

Welle-Nabe-Verbindungen

Quelle: www.konstruktionsatlas.de

Die Antriebstechnik ist in der heutigen Zeit der sich wohl am Schnellsten weiter entwickelnde Bereich in dem Maschinenbau. Haben in den siebziger Jahren noch die **klassischen Drehstrommotore** den Markt bestimmt, sind es heute die Servo-Antriebe mit den immer intelligenteren Steuerungen die den Antriebsmarkt beherrschen. Da müssen sich die anderen Elemente einer Maschine anpassen um die gestiegenen Ansprüche wie höhere Geschwindigkeiten und Präzision mit um zu setzen. Portale wie des VDMA mit seiner **Produktübersicht Antriebstechnik** und dieser **Konstruktionsatlas** mit seinem Bereich Antriebstechnik helfen hier den Überblick zu behalten. Besonders den Welle-Nabe-Verbindungen kommt eine wichtige Rolle zu. Sind sie doch das Bindeglied zwischen Welle und den darauf befestigten Bauteilen, wie **Kupplungen**, Zahnräder, **Zahnriemenräder** um nur einige zu nennen, die das Drehmoment an die ausführenden Organe wie z. B. Schieber oder Hebel die ein Produkt bearbeiten, übertragen. In Servo-Antrieben finden hohe Belastungen der Welle-Nabe-Verbindungen wegen oft wechselnden Drehrichtungen mit hohen Drehmomenten statt.

Die Welle-Nabe-Verbindungen werden nach ihrem Wirkprinzip wie folgt eingeteilt:

Formschlüssige Welle-Nabe-Verbindungen

- Die Verbindung wird durch Formgebung zwischen Welle und Nabe hergestellt. Das Drehmoment wird durch Flächenpressung übertragen. Entweder hat die Welle bereits eine Form die zur Kraftübertragung geeignet ist z. B. ein Polygonprofil, Keilwelle oder es wird ein zusätzliches Element auf die Welle eingebracht wie z. B. eine Passfeder.

Kraftschlüssige Welle-Nabe-Verbindungen (In der Literatur findet man auch den Begriff Reibschlussverbindung)

- Die Elemente der Welle-Nabe-Verbindung werden so miteinander verspannt das die Reibkraft zwischen Welle und Nabe ausreicht um das gewünschte Drehmoment zu übertragen.

Stoffschlüssige Welle-Nabe-Verbindungen

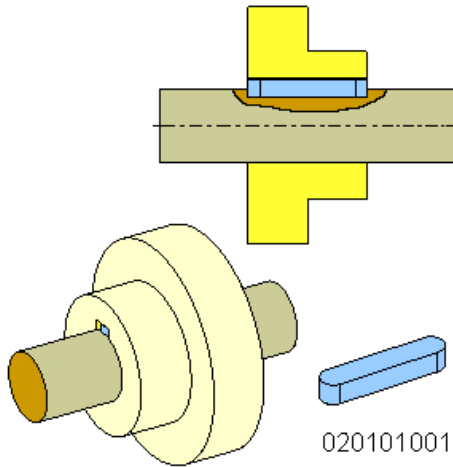
- Bei dieser Welle-Nabe-Verbindung wird die Kraft durch einen Stoffschluß wie Kleben, Löten oder Schweißen übertragen.

Kombination aus form-, stoff- und kraftschlüssigen Welle-Nabe-Verbindungen

- Die Elemente dieser Welle-Nabe-Verbindung werden gegeneinander verspannt, besitzen aber gleichzeitig formschlüssige Teile.
- Die Elemente dieser Verbindung werden gegeneinander Verspannt und gleichzeitig stoffschlüssig unterstützt.

Formschlüssig Welle-Nabe-Verbindungen

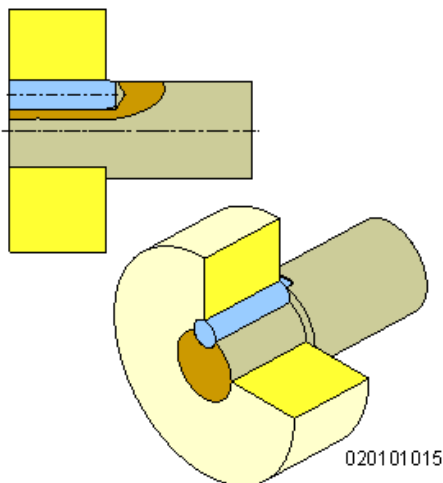
Profile und Formen schaffen einen Formschluss



Passfederverbindung

In Welle und Nabe wird eine Nut gefräst. In diese wird eine Passfeder eingelegt. Die am meisten verwendete Verbindung bei kleinen bis mittleren Drehmomenten.

- Leichte Montage und Demontage
- Winkel zwischen Welle und Nabe fest
- Verschieben der Nabe auf der Welle während des Betriebes nicht möglich

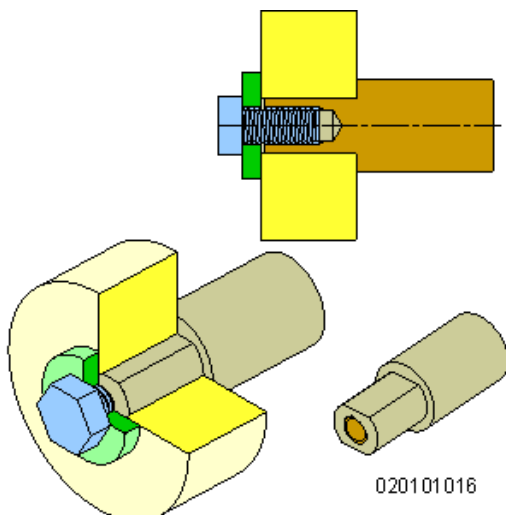


Stirnseitig verstiften

Stirnseitig ist eine Bohrung in Welle und Nabe eingebracht in die ein Stift eingesetzt wird. Welle und Nabe haben einen Presssitz.

