

## Spielbehaftete Längsstift-Verbindungen - eine unterschätzte Welle-Nabe-Verbindung ?

Burgtorf, U.; Garzke, M.; Schäfer, G.

Die Längsstift-Verbindungen wurden als Welle-Nabe-Verbindungen ursprünglich nur zur Übertragung kleiner Drehmomente oder als Sicherungselement verwendet. Nach der Montage von Welle und Nabe wurde die Verbindungspartner mit einer Bohrung versehen, in die der Stift schließlich eingepreßt wurde. Zur Verwendung kam pro Verbindung in den meisten Fällen nur ein Stift mit relativ geringem Durchmesser.

In der jüngsten Vergangenheit wurden verstärkt Längsstift-Verbindungen als spielbehaftete Welle-Nabe-Verbindungen eingesetzt bzw. der Wunsch nach dem Einsatz derartiger Verbindungen geäußert. Die Gründe für die Verwendung liegen in der fertigungstechnisch günstigen Herstellbarkeit, die Ursachen für die Verhinderung des Einsatzes liegen in den unzureichenden Dimensionierungsgrundlagen.

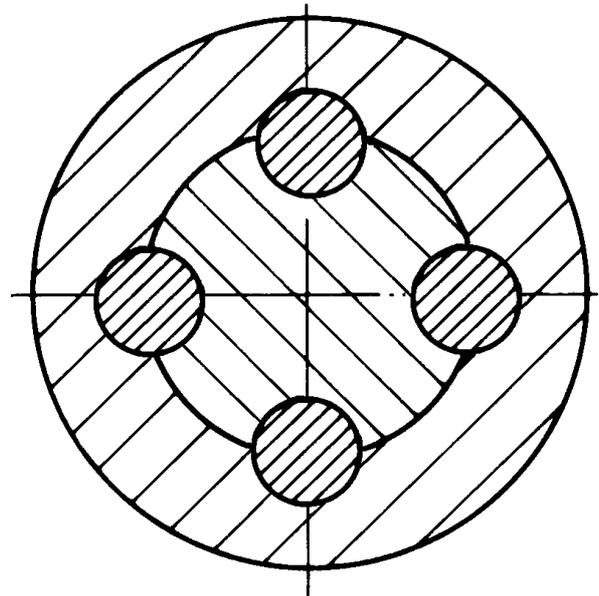
Dieser Beitrag zeigt die Vorteile aber auch die Problematik auf, die sich mit der Verwendung von Längsstift-Verbindungen ergeben. Weiterhin zeigt er die Möglichkeit auf, im Rahmen eines Forschungsvorhabens die sichere Anwendbarkeit dieser Welle-Nabe-Verbindungen durch Entwicklung ausreichender Dimensionierungsgrundlagen zu ermöglichen.

Longitudinal pin connections have been originally planned for safety tasks and low torque transmission using a pin with small cross section. In the last time an intensified use of this machine element has been taken into consideration due to lightweight requirements (e.g. hollow shafts) and the easy way of manufacturing. On the other side there are no enlarged calculation approaches for longitudinal pin connections.

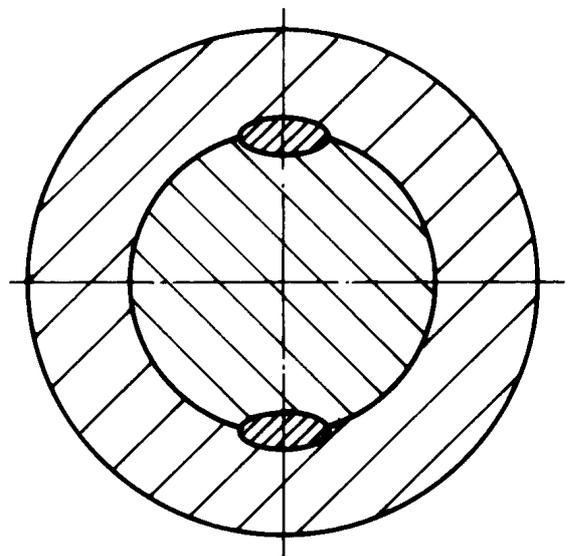
This article shows the advantages and describes the problem of using this machine element for torque transmission. An enlarged calculation approach and design rules can be derived from a research project.

