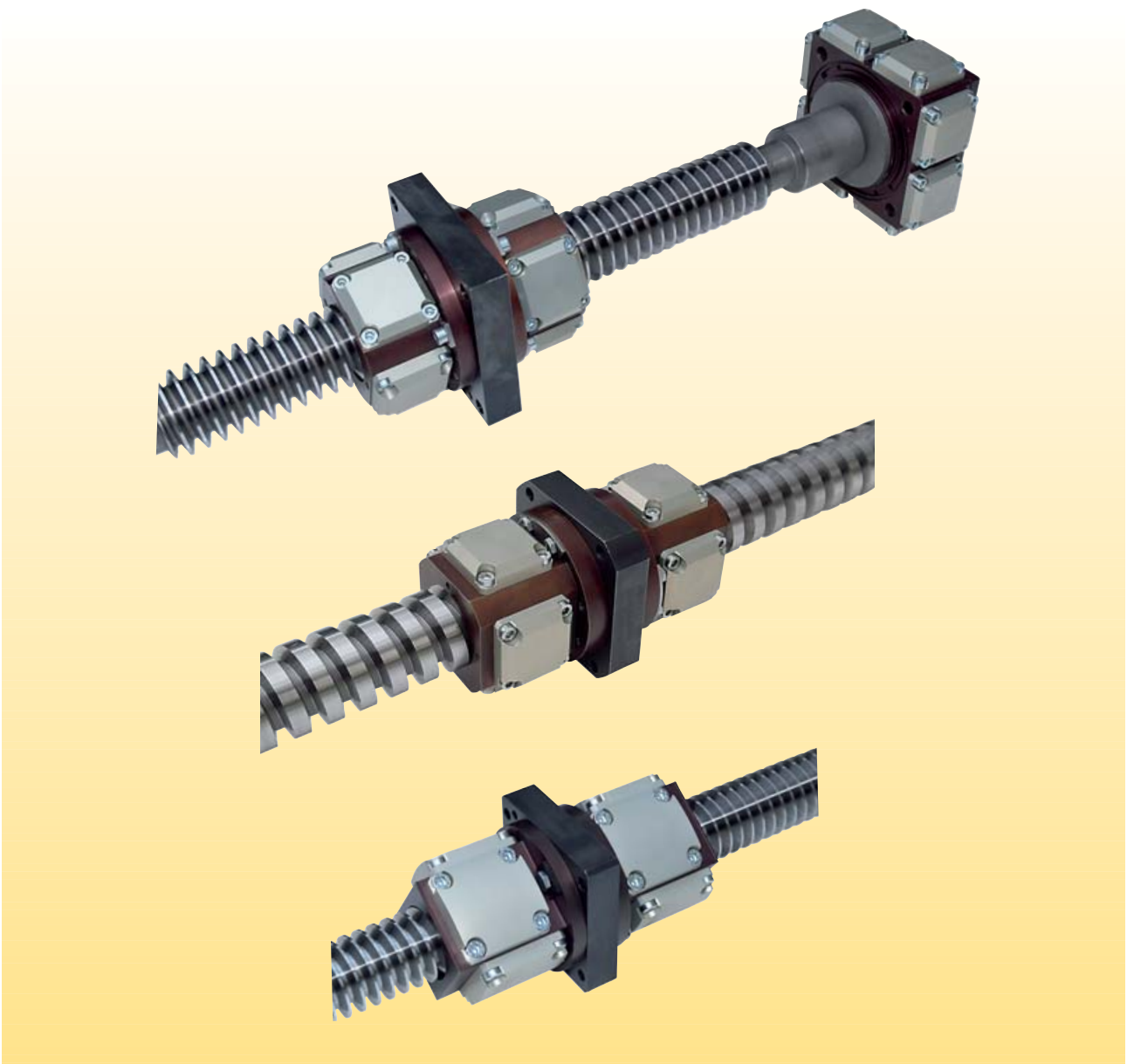


Hydrostatische Gewindetriebe und dazugehörige Lagerung



Inhaltsverzeichnis

| | | |
|-------|--|-----------|
| 1. | ■ Gewindetriebe mit hydrostatischer Mutter oder Kugelgewindetrieb ? | 4 |
| 2. | ■ Ausführungsformen der hydrostatischen Gewindetriebe | 4 |
| 2.1 | Radiale Belastbarkeit der hydrostatischen Mutter | 4 |
| 2.2 | Beidseitig eingespannte Gewindespindel | 4 |
| 2.3 | Rotierende Gewindespindel oder rotierende Mutter ? | 4 |
| 2.4 | Befestigungsart der hydrostatischen Mutter bei rotierender Gewindespindel | 5 |
| 2.5 | Gewindetriebe für hohe Schlittengeschwindigkeiten | 5 |
| 3. | ■ Vorteile durch Einsatz unseres PM-Reglers | 5 |
| 4. | ■ Konstruktive Gegebenheiten | 6 |
| 4.1 | Ölzuführung zur und Ölaustritt aus der hydrostatischen Mutter | 6 |
| 4.2 | Selbsthemmung | 6 |
| 4.3 | Einbauraum und Einbaulage | 6 |
| 4.4 | Crash - Sicherheit | 6 |
| 5. | ■ Technische Daten | 6 |
| 5.1 | Hauptabmessungen und technische Daten | 6 |
| 5.2 | Abmessungen der Flanschmütern | 7 |
| 5.2.1 | Flanschmutter mit rundem Befestigungsflansch | 7 |
| 5.2.2 | Flanschmutter mit quadratischen Befestigungsflansch | 8 |
| 5.3 | Belastbarkeit und Steife | 9 |
| 5.4 | Werte für Ölversorgung, Verlustleistung und Drehzahl für einige Beispiele | 9 |
| 6. | ■ Einsatz und Montage von Gewindetrieben mit hydrostatischer Mutter | 9 |
| 6.1 | Anlieferung der Gewindetriebe | 9 |
| 6.2 | Montage der Gewindetriebe | 10 |
| 6.3 | Einbau und Justieren des hydrostatischen Gewindetriebes | 10 |
| 6.4 | Einbautoleranzen | 10 |
| 7. | ■ Hydrostatische Lagerung für Gewindetriebe | 11 |
| 7.1 | Lagerung für Gewindetriebe mit 4 Reglern | 11 |
| 7.2 | Lagerung für Gewindetriebe mit 8 Reglern | 12 |
| | ■ Vorteile der Hydrostatischen Gewindetriebe im Überblick | |
