellt das Verhältnis von Dauerausschlagfestigkeit der glatten Probe zur Dauerausschlagfestigkeit der gekerbten Probe dar:

$$\beta_\tau = \frac{\tau_{tW,a(d)}}{\tau_{tW,aK}}$$

Für zum Beispiel durch Nuten und Absätze gekerbte Proben kann die Kerbwirkungszahl näherungsweise aus der Formzahl errechnet werden, da in diesem Fall ähnliche Kerben ähnliche Kerbwirkungszahlen besitzen.

Bei formschlüssigen reibdauerbeanspruchten Welle-Nabe-Verbindungen ist diese Vorgehensweise nicht zulässig. Welle-Nabe-Verbindungen stellen ein komplexes tribologisches System dar. Die Anzahl der Einflussfaktoren und der entsprechenden Wechselwirkungen sind dabei so umfangreich, dass eine Umrechnung den Vorgängen in der Verbindung keineswegs gerecht wird. Die Faktoren können nur durch Versuche ermittelt werden. Die experimentell bestimmten Kerbwirkungszahlen für Torsion werden üblicherweise mit  $\beta_{\tau c}$  bezeichnet.

In der DIN 743 „Tragfähigkeitsberechnung von Wellen und Achsen“ /1, 2, 3/ sind Kerbwirkungszahlen in Abhängigkeit von der Wellenfestigkeit für Passfederverbindungen aufgeführt. Sie dienen als Anhaltspunkt, gelten jedoch nur für eine Beanspruchung ( $\tau_m / \sigma_{ba} = 0,5$ ) und Geometrie. Eine Umrechnung auf andere Geometrien ist auch hier streng genommen unzulässig.

Entsprechend der DIN 743 können aus den vorliegenden Ergebnissen der experimentellen Untersuchungen die Kerbwirkungszahlen für Längsstiftverbindungen errechnet werden. Der dort dargestellte Gestaltfestigkeitsnachweis beruht auf dem Nennspannungskonzept. Verschiedene, die Festigkeit verändernde Einflüsse wie Bauteilgröße, Wärmebehandlungen oder Mittelspannungseinflüsse werden über Faktoren berücksichtigt. Die sich aus der Torsionsbelastung ergebenden Schubspannungen werden auf den kreisrunden ungestörten Querschnitt der Welle mit dem Nenndurchmesser  $D_{al} = 32$  mm bezogen.

### 3 Versuchsbedingungen

Für die hier dargestellten Versuche wurden Wellen aus 42CrMo4, Naben aus C45 und die Stifte aus 115CrV5 gefertigt. Variiert wurden die folgenden Parameter der Stiftverbindung:

- Anzahl der Stifte:  $n_S = 1$   
 $n_S = 3$
- Durchmesser der Stifte:  $d_S = 4\text{ mm}$  ( $Q_S = 0,125$ )  
 $d_S = 6\text{ mm}$  ( $Q_S = 0,1875$ )
- Verbindungslänge:  $l_f = 32\text{ mm}$  ( $l_f/D_{al} = 1$ )  
 $l_f = 45\text{ mm}$  ( $l_f/D_{al} = 1,4$ )
- Durchmesser der Nabe:  $D_{aA} = 64\text{ mm}$  ( $Q_A = 0,5$ )
- Passung Welle/Nabe: H7/k6 Übergangspassung  
H7/r6 Presspassung

Versuche mit „dünnwandigen“ Naben ( $Q_A = 0,71$ ) wurden auch durchgeführt. Die Verbindungen versagten jedoch durch Bruch der Nabe, werden demnach hier bei der auf die Wellen bezogenen Gestaltfestigkeit nicht beschrieben.

Die angegebenen Toleranzen entsprechen der gängigen Praxis. Die Breite der Toleranz und damit das reale Fügenspiel sind jedoch als Einflussgröße auf die Gestaltfestigkeit zu dominant. Aus diesem Grund wurden die Übergangspassungen mit einem Fügenspiel von  $20\text{ }\mu\text{m} \pm 5\text{ }\mu\text{m}$  hergestellt, beziehungsweise gepaart, was bei einem Fügedurchmesser von 32 mm einem bezogenem Spiel von 0,63 ‰ entspricht. Presspassungen wurden mit einem Übermaß von  $30\text{ }\mu\text{m} \pm 5\text{ }\mu\text{m}$  gefertigt. Dies entspricht einem bezogenen Übermaß von 0,94 ‰.