### 1 Einleitung

Das Haupteinsatzgebiet von Längsstift-Verbindungen als Welle-Nabe-Verbindungen erstreckt sich hauptsächlich auf die Verbindung von Naben, He-



**Bild 1:** Längsstift-Verbindung mit 4 Stiften



**Bild 2:** Längsstift-Verbindung mit elliptischen Stiften

beln oder Stellringen auf Wellen oder Achsen, zur Übertragung kleiner Drehmomente und zur Lagesicherung. Dazu werden Stifte mit kleinem Durchmesser verwendet, die mit Längs-Preßsitz und Übermaß in eine nach der Montage der beiden Verbindungspartner ausgeführte Bohrung eingeschlagen werden. Für die Verwendung von Zylinderstif-

ten sind die Bohrungen auf Paßmaß aufzu-reiben /1/.

Die Verwendung größerer Stiftdurchmesser und/oder mehrerer Stifte (**Bild 1**) sowie anderer Stiftgeometrien (**Bild 2**) ohne Übermaß, die in vor der Montage ausgeführte Nuten eingelegt werden, eröffnet dieser Form von Welle-Nabe-Verbindungen einen weiten Einsatzbereich, der bisher im Maschinenbau nicht richtig ausgeschöpft wurde, da sich erst in den letzten Jahren die Fertigungstechnologien zur Herstellung der Nuten in Wellen und Nabe entscheidend geändert haben.

Beim Einsatz von kleinen, nach der Montage in aufgebohrten oder aufgeriebenen Nuten eingepreßten Stiften - auch Kerbstiften - ist eine sichere Vorhersage des übertragbaren Drehmoments nur durch umfangreiche Paßarbeit möglich. Die Güte, Herstellungsart, Form- und Lagefehler sind hier von großer Bedeutung, da sie einen starken Einfluß auf die Streuung der übertragbaren Momente ausüben. Eine gute Passungsgenauigkeit läßt sich nur erzielen, wenn die Erzeugung der Bohrung zur Aufnahme des Stiftes nach dem Fügen der zu verbindenden Bauteile erfolgt. Durch diese Fertigungsfolge wird die Größe der Stiftverbindung sowie der zu verbindenden Bauteile eingeschränkt.

Hinzu kommt, daß bei der beschriebenen Fertigungsfolge des Aufbohrens oder Aufreibens nach Montage erhebliche Funktionsmängel die Folge sein können. Die Verbindungsstelle ist häufig schlecht zugänglich, die Verwendung von Handwerkzeugen ist bezüglich der Präzision der Bohrung als kritisch anzusehen und es besteht Gefahr,

Gliederungsteil	Hauptteil			Zugriffsteil															
	Art des Formschlusses	Bezeichnung	Skizze	Nr.	Übertragbare Drehmomente bei 500 Nm für $d_1 = 35$ mm	Übertragbare Drehmomente bei 500 Nm für $d_1 = 35$ mm	Eignung für verriegeltes oder selbstverriegeltes Drehmoment												
Unmittelbar	Kerbwelle			1	1/52	190	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
	Kerbstahnwelle			2	1918	163	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
	Evolutionenprofilwelle			3	1405	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
	Poligonprofil			4	2310	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
Mittelbar	Paßfeder			5	780	193	269	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
	Längsstift			6	1238	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
	Quersift			7	645	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-

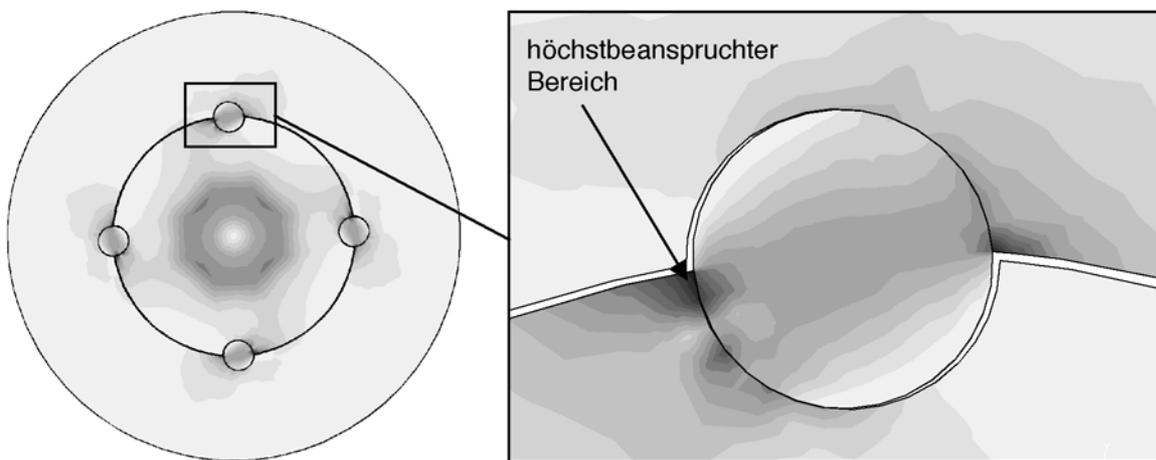
**Tabelle 1:** Konstruktionskatalog für formschlüssige Welle-Nabe-Verbindungen /2/