| | Hydrostatische Gewindetriebe | 14 |
| | Hydrostatische Lager für Gewindetriebe | 15 |
| | ■ Hydrostatischer Gewindetrieb im Vergleich | |
| | zum Linearmotor und Kugelgewindetrieb | 16 |

1. Gewindetriebe mit hydrostatischer Mutter oder Kugelgewindetriebe?

Aufgrund der notwendigen Kugelumlenkung sowie der Form- und Maßfehler von Kugellaufbahnen weisen auch hochwertige Kugelgewindetriebe selbst bei geringen Positionsveränderungen stark unterschiedliche Momente auf. Außerdem werden durch die Kugelumlenkungen Schwingungen erzeugt, welche bei höheren Geschwindigkeiten als das „bekannte Geräusch der Kugelgewindetriebe“ zu erkennen sind.

Darüber hinaus sind die Kugelgewindetriebe bei Umkehr der Bewegungsrichtung durch einen Sprung des Antriebsmomentes gekennzeichnet, dessen Größe mit den Steifeanforderungen ansteigt. Weiter ist von einer mangelhaften Schwingungsdämpfung und einer begrenzten Lebensdauer der Spindel vor allem dann auszugehen, wenn nur bei einem kleinen Wegbereich stark belastet wird, wenn bei geringen Drehzahlen hohe Kräfte übertragen werden sollen oder wenn hohe Beschleunigungen auftreten.

Um diese Nachteile zu vermeiden, wurden die nachfolgend

beschriebenen Gewindetriebe mit hydrostatischer Mutter entwickelt. Diese Mutter zeichnet sich durch ausgezeichnete Dämpfung, Verschleißfreiheit, geringes Reibmoment, welches angenähert proportional mit der Drehzahl ansteigt sowie hervorragende Laufruhe aus. Desweiteren wird kein Umkehrsprung des Momentes bei Umkehr der Bewegungsrichtung hervorgerufen, wodurch höchste Positioniergenauigkeit und Bahntreue erreicht wird. Die Steife der Mutter kann auf Wunsch deutlich höher als bei vergleichbaren Kugelgewindemuttern ausgelegt werden.

Als Gewinde für die hydrostatische Mutter wurde ein modifiziertes Trapezgewinde mit 20° Flankenwinkel gewählt.