Diese Verbindung ist nur am Ende einer Welle möglich und wird bei Montage hergestellt, wenn die Nabe auf der Welle sitzt.

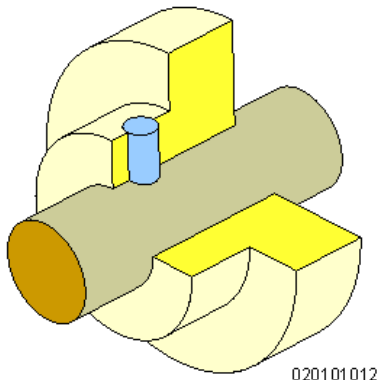
Mit dieser Verbindung werden geringe Drehmomente übertragen.



Schrauben und angefräste Welle

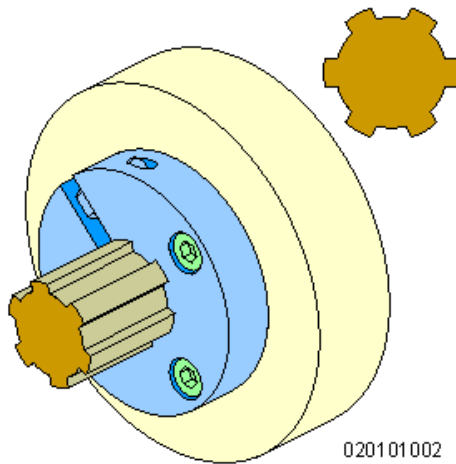
Eine auf der Stirnseite befindliche Schraube und eine große Scheibe drücken die Nabe gegen einen Ansatz auf der Welle. Der Ansatz muss kürzer als die Nabe breit sein. In der Nabe und auf der Welle befinden sich zwei Flächen die formschlüssig das Drehmoment übertragen. Statt den beiden Flächen wird auch oft eine Passfeder verwendet.

Verstiften



020101012

Welle und Nabe werden mit einem Stift, Kerbstift, Spannstift oder Kegelstift, formschlüssig miteinander verbunden. Dies ist eine sehr einfache Verbindung. Der größte Nachteil ist die Schwächung der Welle durch die Stiftbohrung. Einzusetzen bei kleinen Drehmomenten und niedrigen Drehzahlen.



020101002

Keilwelle

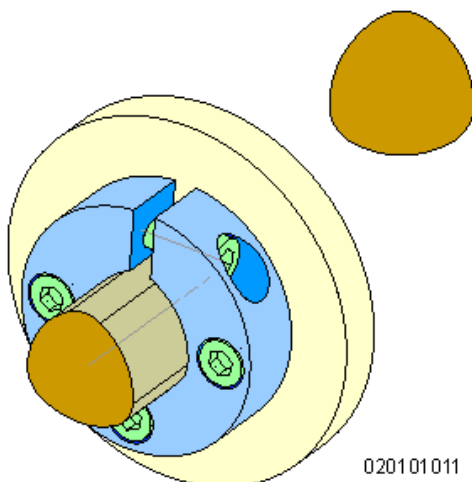
Welle und Nabe haben ein spezielles Profil. Die Flanken der Keilwelle sind parallel. Es gibt Wellen mit 4, 6, 8, 10, 16 und 20 Keilen auf dem Umfang.

Es gibt diese Verbindung innen zentriert, das zentrierende Element ist der Kern, oder außen zentriert, die beiden Bauteile werden über die Flanken des Profils zentriert.

Ein verschieben der Nabe auf der Welle während des Betriebes ist bei der innen zentrierten Ausführung möglich.

Die Flanken zentrierte Keilwelle ist bei stoßartiger und wechselnder Belastung besser geeignet.

Genormt sind Keilwellen in DIN ISO 14 und DIN 5464.



020101011

Polygonwelle

Die Welle hat ein Polygonprofil. Die Kräfte werden bei diesem Profil durch eine Flächenberührung übertragen. Die Flächenpressung steigt langsam bis zu einem Maximalwert und fällt anschließend wieder gleichmäßig ab. Durch die sanften Übergänge der Flächen ist die Kerbwirkung zu vernachlässigen.

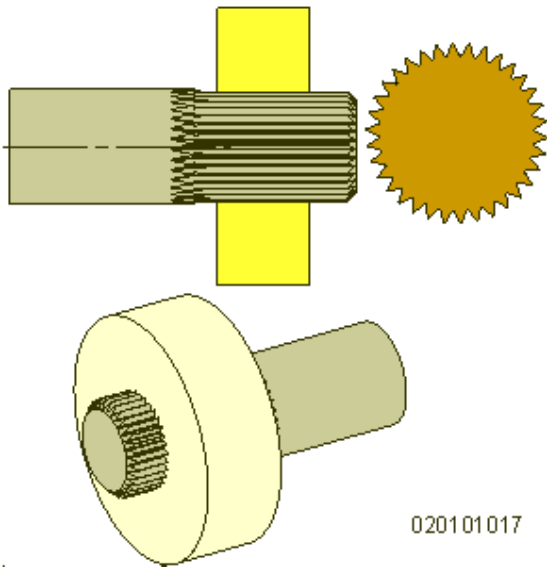
Hergestellt werden kann die Verbindung in einer IT6 Qualität, wodurch sich ein sehr guter Rundlauf ergibt.

Die gängigsten Profile sind P3G (hier dargestellt) und P4C mit vier Übertragungsflächen.

Das P4C Profil kann auch unter Last axial verschoben werden.

P3G - DIN 32711

P4C - DIN 32712

**Kerbverzahnung**

Welle und Nabe haben ein Kerbprofil mit geraden Flanken unter 60 Grad zueinander. Durch die große Anzahl an Zähnen wird die Welle im Verhältnis zum Durchmesser kaum geschwächt. Es können große Drehmomente übertragen werden. Dieses Profil eignet sich nicht für einen Schiebesitz.