daß - bevorzugt bei Verbindungen mit unterschiedlichen Werkstoffen - der Bohrer verläuft. Auch konstruktiv ergibt sich eine Restriktion aus der Tatsache, daß die Längsbohrung eingebracht werden muß, es ist also ein hinreichend großer Wellenab-satz notwendig. Nicht zuletzt aufgrund dieser fertigungsbedingten Einschränkung wird die Verbindung mit Längsstift im allgemeinen für eine Kraft- und Drehmomentübertragung nicht empfohlen.

## 2 Vorteile spielbehafteter Längsstift-Verbindungen

Einen neuen Weg der Längsstift-Verbindungen beschreitet die Ausführung als spielbehaftete Längsstift-Verbindung (axiale Verschiebbarkeit, keine Preßverbindung) mit zylindrischem Stift, großen Durchmessern sowie einer variierenden Anzahl und Anordnung von Mitnehmerelementen.

Damit wird aus der hauptsächlich als Sicherungsele-



**Bild 3:** Vergleichsspannungsverlauf in einer Längsstift-Verbindung (Darstellung der Verformung 10-fach überhöht)

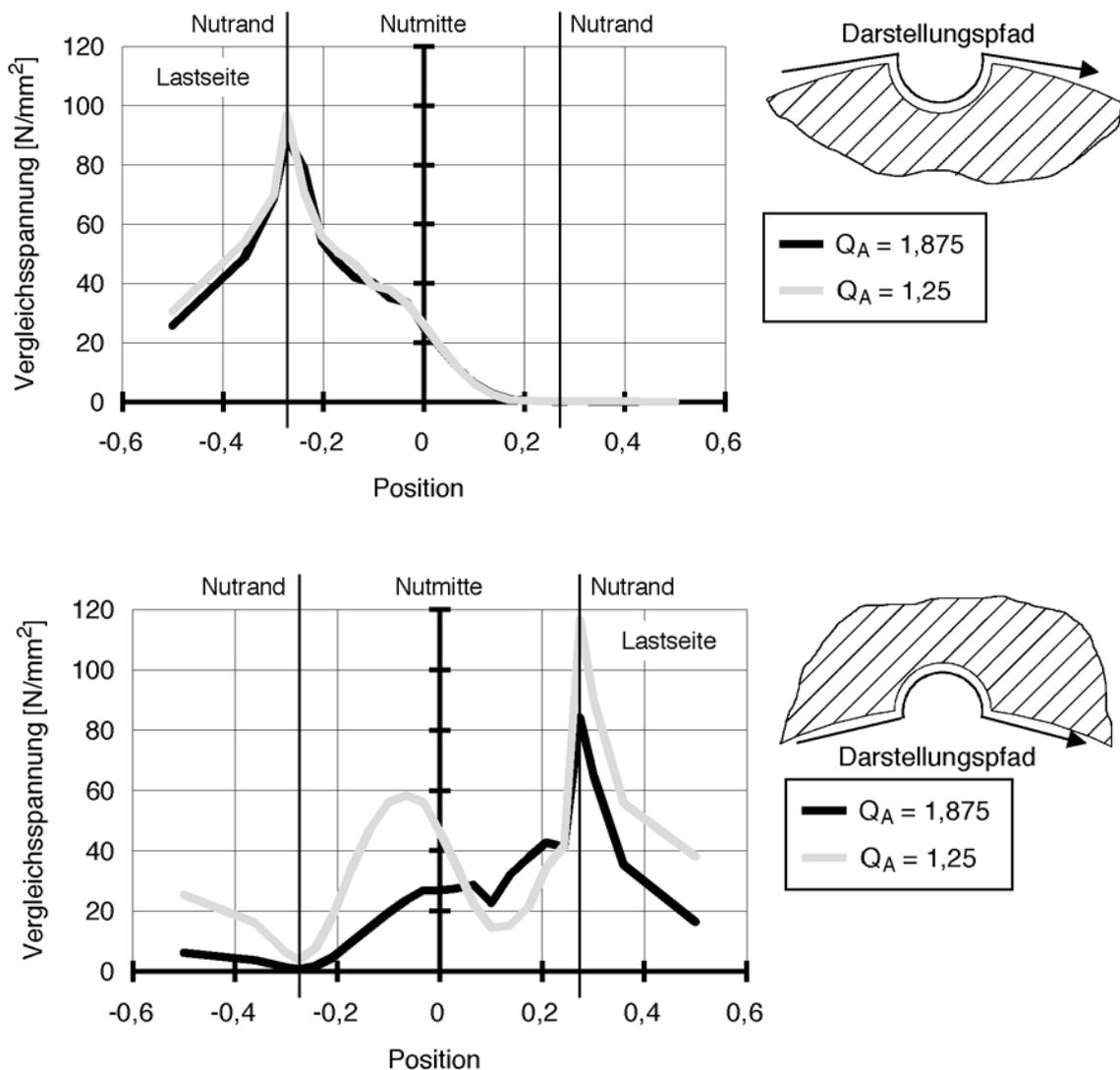
ment eingesetzten Längsstift-Verbindung eine vielseitig verwendbare Welle-Nabe-Verbindung zur Übertragung von Drehmomenten. Die Nuten zur Aufnahme des Stiftes sind kostengünstig herstellbar, da die einfache Nutform z.B. eingewalzt (Kostensparnis bei hohen Stückzahlen) und der Längsstift aus Rundmaterial gefertigt werden kann. Die Erzeugung der Stiftbohrung muß nicht mehr nach der Montage erfolgen, die Größe der Verbindungselemente ist damit nicht mehr eingeschränkt.

