

Untersuchungen an spielbehafteten Längsstiftverbindungen

Korte, T.

Längsstiftverbindungen zur Übertragung von Drehmoment bieten ein großes Potenzial zur Leistungssteigerung in der Antriebstechnik. Um eine beanspruchungsgerechte Auslegung der Längsstiftverbindung zu ermöglichen werden am Institut für Maschinenwesen theoretische und praktische Untersuchungen durchgeführt.

Longitudinal pin connections for transmission of torque provide big potential to improve drive systems. At the Institute of Mechanical Engineering investigations are executed to enable a load based dimensioning of such pins.

1 Stand der Technik

Längsstiftverbindungen gehören zu den form-schlüssigen Welle-Nabe-Verbindungen. Sie bestehen aus axial im Fügedurchmesser angeordneten Stiften ^{NTS} als Mitnehmerelementen. Am Institut für Maschinenwesen wurden erste Dimensionierungsgrundlagen für diese Verbindungsart erarbeitet. Die Untersuchungen berücksichtigten unter anderem Parameter wie Anzahl der Stifte, variierende Durchmesserhältnisse von Welle, Nabe und Stift sowie den Einfluss der Verbindungsbreite. Die Untersuchungen wurden numerisch und experimentell durchgeführt. Statische Verdrehversuche und Messungen der Verformungen mit der Koordinatenmessmaschine sowie Spannungsmessungen mit Dehnungsmessstreifen dienten zum Abgleich der FE-Analysen.

Die Ergebnisse der Untersuchungen sind unter anderem Gestaltungshinweise bezüglich Geometrie, Stiftnzahl sowie Passungswahl, die es dem Konstrukteur

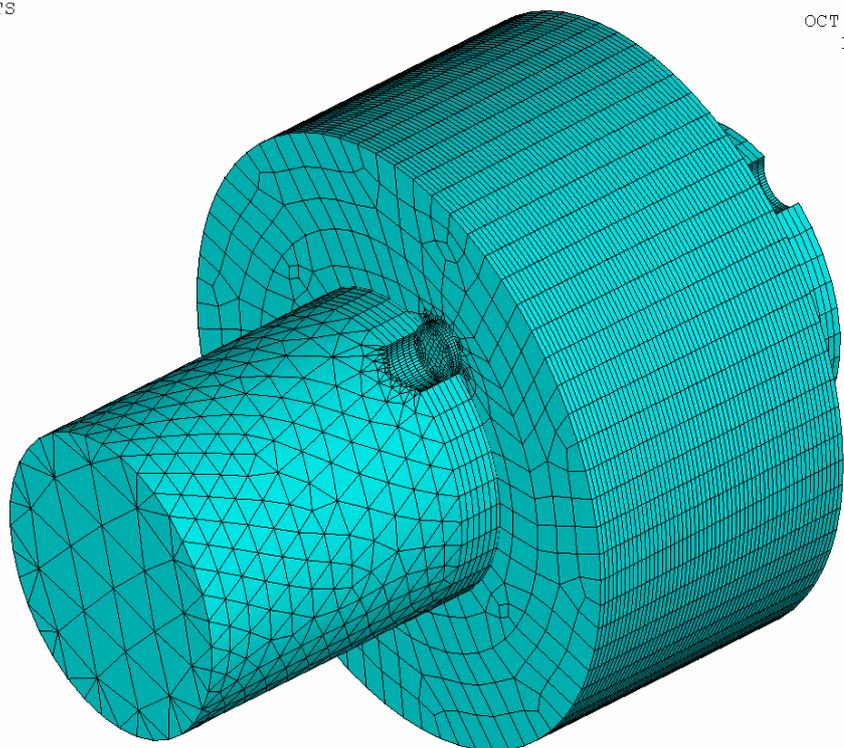
ermöglichen, Längsstiftverbindungen unter Berücksichtigung der Lasteinleitung auszulegen /1,2/.

2 Ziel der Untersuchungen

Ziel des aktuellen, von der DFG geförderten Forschungsprojektes ist die Erweiterung des Kenntnisstands durch:

- Erweiterung der erarbeiteten Berechnungsgrundlagen unter Berücksichtigung des teilplastischen Materialverhaltens,
- Untersuchung der Gestaltfestigkeit von Längsstiftverbindungen unter kombiniert statisch-dynamischer Torsions- und Biegebelastung und
- Untersuchung der Reibdauerbeanspruchung unter dynamischer Beanspruchung.