Angewendet wird die Kerbverzahnung unter anderem bei Bohrspindeln und Antriebswellen in Kraftfahrzeugen.

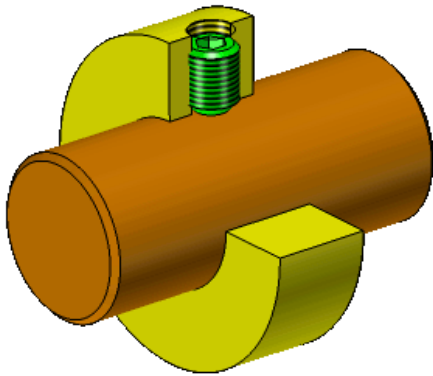
Genormt sind Kerbverzahnungen in DIN 5481.

Kraftschlüssige Welle-Nabe-Verbindungen

Verspannte Bauteile fixieren Welle und Nabe

Bei den kraftschlüssigen Welle-Nabe-Verbindungen werden meist ein oder mehrere Bauteile zwischen Welle und Nabe, sprich das auf der Welle zu fixierende Bauteil, gegeneinander verspannt. Oft wird das Prinzip von zwei Keilen, die gegeneinander verschoben werden, verwendet. Die Keile können axial und radial angeordnet sein.

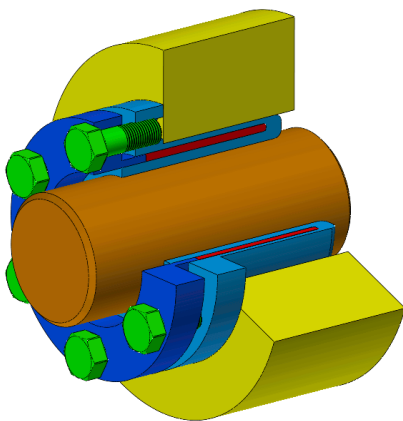
Die Nabe selbst kann durch Schrumpfen und die Welle durch Dehnen die nötige Kraft aufbringen um Welle und Nabe zu fixieren.



Gewindestift

Ein Gewindestift verspannt die Nabe auf der Welle. Dies ist die einfachste Möglichkeit eine Nabe auf der Welle zu fixieren. Sie wird für untergeordnete Drehbewegungen mit geringem Drehmoment eingesetzt. Bei dieser Verbindung entsteht durch das Anziehen des Gewindestiftes ein Grat auf der Welle. Die Nabe lässt sich bei geringem Spaltmaß zwischen Welle und Nabe dann sehr schwer wieder demontieren. Durch einlegen eines weichen Materials unter den Gewindestift, z. B. ein Messingplättchen, wird die Welle geschont. Eine andere Möglichkeit ist die Welle bei Montage anzubohren oder eine kleine Fläche in die Welle zu fräsen oder zu feilen.

- Preiswert
- Große Toleranzen möglich
- Kleine Drehmomente
- Einfache Herstellung
- Geringe Drehzahlen

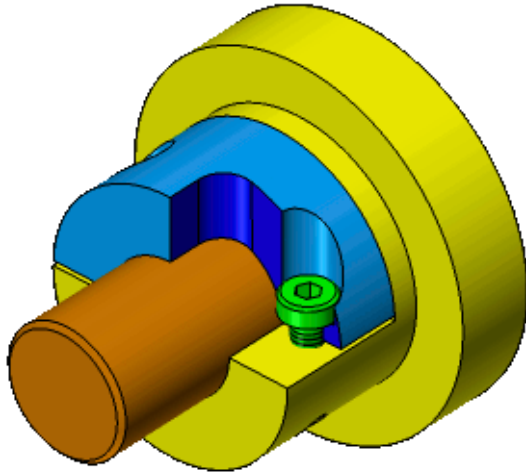


Hydraulische Spannbuchse

Ein Medium (rot) wird in einem geschlossenen Raum verpresst. Die Hülse baut einen gleichmäßigen Druck zur Welle und zur Nabe auf.

- Leichte Montage und Demontage
- Gute Rundlaufeigenschaften
- Wellenpassung h7
- Nabenpassung H8
- In Edelstahl lieferbar
- Übertragbares Drehmoment bei D=25 mm ist 250 Nm

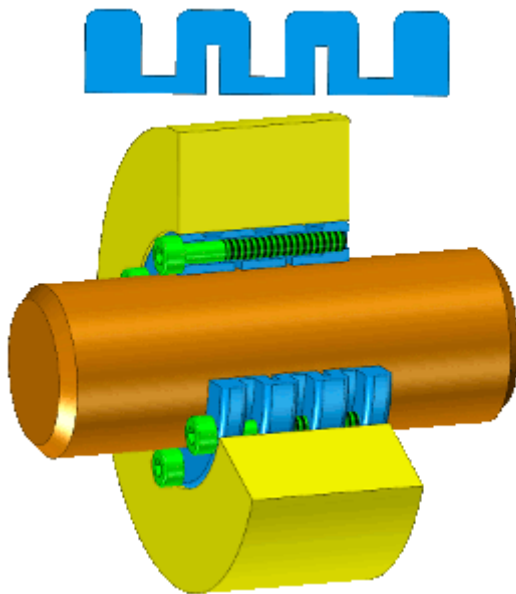
Klemmverbindung



Die Nabe wird axial geteilt. Zwei Schrauben klemmen die Welle mit der Halbschale auf der Nabe. Diese Verbindung wird z. B. bei Wellen und Kupplungen verwendet. Eine Welle die beidseitig mit dieser Verbindung befestigt ist, kann nach entfernen der Halbschalen seitlich demontiert werden.

Durch den asymmetrischen Aufbau mit den beiden Schrauben entsteht eine Unwucht.