Durch die Wahl des geeigneten Gewindedurchmessers, der Anzahl der tragenden Gänge der Mutter, des Pumpendruckes, der Ölviskosität und der Größe des Ölstromes kann die Gewindespindel weitestgehend an unterschiedlichen Anforderungen wie Steife, Drehzahl sowie Belastung angepasst werden. ■

2. Ausführungsformen der hydrostatischen Gewindetriebe.

2.1 Radiale Belastbarkeit der hydrostatischen Mutter.

Die hydrostatischen Muttern sind je Gewindegang mit vier Hydrostatiktaschen ausgestattet. Aufgrund des Flankenwinkels von 20° wird die Spindel in der Mutter radial ge-

führt. Gewindetriebe mit solchen Muttern sind sehr universell einsetzbar, so auch für einseitig „fliegend“ gelagerte, lange und für schnell drehende Gewindetriebe. ■

2.2 Beidseitig eingespannte Gewindespindel.

Üblicherweise werden Gewindespindeln an einem Ende mit einem „Festlager“ und am anderen Ende mit einem „Loslager“ - einem axial verschiebbaren Lager - montiert. Aufgrund des unterschiedlichen Abstandes zwischen Festlager und Mutter ergeben sich hierbei sehr unterschiedliche und bei großem Abstand geringe Steifen des Einzelteils Gewindespindel. Um die Steife des Einzelteils „Gewindespindel“, insbesondere bei langen Spindeln bzw. hohen Steifeforderungen, zu erhöhen und eine angenähert lageunabhängige Steife zu erreichen, werden die Gewindespindeln vielfach mit einer Zugvorspannung eingebaut. Diese Vorspannung muß bei rotierender Spindel von den Lagern am Spindel-

ende aufgenommen werden. Da die Größe der Zugspannung sehr vom thermischen Zustand der Gewindespindel und der umgebenden Maschinenteile abhängt, können diese Lager überlastet und zerstört werden. Um diese Gefahr weitestgehend zu vermeiden, wird in solchen Fällen die Kühlung des Hydrostatiköls auf Raum- oder Maschinengestelltemperatur beziehungsweise auf einige wenige °C unter Raumtemperatur empfohlen.

Alternativ kann, wie im Abschnitt 2.3 bereits beschrieben, eine rotierende Mutter und stehender Spindel eingesetzt werden, wobei die Befestigungen am Spindelende „überlastungssicher“ sind. ■

2.3 Rotierende Gewindespindel oder rotierende Mutter?

Ein Grund für den Einsatz eines Gewindetriebes mit einer rotierenden Mutter sind die wie bereits im vorhergehenden Abschnitt erläuterten Vorteile dieses Konzeptes bei beidseitig fest eingespannter Gewindespindel.

Ein zweiter Grund ergibt sich insbesondere bei hoch dynamischen Antrieben mit langen Gewindespindeln dann, wenn durch Einsatz der rotierenden Mutter die Schwingmasse des Gewindetriebes reduziert werden kann. Dies ist

allerdings auch bei optimaler Konzeption der rotierenden Mutter nur bei Gewindespindeln mit einer Länge von mehr als ca. 1500 mm möglich.

Ein dritter, nicht weniger wichtiger Grund für die Wahl einer rotierenden Mutter ist besonders bei langen und/oder schnell drehenden Gewindetrieben das Vermeiden von durch die Drehbewegung der Spindel verursachten Biegeschwingungen insbesondere bei kritischen Drehzahlen. Alternativ kann die rotierenden Mutter mittels Direktantrieb (mittels Hohlwellenmotor) oder durch eine Getriebe-

stufe angetrieben werden. Die Getriebestufe kann zur Anpassung der Motordrehzahl an die Drehzahl des Gewindetriebes genutzt werden. Die hydrostatische rotierende Mutter benötigt mindestens eine rotierende Ölzuführung. Die rotierende hydrostatische Mutter ist mit einem integrierten Lager ausgerüstet und benötigt zusätzlich eine rotierende Ölzuführung. Aus Kosten- und vielfach auch aus Platzgründen empfehlen wir, wenn möglich einen Gewindetrieb mit rotierender Spindel einzusetzen. ■

2.4 Befestigungsart der hydrostatischen Mutter bei rotierender Gewindespindel.

Hydrostatische Gewindetribe werden generell als Flanschmuttern angeboten: Zwei nur einseitig tragende Mutter sind mittels einem Zwischenflansch zu einer funktionsfähigen Muttereinheit verschraubt. Die Maße der beiden Mutter und die Breite des Zwischenflansches können nicht verändert werden, jedoch kann die Außenform des Zwischenflansches weitgehend den Wünschen der Kunden angepasst werden.

Hierbei kann z.B. zwischen einem runden und einem Vierkantflansch gewählt werden (siehe Abb. 1; 2).

Für die überwiegend eingesetzte Größe mit Nenndurch-

messer 50 mm wird z.B. eine „normale Größe“ der Mutter für ausreichenden Einbauraum (siehe Abb.1) und eine „kompakte Größe“ für begrenzten Einbauraum (siehe Abb. 2) angeboten.