Im Fokus der Untersuchungen stehen in erster Li-



OCT 29
19:1

Bild 1: elementiertes Modell einer Längsstiftverbindung

nie Ein- und Dreistiftverbindungen. Da die Beanspruchungen entscheidend von den Verformungen der einzelnen Kontaktkörper (Welle, Nabe, Stift)

abhängen, sind umfangreiche Parameteruntersuchungen mit Belastungs-Verformungskopplung nötig. Außerdem verursachen plastische Verformungen Veränderungen in der Kontaktzone, die Auswirkungen auf das Zentrier- und Betriebsverhalten haben.

3 FE-Untersuchungen

Mit Hilfe von Finite-Elemente-Berechnungen wird zunächst das Beanspruchungsverhalten der spielbehafteten Längsstiftverbindungen unter Berücksichtigung des elastoplastischen Materialverhaltens untersucht. **Bild 1** zeigt das elementierte Modell einer Längsstiftverbindung.

Um den Aufwand für die Erstellung der Simulation zu reduzieren, wurde ein vollständig parametrisches Modell entwickelt, das über ein Skript die erforderlichen Daten zur Modellgenerierung abfragt. Eingaben sind dabei:

- Durchmesser von Welle, Nabe und Stift
- Passungen mit Abmaßen von Welle, Nabe und Stift
- Anzahl der Stifte, Teilung
- Verbindungslänge
- Teilungsabweichungen
- Größe der Drehmomentbelastung

Untersucht werden zunächst Ein- und Dreistiftverbindungen. Von Interesse sind dabei insbesondere das Plastifizierungs- und das Ausgleichsverhalten bei Verwendung mehrerer Stifte, auch unter Berücksichtigung der Teilungsabweichungen.

Element	Welle	Nabe	Stift
Werkstoff	42CrMo4	C45	115CrV5
Zugfestigkeit [N/mm²]	1050	750	690
Streckgrenze [N/mm²]	700	400	500
Bruchdehnung [%]	12	14	25
Brucheinschnürung [%]	50	35	45
Elastizitätsmodul [N/mm²]	210000	210000	210000
Poissonzahl ν	0,3	0,3	0,3

Tab. 1: Werkstoffwahl und Kennwerte

Die gewählten Werkstoffe der Bauteile für die Simulation und die Versuche sind **Tabelle 1** zu entnehmen.

Hier sind auch die Werkstoffkennwerte aufgeführt, wie sie als Eingabe für die Simulation dienen.

3.1 Verlauf der plastische Verformungen

Die **Bilder 2 und 3** zeigen exemplarisch die plastischen Verformungen im hochbelasteten Anfangsbereich der Nabe und die Verformungen längs der Stiftbohrung. Es wurde eine Verbindung mit 32 mm Wellendurchmesser und 4 mm Stiftdurchmesser bei einer Torsionsbelastung von 1000 Nm untersucht.

Aufgrund der nicht zentrischen Lagerung der Welle kommt es zum Anliegen der Welle an der Nabenseite. Die radiale Komponente der bei der Ab-

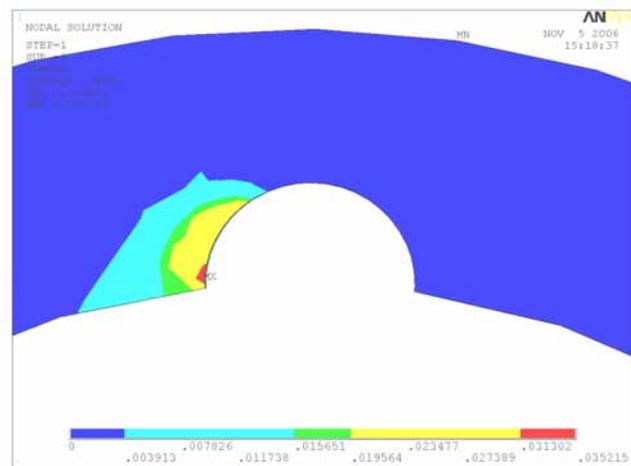


Bild 2: Plastische Verformungen am belastungsseitigen Nabenrand bei 1000 Nm Torsion