Um eine gute Kraftübertragung zu gewährleisten ist ein möglichst kleines Spiel zwischen Welle und Nabe anzustreben (z. B. $h6/H7$). Weitere Informationen und Berechnung

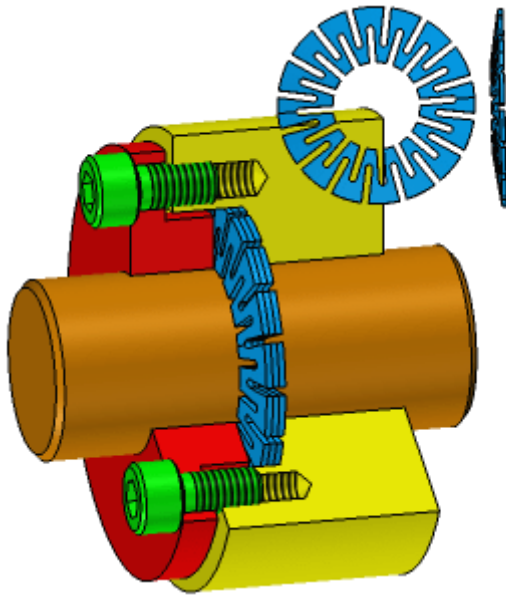


Druckhülse

Die mäanderförmige Buchse wird durch eine axiale Kraft verformt. Die außen- und innenliegenden Mantelflächen wölben sich und üben auf Welle und Nabe eine Kraft aus. Es ist auf ausreichende Wandstärke der Nabe zu achten.

- Leichte Montage und Demontage
- Gute Rundlaufeigenschaften
- Wellenpassungen $h6, k6, m6$ je nach Ausführung
- Nabenpassung $H6 / H7$
- Für Wellen $D = 14 - 300 \text{ mm}$; wird Axialkraft extern erzeugt $D = 8 \text{ mm} - 150 \text{ mm}$
- Übertragbares Drehmoment bei $D = 25 \text{ mm}$ ist 450 Nm

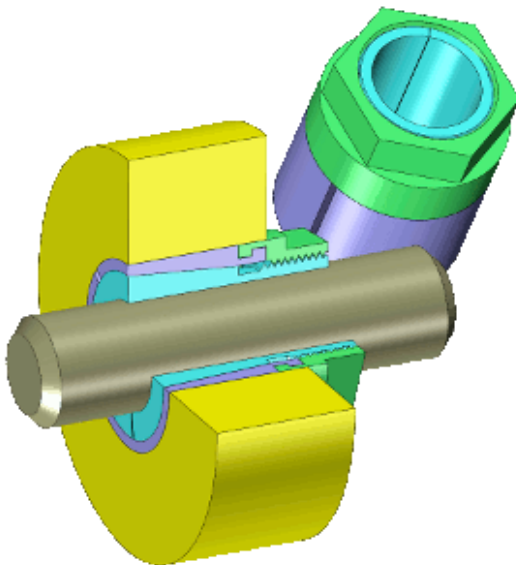




Sternscheiben

Die Mäanderförmig gestanzten Ringe werden in einer vom Anwender hergestellten Konstruktion eingesetzt. Die Scheiben sind in axialer Richtung leicht konisch. Durch axialen Druck werden sie zwischen Welle und Nabe verspannt. Durch Verwendung der Ringe in Paketen, max. 16 sind möglich, lässt sich das übertragbare Drehmoment durch addieren der Einzeldrehmomente vervielfachen. Hier in der Grafik sind drei Scheiben eingezeichnet. Verwendet werden Sternscheiben, wenn die Nabe leicht und schnell verstellt werden soll.

- Leichte Montage und Demontage
- Oberfläche $ra \leq 3,2\mu m$
- Wellenpassungen h9
- Nabenpassung H9
- nicht selbst zentrierend
- Für Wellen $D = 4 - 100 \text{ mm}$
- Übertragbares Drehmoment bei $D = 25 \text{ mm}$ 13,5 Nm pro Scheibe



Konus-Spannelement mit zentraler Spannmutter

Durch eine zentrale Sechskantmutter (grün) werden zwei Koni axial gegeneinander verspannt.

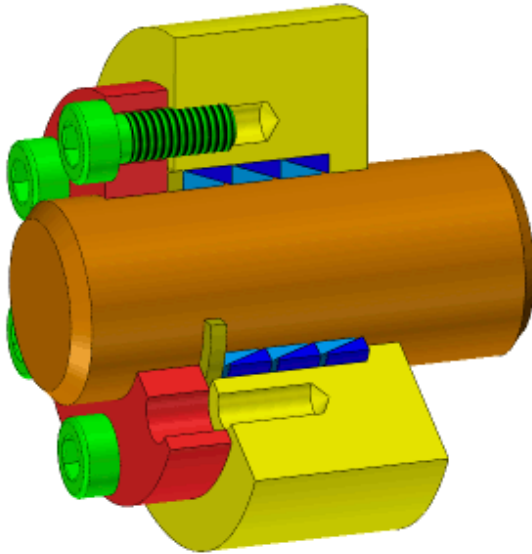
Durch weiten des äußeren Ringes und schrumpfen der inneren Hülse erzeugen sie einen Klemmdruck zwischen Welle und Nabe.

Auf Grund der äußerst kompakten Bauform des Konus-Spannelementes können Naben mit sehr kleinen Durchmessern auf der Welle montiert werden.