Die hydrostischen Muttern zeichnen sich dadurch aus, daß die Regler zur Taschenölströmeregulation in die Mutter integriert sind, so daß der Anwender nur eine Ölzuführung zur Mutter schaffen muß. Diese Muttern können relativ geringe Radialkräfte, z.B. das Gewicht der Gewindespindel bei waagerechtem Einbau, aufnehmen. ■

2.5 Gewindetribe für hohe Schlittengeschwindigkeiten (mit vergrößerter Steigung und/oder höherer Drehzahl).

Gewindetribe mit „Standardsteigung“ - bei Nenndurchmesser 50 mm gleich 10 mm - werden üblicherweise für max. 30 m/min Schlittengeschwindigkeit ausgelegt (bei kurzen Gewindespindeln können deutlich höhere Geschwindigkeiten durch Verwendung von Ölen mit geringerer Viskosität erreicht werden).

Werden größere Schlittengeschwindigkeiten gefordert, so kommen größere Gewindesteigungen zum Einsatz. Diese erfordern bei gleichen Vorschubkräften jedoch höhere Motormomente. Auch ergeben sich durch die ungünstigere

Übersetzung zwischen Motor und Schlitten bei vergleichbarer Qualität der Motorsteuerung geringere Positioniergenauigkeiten und größere Bahnabweichungen.

Als Serviceleistung wird die optimale Gestaltung nicht nur der hydrostatischen Gewindetribe, sondern ganzer Vorschubachsen mit Berechnung der kritischen Drehzahl, Ermittlung der erforderlichen Antriebsmomente durch Bearbeitungs-, Beschleunigungs- und Gewichtskräfte sowie Vorschlag des Motors angeboten. ■

3. Vorteile durch Einsatz unseres PM-Reglers

Durch die Eigenschaften unseres Reglers werden ca. 4 bis 5-fache Steifen gegenüber Lösungen mit Kapillaren erreicht. Da zudem 90% des Pumpendruckes als maximaler Taschendruck genutzt werden kann, ergibt sich bei Maximalbelastung ohne Reserve ein Differenzdruck zwischen der linken und rechten Mutternhälfte von ca. 80% des Pum-

pendruckes. Erst durch Verwendung unseres Reglers war es deshalb bei erträglichem Aufwand für die Ölversorgung möglich, hydrostatische Gewindetribe mit so hoher Steife und Belastbarkeit wie die von uns angebotenen Produkte zu entwickeln. ■

4. Konstruktive Gegebenheiten

4.1 Ölzuführung zur und Ölaustritt aus der hydrostatischen Mutter, Abfangen des Öles und Rückführen zum Hydroaggregat

Die PM-Regler zur Versorgung der Hydrostatiktaschen sind in der hydrostatischen Mutter integriert. Der Anwender hat also lediglich eine Ölzuführung zur Mutter zu schaffen und muß keinerlei Reglereinrichtungen installieren.

Üblicherweise sind hydrostatische Gewindetribe in einen Schlitten unterhalb von Abdeckungen installiert. In derartigen Fällen kann in der Regel das Öl an beiden Enden der Mutter austreten.

In vielen Fällen kann allerdings das freie Austreten des Öles, insbesondere bei schnell drehenden Spindeln, nicht

akzeptiert werden. Für solche Fälle wurde eine Abdichtung der Mutter entwickelt. Durch diese Abdichtung kann aber keine vollkommene Dichtheit erreicht werden, vielmehr ist mit geringen Leckmengen zu rechnen. Aufgrund noch ungenügender Erfahrung kann die Lebensdauer dieser Abdichtung noch nicht sicher abgeschätzt werden. Da die Gewindetribe verschleißfrei sind und diese Abdichtung ein Verschleißteil ist, dessen Austausch nicht ganz einfach ist, empfehlen wir unseren Kunden dringend, möglichst auf diese Abdichtung zu verzichten. ■

4.2 Selbsthemmung

Im Gegensatz zu den Kugelgewindetrieben weisen hydrostatische Gewindetribe mit normaler Steigung kurze Zeit nach Abschalten der Hydrostatik Selbsthemmung auf. Bei vertikalem Einsatz der Spindeln ergeben sich hierdurch vielfach wesentliche Vorteile insbesondere bei der Montage

und Reparatur. Wird auch die Lagerung der Gewindespindel hydrostatisch ausgeführt, so weisen vielfach auch Gewindetribe mit höherer Steigung Selbsthemmung auf, da dann bei abgeschalteter Ölversorgung auch die Reibung in diesem Lager deutlich ansteigt. ■