Im Vergleich zu anderen Welle-Nabe-Verbindungen (Paßfeder, Zahnwelle, Kerbstift-Verbindung etc.) weist diese Verbindung aufgrund der radienförmigen Nut eine günstige Beanspruchungsgeometrie mit geringerer Kerbwirkung auf. Ein in /2/ enthaltener Konstruktionskatalog (**Tabelle 1**) stellt in Form des übertragbaren Drehmoments einen Vergleich zwischen formschlüssigen Welle-Nabe-Verbindungen her und weist selbst gepreßte

Längsstift-Verbindungen mit einer hohen Übertragungsfähigkeit aus. In **Bild 3** ist die Beanspruchung (Vergleichsspannung nach Mises) in einer spielbehaftete Längsstift-Verbindung mit 4 Mitnehmern abgebildet. Der vergrößerte Ausschnitt zeigt den höchstbeanspruchten Mitnehmerbereich.

In **Bild 4** sind beispielhaft die Beanspruchungsverläufe in Wellen- und Nabennut einer dünnen (Nabenaußen-/innendurchmesser  $Q_A = 1,25$ ) und dicken ( $Q_A = 1,875$ ) Längsstift-Verbindung dargestellt.

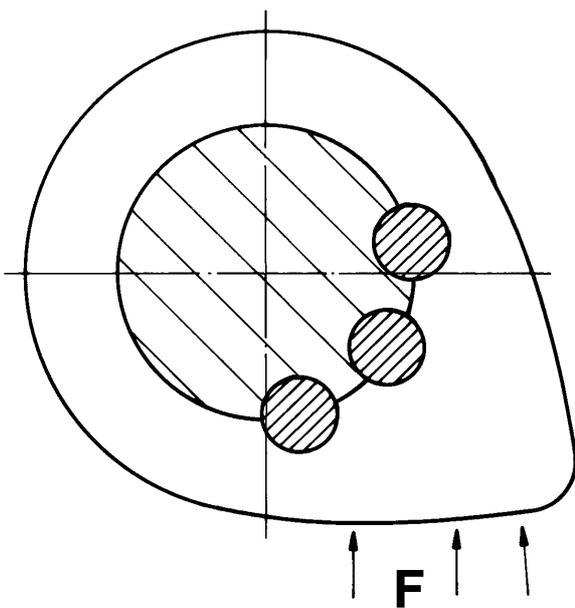
Es zeigt sich, daß die Beanspruchungsverläufe in der Welle unabhängig vom Außendurchmesser sind. In der Nabe treten die höchsten Beanspruchungen an der belasteten Nutkante auf, sie liegen damit nicht – wie bei anderen Verbindungen – im Bereich der geringsten Restwandstärke sondern im Bereich der Verbindungsfuge und lassen sich durch Geometrieoptimierung noch reduzieren.