- Toleranz Welle und Nabe $\pm 0,04 / \pm 0,08 \text{ mm}$ je nach Ausführung
- Rundlauf 0,025 mm (Lauf über den gesamten Messbereich)
- Lieferbar für Wellen 5 - 75 mm
- Korrosionsgeschützte Ausführungen erhältlich (VA möglich)
- Selbst zentrierend
- Übertragbares Drehmoment bei $D = 25 \text{ mm}$ ist 390 Nm



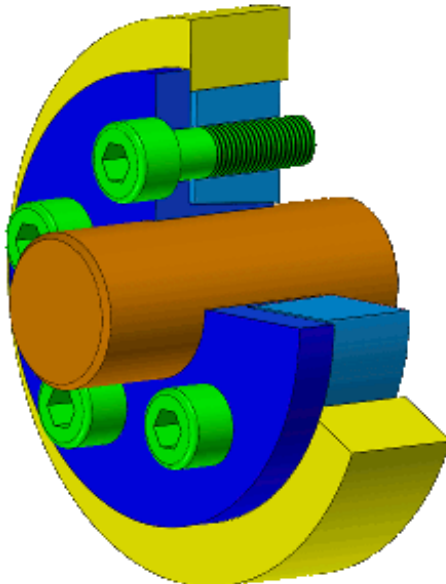
Konus-Spannelemente



Diese Spannelemente bestehen aus zwei ineinander gesteckten Ringen. Einer hat einen Konus auf der Außenseite der andere auf der Innenseite. Durch eine äußere Konstruktion werden die Ringe axial verpresst. Die radial entstehenden Kräfte verspannen Welle und Nabe fest miteinander. Durch den Einbau von mehreren Spannelementen in Reihe, maximal vier in der Abbildung sind drei dargestellt, wird die Kraft der einzelnen Spannsätze addiert.

- Toleranz Welle $d \leq 38$: h6 $d \geq 38$: h9
Nabe $d \leq 38$: H7; $d \geq 38$: H9
- Oberfläche $ra \leq 1\mu m$
- nicht selbst zentrierend (Zentrierung von Montage abhängig)
- Lieferbar für Wellen 6 - 1000 mm
- Korrosionsgeschützte Ausführungen erhältlich (VA möglich)
- Übertragbares Drehmoment bei $D=25$ mm ist 170 Nm bei einem Element (siehe Text)

Konus-Spannelement mit Schrauben auf dem Teilkreis

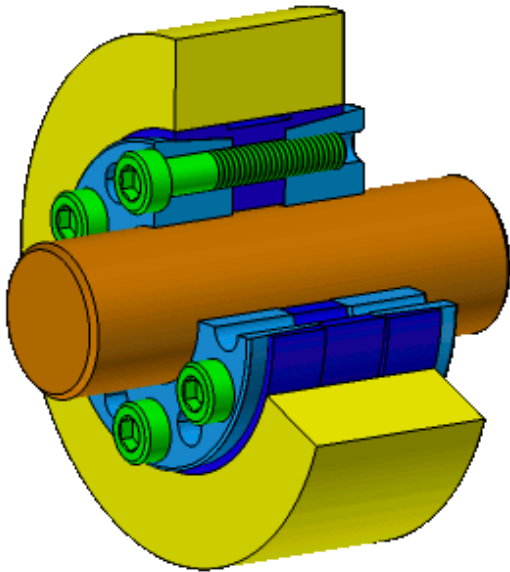


Zwei Ringe mit jeweils einem Innen- und einem Außenkegel (Konus) werden mit Schrauben gegeneinander verspannt. Die schiefen Ebenen der Ringe erzeugen Radialkräfte auf Welle und Nabe. Dadurch wird eine Übertragung des Drehmomentes gewährleistet. Das abgebildete Spannelement ist selbst zentrierend.

Es ist auf ausreichende Wandstärke der Nabe zu achten.

Zur Demontage sind Gewindebohrungen zum Abdrücken der Ringe gegeneinander vorhanden.

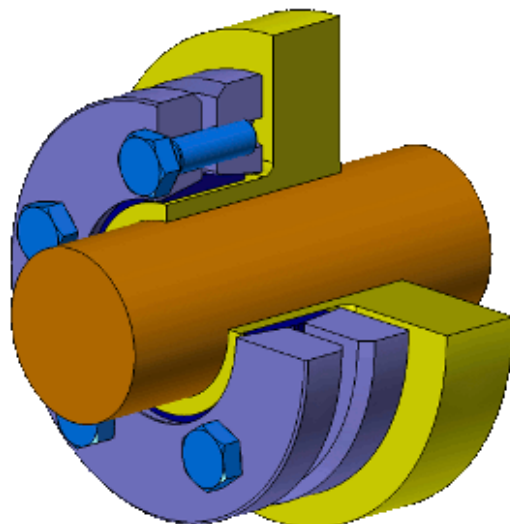
- Wellenpassungen h8
- Nabenpassungen H8
- Rauhtiefe max Rt 16 (Rz 13)
- Für Wellen $D = 5 - 50$ mm andere Bauformen lieferbar
- Übertragbares Drehmoment bei $D=25$ mm ist 260 Nm



Konus-Doppelspannsatz

Bei diesem Spannsatz sind zwei Spannsätze zu einem zusammen gefasst. Dadurch wird eine Erhöhung der zu übertragenden Drehmomente erreicht. Bei der Montage kann eine leichte axiale Verschiebung der Nabe gegenüber der Welle auftreten. Zwischen den Anzugschrauben sind Abdrückgewinde mit denen der Spannsatz wieder gelöst werden kann.