4.3 Einbauraum und Einbaulage

Aufgrund der Eigenart hydrostatischer Gewindetribe und der an die Mutter angebauten PM-Regler ist der Platzbedarf hydrostatischer Mütter in der Regel größer als der von Kugelgewindetrieben. Trotzdem ist es gelungen, die Außenabmessungen der „kompakten Größe“ der Mutter (siehe Abb. 2) mit Nenndurchmesser 50 mm an den Flanschdurch-

messer des entsprechenden Kugelgewindetriebes anzupassen, so daß ein für einen Kugelgewindetrieb ausreichender Rechteckkanal in der Regel auch den Einbau einer entsprechenden hydrostatischen Mutter erlaubt. Dies gilt auch für die meisten anderen Größen der Gewindetribe. Die Einbaulage hydrostatischer Gewindetribe ist beliebig. ■

4.4 Crash-Sicherheit

Die hydrostatischen Gewindetribe sind so ausgestattet, daß sie im Crash-Fall, also z.B. bei auf Block fahrenden Schlitten, sehr kurzzeitig überlastet werden können, ohne daß Kontakt zwischen Mutter und Spindel auftritt. Hierdurch wird vielfach eine Beschädigung des Gewindetriebes beim Crash vermieden.

Zum Lösen dieser Verspannungen darf auf keinen Fall die hydrostatische Spindel aus der Mutter gedreht werden. Vielmehr muß die Verspannung durch Lösen des Anschlages beziehungsweise der verspannten Teile aufgehoben werden. ■

5. Technische Daten

5.1 Hauptabmessungen und technische Daten

In Tabelle I sind die technischen Daten der verschiedenen Größen zusammengestellt. Die angegebenen Belastungen wurden unter Berücksichtigung einer Belastungsreserve von 50% und den vorgesehenen maximalen Pumpendruck

von 80 bar ermittelt. In Sonderfällen sind Pumpendrucke bis 160 bar, also doppelte Belastungen, möglich. Die angegebenen maximalen Gewindegangzahlen sind uneingeschränkt nur bei Normalsteigung möglich. ■

Tabelle I, Maße und technische Daten der Gewindetriebe

| | | | | | | | | | |
|---|-----------------|------|------|------|------|------|------|------|-------|
| Spindel-Nenndurchmesser | | 40 | 50 | 63 | 80 | 100 | 125 | 160 | 200 |
| Gewindeaußen - Ø | mm | 40 | 52 | 65 | 80 | 100 | 128 | 160 | 200 |
| Gewindekern - Ø | mm | 27,3 | 36 | 45 | 55,5 | 70,5 | 88 | 112 | 140 |
| Mutterinnen - Ø | mm | 28 | 37 | 46 | 57 | 72 | 90 | 114 | 142 |
| Steigung normal | mm | 8 | 10 | 12 | 15 | 18 | 25 | 25 | 28 |
| Steigung vergrößert I | mm | 16 | 20 | 25 | 25 | 30 | | | |
| Steigung vergrößert II | mm | 25 | 30 | 40 | 40 | 50 | | | |
| Flankenwinkel | ° | 20 | 20 | 20 | 20 | 20 | 20 | 20 | 20 |
| Max. Gewindegangzahl bei Normalsteigung | | 5 | 5 | 6 | 6 | 6 | 6 | 6 | 6 |
| Wirkfläche/Gang | cm ² | 4,9 | 8,1 | 13,5 | 18,7 | 28,5 | 47,4 | 74,6 | 118,8 |
| Spindel-Kernfläche | cm ² | 5,9 | 10,2 | 15,9 | 24,2 | 37,9 | 60,8 | 98,5 | 154,0 |
| Max. Belastbarkeit bei 80 bar/Gang *) | kN | 2,2 | 3,7 | 6,0 | 8,4 | 12,8 | 21,3 | 32,6 | 49 |
| Max. Belastbarkeit bei 80 bar max. Gewindegangzahl *) | kN | 11 | 18 | 36 | 50 | 77 | 128 | 200 | 320 |

Ausgeführte/mögliche Gewindetriebe für höhere Belastungen:

| | | | | | | | | |
|-----------------------------|-----|-----|-----|-----|-----|-----|-----|-----|
| Gewindegangzahl | | 4 | 6 | 6 | 6 | 6 | 6 | 6 |
| Pumpendruck | bar | 120 | 160 | 160 | 160 | 160 | 160 | 160 |
| Maximal zulässige Belastung | kN | 25 | 85 | 120 | 175 | 300 | 460 | 750 |