**Bild 4:** Beanspruchungsverläufe in der Wellen- und Nabennut einer Längsstift-Verbindung

Hinsichtlich der Steigerung der Übertragungsfähigkeit durch Verwendung von mehreren Mitnehmern ergibt sich eine gleichmäßige Lastverteilung aufgrund des aus der Mitnehmerform resultierenden abweichungstoleranten Verhalten – und damit eine erhöhte Ausnutzung durch Erhöhung des prozentualen Traganteils der Mitnehmer. Aufgrund von Fertigungsabweichungen ergibt sich statt einer flächigen Anlage zwischen Mitnehmer und Welle bzw. Nabe nur ein Linienkontakt. Dadurch resultiert eine geringe Steifigkeit für die Verbindung, so daß sich ein zunächst stärker belasteter Mitnehmer verformt (bzw. die Nuten der Verbindungselemente) und sich (bzw. die Nuten) der abweichungsbehafteten Geometrie anpaßt. Trotzdem bleibt eine günstige gleichmäßige Anlagefläche zwischen Mitnehmer und Welle/Nabe erhalten. Damit ist die Übertragung eines überhöhten Lastanteil möglich, bis weitere Mitnehmer wieder einen größeren Lastanteil aufnehmen und den verformten Mitnehmerbereich entlasten. Bei diesem Vorgang trägt die Mitnehmerform durch ihre geringe Kerbwirkung dazu bei, daß trotz eines erhöhten Traganteils kein Versagen – gleichbedeutend mit Abscheren des Stiftes oder Ausbrechen der Nutkanten – auftritt.

Die Anordnung mehrerer Mitnehmer über dem Umfang kann auch beliebig und unsymmetrisch verteilt sein (**Bild 5**), so daß hinsichtlich des Kraftflusses und der resultierenden Beanspruchungen die Mitnehmer günstig positioniert werden können.



**Bild 5:** Kraftflussgerechte Anordnungsmöglichkeiten des Stiftes einer Längsstift-Verbindung

Bei den Beanspruchungen über der Verbindungslänge kann nicht von einem konstanten Tragverhalten gesprochen werden, somit ist über der Verbindungslänge durch fertigungstechnische Abweichungen bzw. Verformungen der Verbindungspartner mit einer variierenden Lastaufteilung zu rechnen.

Diese Art der Längsstift-Verbindung, die sich von der üblichen eingepreßten Längsstift-Verbindung durch spielbehaftete Mitnehmer mit großen Durchmessern abhebt, wird bereits in größerem Umfang bei Extruderwellen (**Bild 6**), Nockenwellen und Werkzeugmaschinen eingesetzt.