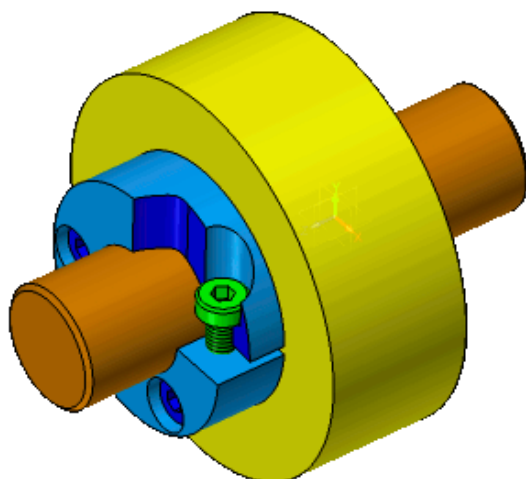
- Wellenpassungen h8
- Nabenpassungen H8
- Rauhtiefe max Rz ≤ 16
- Rundlaufgenauigkeit 0,02-0,08 mm
- Für Wellen D= 24-600 mm
- Übertragbares Drehmoment bei D=25 mm ist 740 Nm



Schrumpfscheibe

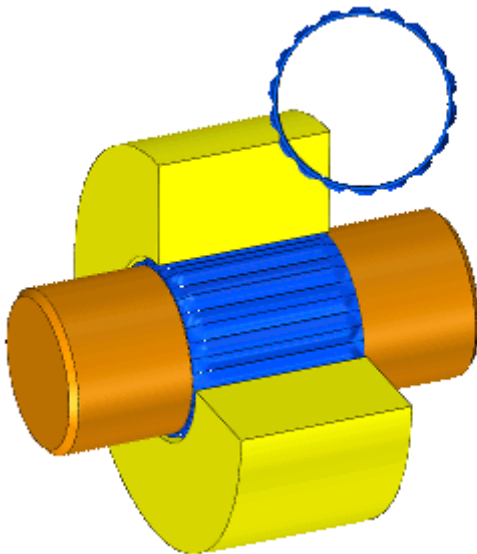
An der Nabe ist seitlich eine Hülse auf die eine Schrumpfscheibe montiert ist. Durch anziehen der Schrauben an der Schrumpfscheibe wird durch Keilwirkung der innere Ring zusammengepresst. Die Hülse der Nabe umschließt durch den äußeren Druck die Welle fest.

- Übertragbares Drehmoment bei D=25 ist 300 Nm



Klemmring (Wellenklemmring)

An die Nabe ist seitlich ein Klemmring geschraubt. Er stellt die Verbindung zwischen Welle und Nabe her. Die Welle übernimmt die Zentrierung zwischen Nabe und Klemmring.



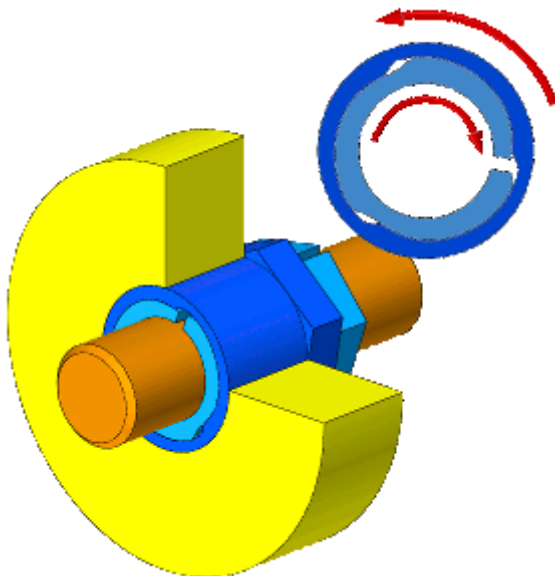
Toleranzhülse

Ein aus Federbandstahl geprägter Blechring wird auf Spannung zwischen Welle und Nabe eingebaut.

Dieses Element kann große Toleranzen ausgleichen und eignet sich daher auch zum Ausgleich unterschiedlicher Wärmeausdehnungen zwischen Welle und Nabe.

Mit Toleranzhülsen können auch Fluchtungsfehler zweier Lagerungen ausgeglichen werden.

- Wellenpassungen h9
- Nabenpassungen H9
- VA-Ausführung möglich
- Übertragbares Drehmoment bei $D=25\text{ mm}$ bis 53 Nm



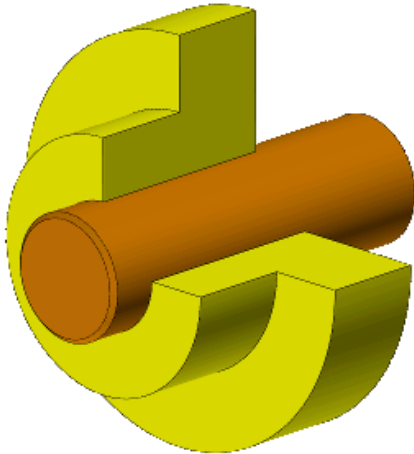
Kreiskeilspannsatz

Zwischen den beiden Hülzen des Spannsatzes befinden sich auf den Kontaktflächen sogenannte Kreiskeile. Durch verdrehen der Bauteile zueinander verspannt sich der Spannsatz zwischen Welle und Nabe.

Die Spannsätze sind selbst zentrierend.

- Wellenpassungen h8
- Nabenpassungen H7
- Rundlauf 0,015-0,04 mm
- Lieferbar für Wellen 3-50 mm
- VA-Ausführung möglich
- Übertragbares Drehmoment bei $D=25\text{ mm}$ ist 320 Nm

Es ist auch möglich das Kreiskeilprofil direkt in die Nabe einzuarbeiten.



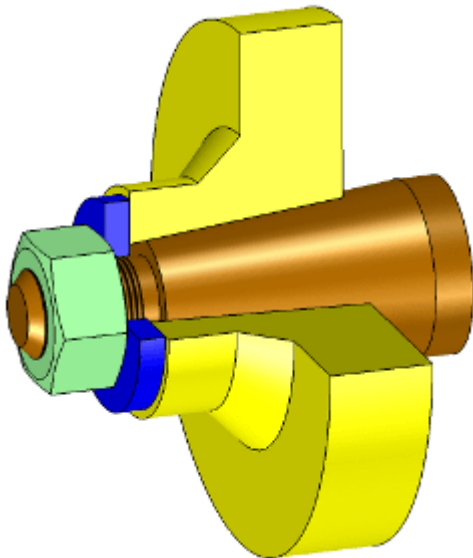
Wärmeschrumpfen oder Kaltdehnen

Beim Wärmeschrumpfen haben Wellen- und Nabenbohrung bei Raumtemperatur ein Übermaß. Wird die Nabe erwärmt, entsteht ein Spiel zwischen den beiden Bauteilen, jetzt kann die Nabe auf die Welle geschoben werden. Beim Erkalten der Nabe schrumpft diese und umschließt die Welle fest.