Um Vergleiche durchführen zu können, wurden Passfederverbindungen unter gleichen Versuchsbedingungen auf ihre Gestaltfestigkeit untersucht. Der Wellendurchmesser betrug auch hier 32 mm, das Verhältnis von tragender Passfederlänge zu Fügedurchmesser betrug  $l_{tr}/D_{al} = 1$ . Da rundstirnige Passfedern verwandt wurden, ist die gesamte Passfederverbindung länger als die entsprechende Längsstiftverbindung mit gleichem Verhältnis  $l_f/D_a$ .

Alle Passfederverbindungen wurden mit der oben genannten Presspassung gefügt. DIN 6892 „Passfedern – Berechnung und Gestaltung“ /4/ empfiehlt bei schwingender Beanspruchung eine Übermaßpassung aufgrund ihres günstigen Einflusses auf die Dauerhaltbarkeit und betont, dass entsprechend der Montage- und Demonta-

gebungen deshalb die größtmögliche Übermaßpassung gewählt werden sollte. Damit die Ergebnisse vergleichbar sind wurde dieser Forderung jedoch nicht nachgekommen, dass heißt größere Übermaße wurden nicht untersucht.

Die dynamischen Torsionsversuche wurden auf den unwuchtbetriebenen Torsionsschwingprüfständen (siehe Institutsmitteilung Nr. 32 von 2007) durchgeführt.

Die einzelnen Versuche wurden nach Erreichen von  $1,5 \times 10^7$  Schwingspielen abgebrochen. Da insbesondere bei Bauteiluntersuchungen mit Verschleißbeanspruchung, wie sie hier vorliegen, eine klassische Dauerfestigkeit nicht vorausgesetzt werden kann, wurden zudem Stichversuche bis zu  $3,0 \times 10^7$  Schwingspielen durchgeführt. Ein Abfall der Dauerfestigkeitsgeraden war bis dahin nicht messbar.

Es wurden je Versuchsreihe sieben Proben verwandt; die Versuche wurden abgebrochen, wenn zu einem Lasthorizont zwei Durchläufer ermittelt werden konnten. Alle Versuche wurden mit einem konstanten Mittelspannungsverhältnis von  $R = 0,1$  (schwellende Belastung) gefahren. Es wurden zudem Wechseltorsionsversuche mit einem Spannungsverhältnis von  $R = -1$  durchgeführt.

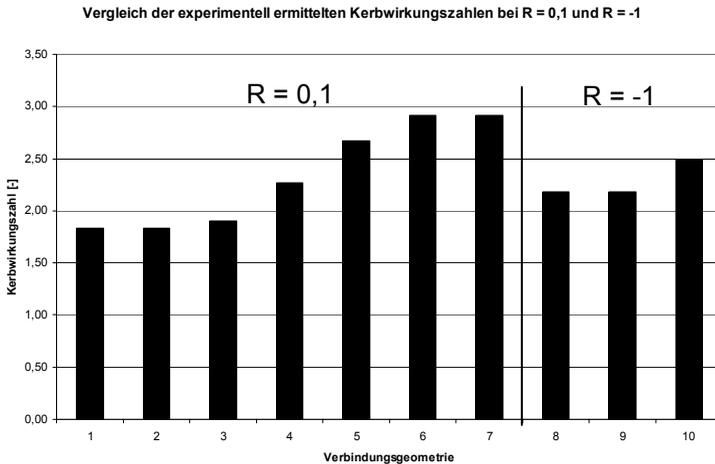
#### 4 Ergebnisse der Untersuchungen

Die aus den Versuchsergebnissen unter Berücksichtigung der DIN 743 ermittelten Kerbwirkungszahlen sind in **Bild 2** dargestellt.

Die kleinsten Kerbwirkungszahlen ließen sich mit Dreistiftverbindungen mit „großem“ Stift ( $Q_5 = 0,1875$ ) erzielen.  $\beta_{TC}$  beträgt hier 1,83 bei  $R = 0,1$ . Eine überlagerte Presspassung hat bei dieser Längsstiftverbindung keinen positiven Einfluss auf die Gestaltfestigkeit.

Bei der Einstiftverbindung mit ansonsten gleiche Geometrie ( $Q_5 = 0,1875$ ,  $l_f/D_{al} = 1$ ) ist die Gestaltfestigkeit demgegenüber stark herabgesetzt. Die ermittelte Kerbwirkungszahl  $\beta_{TC}$  beträgt hier 2,92. Das bedeutet, eine Erhöhung der Stifanzahl erhöht in diesem Fall die dauerhaft ertragene Torsionsschwellamplitude um ca. 60 %.