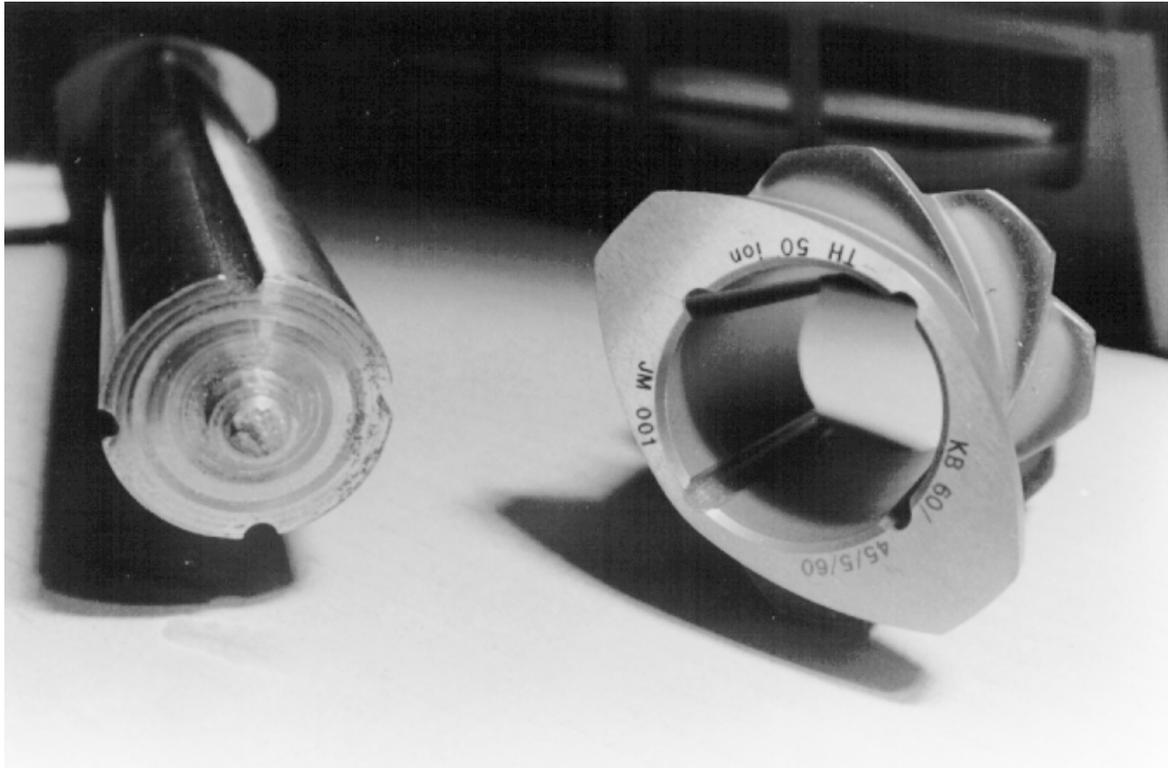
### 3 Problematik der Dimensionierung

Der Einsatz dieser Verbindungsart erfordert jedoch eine gesicherte und ausreichend genaue Beanspruchungsermittlung, die eine möglichst gute Ausnutzung der Verbindung ermöglicht. Bisher erfolgt die Auslegung nur auf Flächenpressung und Abscheren des Stiftes /2,6/. Dies setzt voraus, daß der Stift das schwächste Glied in der Verbindung ist – dies ist bei Verwendung eines dem Wellen- bzw. Nabenwerkstoffes von den Festigkeitskennwerten gleichwertigen Stiftmaterials zutreffend. Der Einsatz eines hochfesten, harten Stiftmaterials zur Erhöhung der Übertragungsfähigkeit der Verbindung kann dazu führen, daß die Welle oder die Nabe zum schwächsten Glied der Verbindung wird (z.B. bei einer Hohlwelle oder Nabe mit sehr dünner verbleibender Restwandstärke). Aufgrund fehlender Formfaktoren oder Kerbwirkungszahlen sind jedoch für Welle und Nabe keine Dimensionierungsgrundlagen vorhanden /2/.

In /3-5/ sind Untersuchungen und Berechnungsgrundlagen für Zylinder- und Kerbstifte dokumentiert. Da es sich hier sämtlich um eingepreßte Stifte handelt, beschränken sich die Untersuchungen auf die Höhe und Verteilung der Pressung über dem Stiftumfang.

Durch den Kraftfluß von der Welle über den Stift in die Nabe oder umgekehrt ist mit einem axialveränderlichen Tragverhalten des Stiftes über der Verbindungslänge zu rechnen, was bei der bisherigen Auslegung der Verbindung auf Flächenpressung allerdings unberücksichtigt bleibt.

Weitestgehend unbekannt ist bisher auch der Passungseinfluß auf das Tragverhalten. Der Einfluß der Toleranzen von Nut und Stift beeinträchtigt das Passungsverhalten und damit die Form (Punkt- oder Flächenkontakt) und Anzahl der Anlagestellen



**Bild 6:** Anwendungsbeispiel für eine spielbehaftete Längsstift-Verbindung - Extruderwelle mit Knetelementen

zwischen Stift und Nuten. Aus Form- und Lagetoleranzen können durch unterschiedliches Anlageverhalten zwischen Stift und Nuten in einigen Teilbereichen hohe Beanspruchungen resultieren. Sie führen jedoch schnell zu plastischen Verformungen und damit wieder zu einer Angleichung der Lastverteilung, so daß sich ein insgesamt beanspruchungstolerantes Verhalten ergibt. Weiterhin sind für eine sichere Auslegung keine Dauerfestigkeitskennwerte vorhanden.