Beim Kaltdehnen wird die Welle durch abkühlen für den Schrumpfvorgang im Durchmesser verkleinert. Nach dem Fügen dehnt sie sich wieder aus.

Das übertragbare Drehmoment hängt von der Werkstoffpaarung, den Rauhtiefen der Oberflächen und dem Übermaß zwischen den beiden Bauteilen ab.

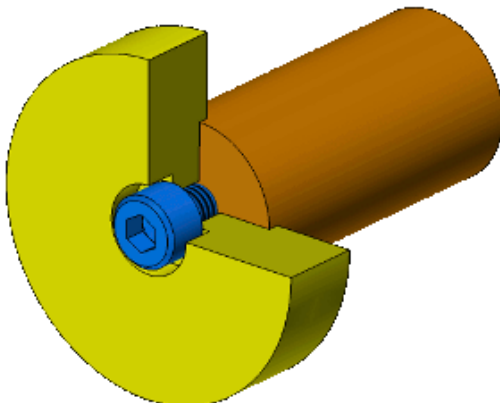
Weitere Informationen Programm zur Berechnung nach DIN 7190



Kegelverbindung

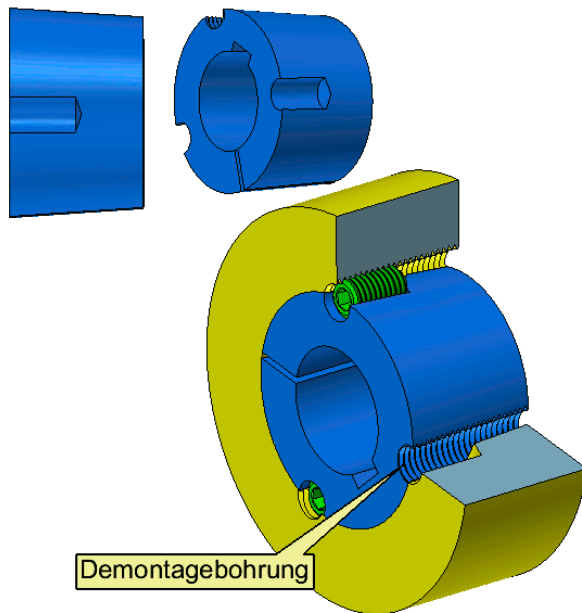
Bei der Kegelverbindung sitzt die Nabe auf einem Kegel. Durch eine axiale Kraft entsteht in der Kegelverbindung eine Flächenpressung. Die Kraft kann mit einer Schraube oder Mutter erzeugt werden.

Das Kegelverhältnis ist entscheidend für die Lösbarkeit der Verbindung. Bei einem Verhältnis bis 1 : 5 ist die Verbindung leicht, bei einem Verhältnis von 1 : 10 schwer zu lösen. Die Kegelverbindung hat eine hohe Laufruhe, jedoch teuer in der Herstellung. Bei wechselnden Drehmomenten entsteht eine Relativbewegung, die Passungsrost begünstigt.



Nabe stirnseitig verschraubt

Die Nabe wird stirnseitig gegen das Wellenende geschraubt und so kraftschlüssig mit der Welle verbunden. Die Zentrierung wird über den Ansatz in der Nabe realisiert. Bei dieser Verbindung ist die Drehrichtung zu beachten. Die Drehmomentübertragung kann nur gegen die Anzugsrichtung der Schraube erfolgen.



Taperlock

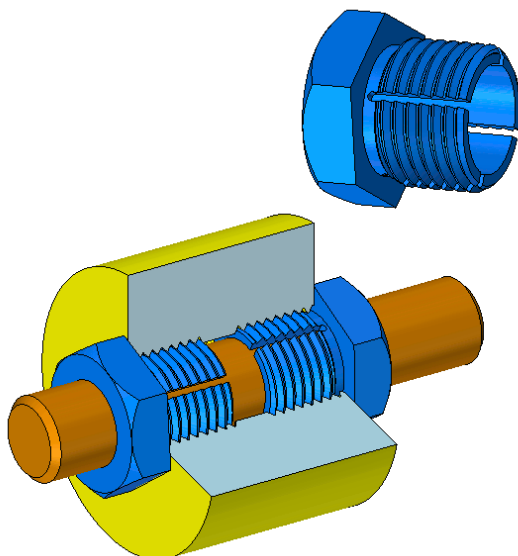
Die Taperlock Buchse ist eine kegelige Spannbuchse. Sie wird mit axial, im Übergangsbereich von Buchse und Nabe, angeordneten Schrauben befestigt.

Eine Hälfte der Aufnahmebohrung für die Schrauben befindet sich in der Spannbuchse, der andere Teil in der Nabe. Bei den Bohrungen für die Befestigung ist in der Nabenhälfte das Gewinde (Zollgewinde) und in der Buchse ein Sackloch. So wird die Schraube durch das Gewinde in der Nabe beim Eindrehen gegen das Sackloch in der Nabe gepresst. Die Taperlock Spannbuchse wird in der Nabe getrieben. Bei den Bohrungen zum Lösen ist es umgekehrt. Durch eindrehen der Schraube wird die Taperlock Spannbuchse aus der Nabe getrieben (siehe Bild).

Die Taperlock Spannbuchsen werden fertig montiert mit den entsprechenden Kettenrädern, Zahnriemenrädern oder Keilriemenscheiben geliefert. Die Bohrung für die Welle ist ebenfalls auf Maß gefertigt.