*) Mit 50% Belastungsreserve

5.2 Abmessungen der Flanschmutter

5.2.1 Flanschmutter mit rundem Befestigungsflansch

In Abb. 1 ist die Flanschmutter mit rundem Befestigungsflansch (ohne Abdichtung) schematisch dargestellt. In Tabelle II sind die Hauptabmessungen der hydrostatischen Muttern aufgelistet. D3, D4, X und E können nach Ab-

sprache individuell auf Kundenwunsch angepasst werden. Die kursiv gekennzeichneten und die Flanschmutterkonturmaße der Spindel-Nenndurchmesser d=100 bis 200 mm sind unverbindlich. ■

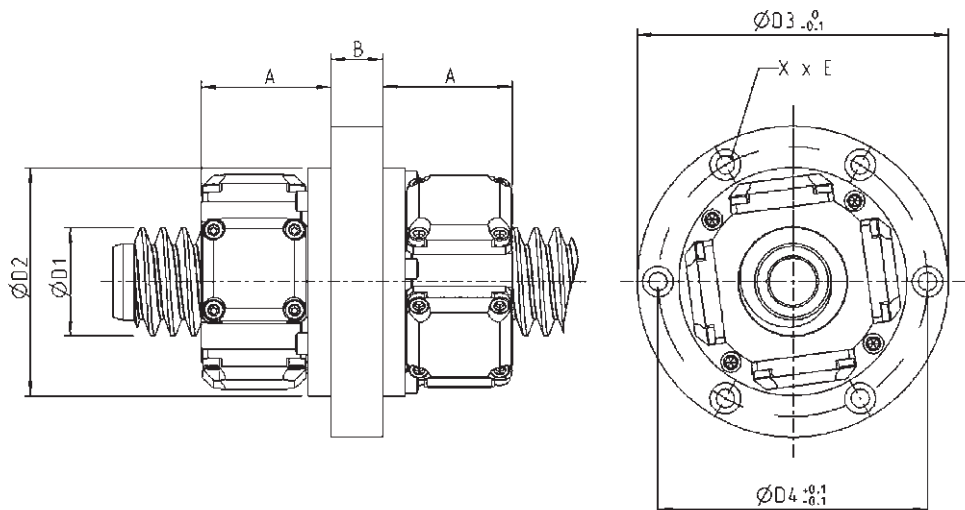


Abb. 1:
Hydrostatische Mutter mit rundem Befestigungsflansch

Tabelle II, Maße der Gewindespindelmutter nach Abb.1 (vorherige Seite) (unverbindlich für Dm 100 bis 200)

| Spindel-Nenndurchmesser | mm | 40 | 50 | 65 | 80 | 100 | 125 | 160 | 200 |
|-------------------------|------|------|------|-----|-----|-----|-----|-----|-----|
| D1 | mm | 40 | 52 | 65 | 80 | 100 | 128 | 160 | 200 |
| Steigung normal | | 8 | 10 | 12 | 15 | 18 | 25 | 25 | 28 |
| Steigung erhöht | | 16 | 20 | 25 | 25 | 30 | | | |
| Steigung hoch | | 25 | 30 | 40 | 40 | 50 | | | |
| D2 | mm | 85 | 110 | 125 | 150 | 185 | 225 | 270 | |
| D3 | mm | 110 | 150 | 160 | 190 | 230 | 270 | 335 | |
| D4 | mm | 97,5 | 130 | 142 | 170 | 205 | 245 | 300 | |
| A | mm | 73 | 62,5 | 85 | 85 | 90 | 125 | 160 | |
| B | mm | 20 | 25 | 30 | 40 | 50 | 60 | 80 | |
| E | mm | 6,6 | 9 | 9 | 11 | 13 | 13 | 17 | |
| X | Stk. | 6 | 6 | 8 | 8 | 8 | 12 | 12 | |

5.2.2 Flanshmutter mit quadratischem Befestigungsflansch

In Abb. 2 ist die Flanshmutter mit quadratischem Befestigungsflansch (ohne Abdichtung) schematisch dargestellt. In Tabelle III sind die Hauptabmessungen der hydrostatischen Muttern aufgelistet. C, F, X und E können nach Ab-

sprache individuell auf Kundenwunsch angepasst werden. Die kursiv gekennzeichneten und die Flanshmutterkonturmaße der Spindel-Nenndurchmesser d=100 bis 200 mm sind unverbindlich.