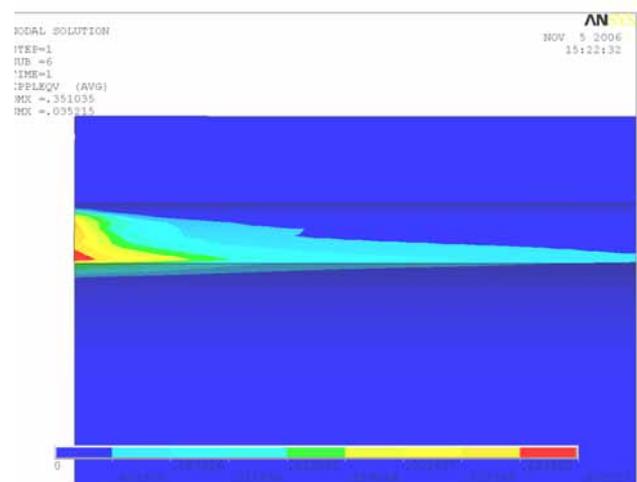


Bild 3: Plastische Verformungen in der Nabe längs der Stiftbohrung bei 1000 Nm Torsion

stützung auftretenden Kraft bewirkt eine zusätzliche Flächenpressung. Dies ist von Interesse, da bei Be-

rücksichtigung der Reibung ein lokaler Pressverband entsteht, der Anteile des Gesamtdrehmomentes überträgt.

Außerdem ist zu erkennen, dass bei hinreichend dickwandigen Naben die größten Verformungen im vorderen Bereich der Verbindung auftreten. **Bild 4** zeigt die plastischen Verformungen am Stift der oben genannten Verbindung.

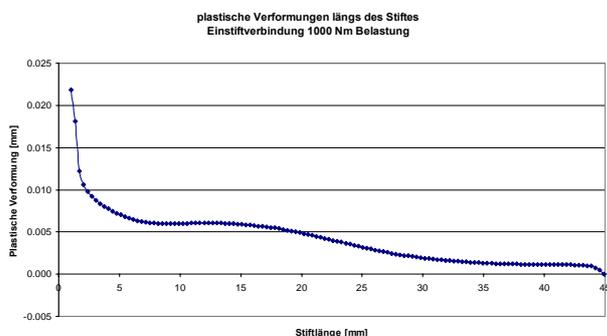


Bild 4: plastische Verformungen längs des Stifts

3.2 Einfluss des Spiels der Verbindung

Bei spielbehafteten Längsstiftverbindungen erfolgt die Zentrierung der Verbindung nicht über das Mitnehmerelement, wie zum Beispiel bei der Flanken-zentrierung einer Zahnwellenverbindung. Aus diesem Grund ist bei Längsstiftverbindungen die Festlegung der Passung zwischen Welle und Nabe zum einen und zwischen Stift und Stiftbohrung zum anderen von besonderer Bedeutung. Für Passfedern mit Rückenspiel ist gemäß DIN 6892 eine Passung Welle/Nabe H7/k6 angegeben. In [1] wird diese Passung auch für spielbehaftete Längsstiftverbindungen empfohlen. Insbesondere hinsichtlich der Gestaltfestigkeitsuntersuchungen ist das plastische Verhalten der Verbindung im Rahmen der durch die Passung tolerierten Maße von Interesse. Beispiel-

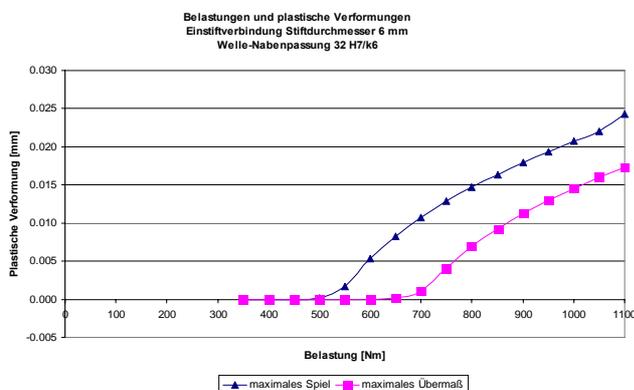


Bild 5: Plastische Verformungen bei maximalem Spiel, bzw. maximalem Übermaß

haft sind in **Bild 5** die Auswirkungen des Spiels an einer Einstiftverbindung mit einem Stiftdurchmesser von 6 mm zusammengefasst. Untersucht wurde eine Verbindung mit der Übergangspassung 32 h7/k6 im Fügedurchmesser jeweils mit dem maximalen Spiel und dem maximalen Übermaß ohne Spiel im Stift.

Es ist anhand der Abbildung zu erkennen, dass das Übertragungsverhalten des Stifts bei der Übermaßpassung von einem anteiligen Presssitz überlagert wird. Der reibschlüssig übertragene Anteil ist als horizontaler Abstand zwischen den beiden Verläufen in Bild 5 zu erkennen.