Wellentoleranz h8

Bohrungsdurchmesser 10-125 mm



Innenspannschraube

Die Innenspannschraube ist eine Hohlsschraube bei der das Gewinde in axialer Richtung mehrfach geschlitzt ist. Wenn nun die Innenspannschraube in ein Innengewinde gedreht und nachdem der Schraubenkopf aufliegt weitergedreht wird, stützen sich die Gewingegänge der Schraube gegen die Flanken des Innengewindes ab. Es entsteht eine nach innen gerichtete Kraft. Der geschlitzte Gewindeteil der Innenspannschraube klemmt die Welle.

Da das Drehmoment direkt über das Gewinde übertragen wird ist die Drehrichtung zu beachten. Wenn, wie in dem Beispiel, von beiden Seiten eine Innenspannschraube eingesetzt wird ist man drehrichtungsunabhängig.

Für kleine Drehmomente

Material Alu und V2A

Rundlaufgenauigkeit gemessen bei 35mm Ausspannung 0,05 mm

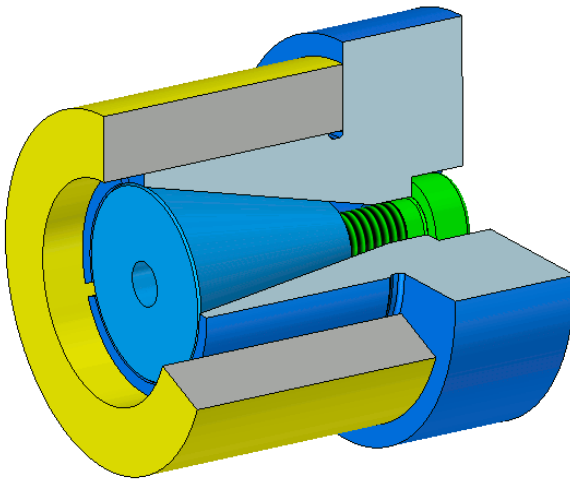
Bohrungsdurchmesser 4-25 mm

Gewinde M6-M30x1,5

Übertragbares Drehmoment bei D=16 mm ist 15 Nm

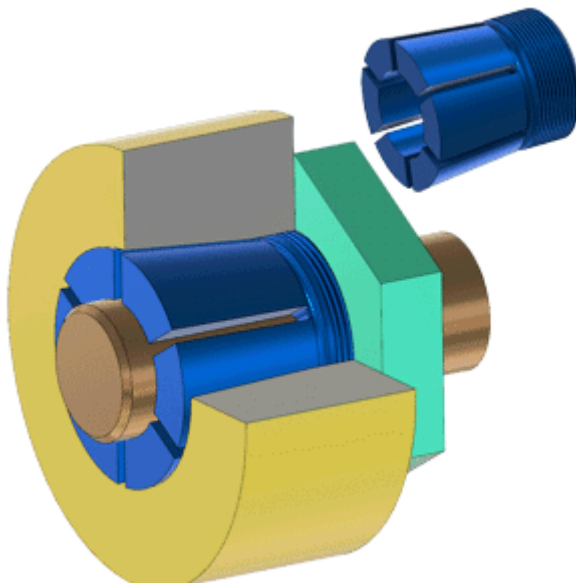
Innenspreizdorn

In axialer Richtung ist im Innenspreizdorn eine kegelige Bohrung. In ihr befindet sich ein entsprechender Kegel der mit einer Schraube (grün) in die kegelige Bohrung gezogen wird. Der Dorn weitet sich und klemmt die Nabe. Für Welle-Nabe-Verbindung in einem beengtem Bauraum. Nabenbohrung H7

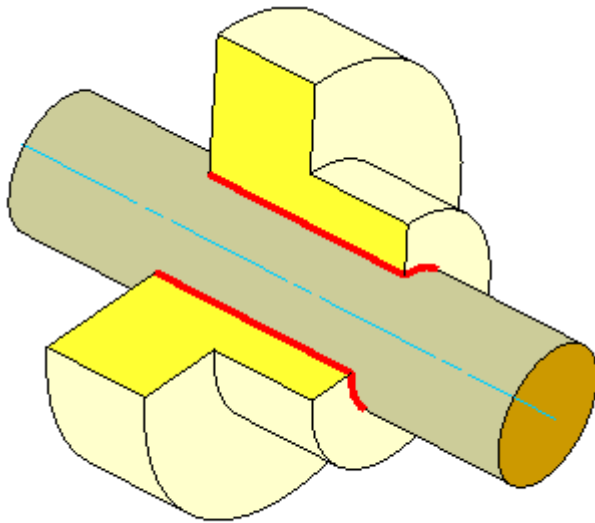


Boqa-Befestigungselemente

In die Nabe wird ein Kegel mit einem Kegelerhältnis 1:10 gearbeitet. In diese kegelige Bohrung wird das Boqa-Befestigungselement gesteckt. Am verjüngten Teil des Kegels ist ein Gewinde mit einer Mutter. Diese Einheit wird auf eine Welle geschoben. Mit der Mutter wird der Kegel in die Nabe gezogen. Der Kegel wirkt klemmend zwischen Nabe und Welle.



- Rundlauftoleranz 0,01mm
- Selbstzentrierend
- Für Wellen von 1,5 - 60mm
- Hülse wird in Niro gefertigt
- Übertragbares Drehmoment bei D=25 mm ist 136 Nm

Welle-Nabe-Verbindungen stoffschlüssig

020101008

Kleben

Die Nabe wird mit einem Klebstoff auf die Welle geklebt. Der Spalt für den Kleber sollte 0,2mm nicht übersteigen. Bei warm aushärtenden Klebern sollte die Nabe den größeren Ausdehnungskoeffizienten besitzen damit sie beim Erkalten die Welle fest umschließt. Gut geeignet sind auch anaerobe Klebstoffe die unter Luftabschluss bei gleichzeitigem Metallkontakt kalt härten.

Die Torsionsspannungen über die Länge der Nabe sind zu beachten.