Für die Dreistiftverbindung mit dem Stiftdurchmesserverhältnis  $Q_5 = 0,125$  wurde bei  $R = 0,1$  eine Kerbwirkungszahl von  $\beta_{TC} = 1,90$  ermittelt. Sie liegt demnach nur geringfügig höher als bei der ansonsten vergleichbaren Verbindung mit  $Q_5 = 0,1875$ .



1	$n_S=3$ $Q_S=0,1875$ $Q_A=0,5$ $l_f/D_{al} = 1$
2	$n_S=3$ $Q_S=0,1875$ $Q_A=0,5$ $l_f/D_{al} = 1$ Pressverbindung
3	$n_S=3$ $Q_S=0,125$ $Q_A=0,5$ $l_f/D_{al} = 1$
4	$n_S=1$ $Q_S=0,1875$ $Q_A=0,5$ $l_f/D_{al} = 1,4$
5	$n_S=1$ $Q_S=0,125$ $Q_A=0,5$ $l_f/D_{al} = 1,4$
6	$n_S=1$ $Q_S=0,1875$ $Q_A=0,5$ $l_f/D_{al} = 1$
7	Passfeder $Q_A=0,5$ $l_{tr}/D_{al} = 1$ Pressverbindung
8	$n_S=3$ $Q_S=0,1875$ $Q_A=0,5$ $l_f/D_{al} = 1$
9	$n_S=3$ $Q_S=0,1875$ $Q_A=0,5$ $l_f/D_{al} = 1$ Pressverbindung
10	Passfeder $Q_A=0,5$ $l_{tr}/D_{al} = 1$ Pressverbindung

**Bild 2:** Vergleich der experimentell ermittelten Kerbwirkungszahlen

Für die Einstiftverbindungen wurden Kerbwirkungszahlen von  $\beta_{TC} > 2,0$  ermittelt, wobei die Verbindung mit dem „großen“ Stift bei dem Verbindungs-längenverhältnis  $l_f/D_{al} = 1,4$  eine um ca. 18 % erhöhte Gestaltfestigkeit gegenüber der Verbindung mit „dünnem“ Stift ermöglicht.

Die Vergleichspassfederverbindungen erzielten in den Versuchen die höchsten Kerbwirkungsfaktoren. Bei einem Mittelspannungsverhältnis von  $R = 0,1$  liegen sie auf dem gleichen Niveau wie die ansonsten ähnliche spielbehaftete Längsstiftverbindung mit einem Stiftdurchmesser-verhältnis von  $Q_S = 0,125$ . Bei wechselnder Torsionsbelastung ist die Kerbwirkungszahl gegenüber der Dreistiftverbindung mit  $Q_S = 0,125$  um ca. 14 % erhöht. Eine überlagerte Pressverbindung verursachte bei der auch bei wechselnder Torsionsbeanspruchung für die Dreistiftverbindung keine Erhöhung der Gestaltfestigkeit.

## **5 Zusammenfassung**

Am Institut für Maschinenwesen wurden dynamische Schwell- und Wechseltorsionsversuche an Längsstiftverbindungen verschiedener Geometrievarianten durchgeführt. Die aus den Versuchen ermittelten Kerbwirkungszahlen für die Welle zeigen, insbesondere im Vergleich zu den ebenfalls untersuchten Passfederverbindungen, das hohe Übertragungspotenzial dieser bisher wenig verbreiteten Welle-Nabe-Verbindung.

## **6 Literatur**

- /1/ DIN 743-1: Tragfähigkeitsberechnung von Wellen und Achsen, Teil 1 Einführung und Grundlagen. Beuth Verlag GmbH, Berlin, 2000
- /2/ DIN 743-2: Tragfähigkeitsberechnung von Wellen und Achsen, Teil 2 Formzahlen und Kerbwirkungszahlen. Beuth Verlag GmbH, Berlin, 2000
- /3/ DIN 743-3: Tragfähigkeitsberechnung von Wellen und Achsen, Teil 3 Werkstofffestigkeitswerte. Beuth Verlag GmbH, Berlin, 2000
- /4/ DIN 6892: Passfedern - Berechnung und Gestaltung. Beuth Verlag GmbH, Berlin, 1998
- /5/ Korte, T.: Längsstiftverbindungen als Alternative zur Passfeder. Konferenzband zur 16. internationalen wissenschaftlich-technischen Konferenz TEMAG 2008 Lebensdauer von Konstruktionselementen und -baugruppen in Bergbaumaschinen. Bibliotheka TEMAG, 2008, ISBN 978-83-61442-04-2