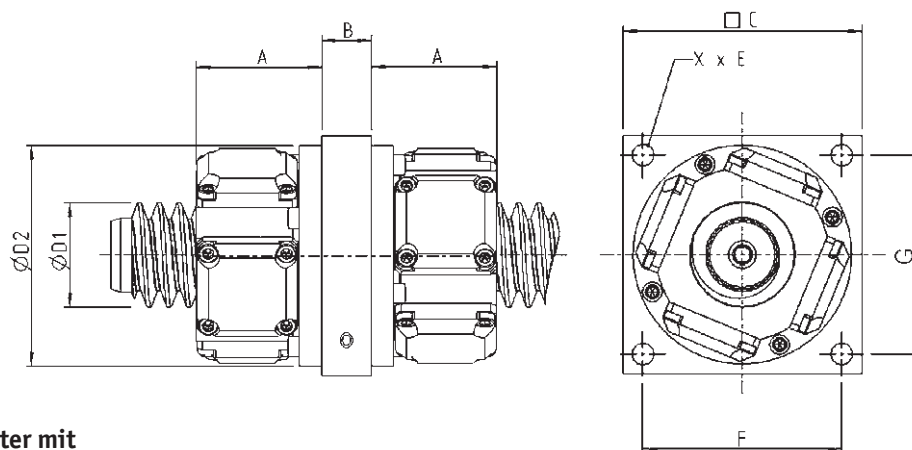


Abb.2:
Hydrostatische Mutter mit
quadratischem Befestigungsflansch

Tabelle III, Maße der Gewindespindelmutter nach Abb.2 (unverbindlich für Spindelnenndurchmesser 100 bis 200)

| Spindel-Nenndurchmesser | mm | 40 | 50 | 50 | 65 | 80 | 100 | 125 | 160 | 200 |
|-------------------------|------|-----|-----|------|-----|-----|---------|---------|---------|-----|
| D1 | mm | 40 | 52 | 52 | 65 | 80 | 100 | 128 | 160 | 200 |
| Steigung normal | | 8 | 10 | 10 | 12 | 15 | 18 | 25 | 25 | 28 |
| Steigung erhöht | | 16 | 20 | 20 | 25 | 25 | 30 | | | |
| Steigung hoch | | 25 | 30 | 30 | 40 | 40 | 50 | | | |
| D2 | mm | 85 | 100 | 110 | 125 | 150 | 185 | 225 | 270 | |
| A | mm | 73 | 70 | 62,5 | 85 | 85 | 90 | 125 | 160 | |
| B | mm | 20 | 25 | 25 | 30 | 40 | 50 | 60 | 80 | |
| C | mm | 85 | 108 | 120 | 140 | 165 | 200 | 240 | 280 | |
| F | mm | 73 | 94 | 100 | 120 | 140 | 110/175 | 150/210 | 180/250 | |
| G | mm | 64 | 70 | 100 | 90 | 105 | 175/110 | 210/150 | 250/180 | |
| E | mm | 6,6 | 9 | 11 | 11 | 13 | 13 | 17 | 17 | |
| X | Stk. | 4 | 4 | 4 | 4 | 4 | 8 | 8 | 8 | |

5.3 Belastbarkeit und Steife

In Tabelle IV sind für den Pumpendruck 80 bar, je Mutter sechs Gewindegänge und 50% Belastungsreserve mögliche Belastungen und Steifen angegeben. Für abweichende Konfigurationen kann die mögliche Belastung angenähert pro-

portional dem Pumpendruck und der Gewindegangzahl umgerechnet werden. Die Steifen können proportional der Gewindegangzahl, aber nur sehr überschlägig proportional dem Pumpendruck umgerechnet werden. ■

Tabelle IV, Belastungen und Steifen der Gewindespindelmuttern bei 80 bar Pumpendruck, 50% Belastungsreserve und je Mutter sechs Gewindegängen

| Spindel-Nenndurchmesser mm | 40 | 50 | 65 | 80 | 100 | 125 | 160 | 200 |
|----------------------------|-----|-----|-----|----|-----|-----|-----|-----|
| Maximalbelastung kN | 11 | 18 | 36 | 50 | 77 | 128 | 200 | 320 |
| Axialsteife kN/ μ m | 1,2 | 2,5 | 4,5 | 6 | 9,5 | 15 | 25 | 40 |

5.4 Werte für Ölversorgung, Verlustleistung und Drehzahl für einige Beispiele

In Tabelle V sind Beispiele mit erweiterten Daten, u.a. der erforderliche Ölstrom, die Ölsorte und Ölerwärmung, die

Gesamtverlustleistung bei Drehzahl null und Maximaldrehzahl in Abhängigkeit der Maximaldrehzahl aufgelistet. ■