3.3 Einfluss von Teilungsabweichungen am Umfang

Durch Einflüsse der Fertigung entstehen Teilungsabweichungen am Umfang der Fügefläche. Das bedeutet, dass die ideal angenommene Teilung der Stifte in der Realität nicht erzeugt werden kann. Dies kann durch das parametrische FE-Modell dargestellt werden. Es wird dabei davon ausgegangen, dass bei einer Mehrstiftverbindung ein Stift eine gewisse Winkelabweichung von der Sollgeometrie der Teilung aufweist. Dies wurde in verschiedenen Dreistiftverbindungen simuliert.

Bild 6 zeigt exemplarisch das Verhalten einer Dreistiftverbindung mit einem Stiftdurchmesser von 6 mm bei einer Torsionsbelastung von konstant 700 Nm. In einer idealen Längsstiftverbindung ohne Teilungsabweichungen sind bei dieser Belastung kei-

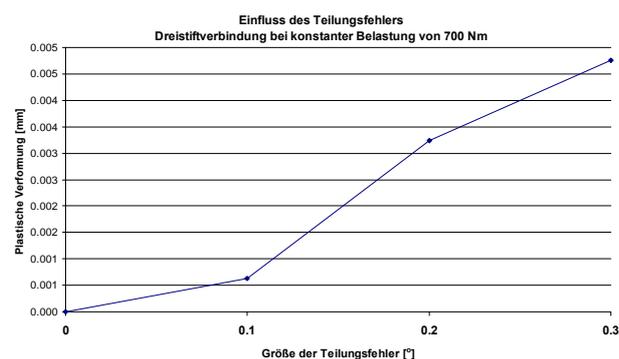


Bild 6: Einfluss der Teilungsabweichung auf die plastischen Verformungen im Stift

ne plastischen Verformungen zu erwarten. Dargestellt sind demnach die plastischen Verformungen die durch die Teilungsabweichungen verursacht werden.

4 Fertigung der Proben und Versuche

Die für die Versuche erforderlichen Proben werden in der institutseigenen Werkstatt gefertigt. Hier werden verschiedene Fertigungsverfahren hinsichtlich ihrer Eignung, die Bohrungen wirtschaftlich und mit geringen Abweichungen von der Sollgeometrie auszuführen, untersucht.

Die Längsstiftbohrungen der Probe in **Bild 7** wurden durch Bohren hergestellt. Dabei wurden die



Bild 7: gebohrte Längsstiftprobe

Bohrungen in die plangedrehten Probenrohlinge eingebracht. Nach dem Reiben der Bohrungen auf das Maß H7 wurden die Proben auf die erforderlichen Maße längsgedreht. Der Auslauf der Stiftbohrung wurde in der abgebildeten Probe mit einem Radius versehen.



Bild 8: Längsstiftprobe nach Wechseltorsionsprüfung

Der Verschleiß in Form von Reibkorrosion tritt bei den spielbehafteten Längsstiftverbindungen verstärkt in den Vordergrund, da Relativbewegungen zwischen drei Kontaktkörpern auftreten. Aus die-

sem Grund stellt die Untersuchung des Verschleißverhaltens neben den Tragfähigkeitsuntersuchungen einen wesentlichen Anteil dar. **Bild 8** zeigt einen Prüfkörper mit Reibrost in der Fügefläche und in den Stiftbohrungen nach erfolgter Wechseltorsionsprüfung.

5 Zusammenfassung

Am Institut für Maschinenwesen werden die Untersuchungen an Längsstiftverbindungen weitergeführt. Die Erkenntnisse des Verhaltens unter statischen Bedingungen und unter Berücksichtigung rein elastisch-plastischer Materialgesetze werden in den teilplastischen Materialbereich hinein erweitert. Hierzu wurde ein parametrisches FE-Modell erstellt, um verschiedene veränderliche Parameter mit geringem Programmieraufwand simulieren zu können. Es finden außerdem Versuche an gefügten Verbindungen unter Betriebslasten statt. Ziel dieser dynamischen Versuche sind Erkenntnisse über das Verschleißverhalten und die Gestaltfestigkeit von Längsstiftverbindungen.

6 Literatur

- /1/ Birkholz, H.: Auslegung von Längsstiftverbindungen mit mehreren Mitnehmerelementen unter Drehmomentbelastung. Dissertation, TU Clausthal 2004
- /2/ Birkholz, H.: Untersuchungen zum Beanspruchungsverhalten spielbehafteter Längsstiftverbindungen. Mitteilungen aus dem Institut für Maschinenwesen Nr. 2; Clausthal 2003
- /3/ Wesolowski, P.: FEM-Simulation von Längsstiftverbindungen mit teilplastischem Materialverhalten. unveröffentlichte Studienarbeit, IMW TU Clausthal, 2006