#### 4 Forschungsbedarf

Zur Erschließung eines breiten Einsatzbereichs dieser kostengünstigen und fertigungstechnisch einfach herzustellenden Welle-Nabe-Verbindung ist die Aufstellung von sicheren Dimensionierungsgrundlagen und praktikablen Konstruktionsrichtlinien unumgänglich. Außer der Berücksichtigung unterschiedlicher Werkstoffkennwerte bei Verwendung verschiedener Materialien für Welle, Nabe und Stift muß die Dimensionierung die verschiedenen Belastungsarten (Drehmoment, Querkraft ...), die Nabengeometrie (unsymmetrische Naben: Nocken, Extruderknetelemente ...), Nabenaußendurchmesser (dünne Naben), die Wellengeometrie (Hohlwellen), die Fertigungsqualität, den Traganteil bei Verwendung von mehreren Stiften und das Tragverhalten über der Verbindungslänge berücksichtigen.

Hierzu sind grundlegende Untersuchungen zum Beanspruchungs-, Passungs- und Betriebsverhalten erforderlich.

Im Rahmen von Untersuchungen könnten Formfaktoren in Abhängigkeit von der Geometrie, der Mitnehmeranzahl, dem Durchmesser Verhältnis der Nuten zum Verbindungsfugen-Durchmesser und den Durchmesser Verhältnissen von Welle und Nabe bestimmt werden. Der Einfluß von Form- und Lageabweichungen auf das Tragverhalten und der Einfluß der Verbindungslänge auf die axiale Lastverteilung würden betrachtet. Dabei sollte sowohl eine elastische als auch teilplastische Auslegung der Verbindung berücksichtigt werden.

Die Ergebnisse dieser Untersuchungen würden zu entsprechenden Berechnungsgrundlagen, zulässigen Festigkeitskennwerten und Konstruktionsrichtlinien führen und diese Verbindung auch für mittelständische Betriebe verfügbar machen.

Auf vorhandenen Institutsprüfständen könnten für verschiedene Belastungsarten am Beispiel einiger signifikanter Verbindungsformen Dauerfestigkeitskennwerte ermittelt und die Grundlage für eine dauerfeste Auslegung von spielbehafteten Längsstift-Verbindungen geschaffen werden.

## 5 Zusammenfassung

Die Weiterentwicklung von umformtechnischen Fertigungsverfahren sowie der Trend zur kostengünstigen Fertigung und zum Leichtbau haben den Wunsch nach Verwendung von spielbehafteten Längsstift-Verbindungen als Welle-Nabe-Verbindungen aufkommen lassen. Sie übertragen hohe Lasten, lassen sich günstig umformtechnisch in beliebigen Größen herstellen, sind einfach zu montieren und somit für die Serienfertigung geeignet. Eine fehlende Dimensionierungsgrundlage für diese Stiftverbindungen läßt sich im Rahmen eines Forschungsvorhabens entwickeln.

## 6 Literatur

- /1/ Dubbel - Taschenbuch für den Maschinenbau. W. Beitz und K.-H. Küttner Springer-Verlag Berlin, 1995
- /2/ Kollmann, F. G.: Welle-Nabe-Verbindungen – Gestaltung, Auslegung, Auswahl. Springer Verlag Berlin, 1984
- /3/ Heide, W. v. d.: Untersuchungen an Kerbstiften und Kerbstiftverbindungen. Dissertation TU Hannover, 1969
- /4/ Schmitz, H.: Theoretische und experimentelle Untersuchungen an Stift-Verbindungen. Konstruktion 12 (1960), Heft 1, S. 5-13, 83-85
- /5/ N.N.: Stifte und Stiftverbindungen. Merkblatt 451. Beratungsstelle für Stahlverwendung Düsseldorf, 1982
- /6/ Hinz, R.: Maschinenteile (Band Verbindungselemente, Achsen, Wellen, Lager, Kuppelungen). VEB Fachbuchverlag Leipzig, 1989