Tabelle V: Technische Daten von ausgeführten bzw. projektierten Gewindetrieben (Stand 2004)

| Spindel-Nenndurchmesser | | 50 | 50 | 50 | 80 | 160 ²⁾ |
|--|---------------------|------|------|------|------|-------------------|
| Maximaldrehzahl U/min | | 2000 | 3250 | 3333 | 1000 | 160 |
| Gewindesteigung mm | | 10 | 20 | 30 | 25 | 25 |
| max. Eilgang m/min | | 20 | 65 | 100 | 25 | 4 |
| Tragende Gewindegänge | rechts | 5 | 4 | 3 | 5 | 6 |
| | links | 3 | 4 | 3 | 2 | 4 |
| Belastbarkeit rechts ¹⁾ | kN | 10 | 10 | 10 | 50 | 500 |
| | links ¹⁾ | kN | 5 | 10 | 15 | 320 |
| Axialsteife der Mutter | N/ μ m | 1250 | 1000 | 1000 | 1500 | 4000 |
| Pumpendruck bar | | 50 | 63 | 63 | 100 | 160 |
| Ölsorte entsprechend | | VG32 | VG22 | VG22 | VG68 | VG100 |
| Erforderlicher Ölstrom bei | | | | | | |
| Öltemperatur 40°C | l/min | 1,3 | 2,8 | 2,8 | 4,7 | 5,8 |
| Reibleistung der Mutter bei | | | | | | |
| Maximaldrehzahl | W | 90 | 180 | 180 | 160 | 68 |
| Max. Gesamtverlustleistung (Pumpen + Reibleistung) | | | | | | |
| bei Drehzahl 0 | W | 145 | 390 | 390 | 1050 | 2000 |
| bei max. Drehzahl | W | 235 | 570 | 570 | 1210 | 2070 |
| Ölerwärmung | | | | | | |
| bei Drehzahl 0 | °C | 4,2 | 5,2 | 5,2 | 8,2 | 11,8 |
| bei max. Drehzahl | °C | 10,5 | 12,0 | 12,0 | 14,0 | 13,0 |

1) mit 50% Belastungsreserve

2) mit 26% Belastungsreserve und maximal 32 °C Öltemperatur

6. Einsatz und Montage von Gewindetrieben mit hydrostatischer Mutter

6.1 Anlieferung der Gewindetribe

Bei abgeschalteter Ölversorgung, also auch beim Transport, weisen die Muttern zur Spindel Spiel auf. Das Spiel beträgt in axialer Richtung, abhängig von dem Spindel- \emptyset und der Ausführung, ca. 30 bis 70 μ m, in radialer Richtung bedingt

durch den Flankenwinkel von $20^\circ \pm 46$ bis $\pm 107 \mu$ m. Um Beschädigungen beim Transport zu vermeiden, wird der Gewindetrieb in der Regel in demontiertem Zustand, also Gewindespindel und Mutter getrennt, ausgeliefert. ■

6.2 Montage der Gewindetriebe.

Da keine losen Teile in der Mutter vorhanden sind, kann die Montage der Spindel in die Mutter relativ einfach durchgeführt werden. Um hierbei Beschädigungen an der Mutter zu vermeiden ist auf das Spindelteil, welches zuerst eingeführt wird, eine Kunststoffhülse aufzuschieben, deren Außendurchmesser geringfügig kleiner als der Mutterinnendurchmesser ist – siehe Abb. 3. Durch diese Schutzhülse wird die Spindel weitgehend in der Mutter zentriert.

Für Gewindetriebe über dem Nenndurchmesser von 80 mm empfehlen wir darüber hinaus, eine weitere Führung der Spindel mittels des in Abb. 3 dargestellten Kunststoffflansches. Beide Teile können von uns bezogen werden. Beim Einschrauben der Spindel in die zweite Mutterhälfte ist die Spindel von der Mutter weg, also zum Monteur hin heranzuziehen und dann **vorsichtig ohne jede Gewalteinwirkung** einzuschrauben.

Muttern von Gewindetrieben mit Nenndurchmesser 100 mm und größer von unten in die vertikal hängende Gewindespindel einzuschrauben.

Jede Mutter ist zu einer bestimmten Spindel gepaart. Es dürfen daher nur zusammengehörende Muttern und Spindeln miteinander montiert werden. Darüber hinaus sind auch die beiden tragenden Flanken der Mutter zu je einer bestimmten Flanke der Gewindespindel gepaart. Die Mutter darf daher auch nur in der durch die jeweilige Bestellzeichnung definierten Lage auf die Spindel montiert werden.

Gekennzeichnet ist das auf jeden Fall durch die Lage der Ölzufuhrbohrung. Vielfach ist die korrekte Lage der Mutter auch an ihrer asymmetrischen Form zu erkennen.

Bei jedem Gewindetrieb ist eine Bestellzeichnung und eine Montageanleitung beigelegt. ■

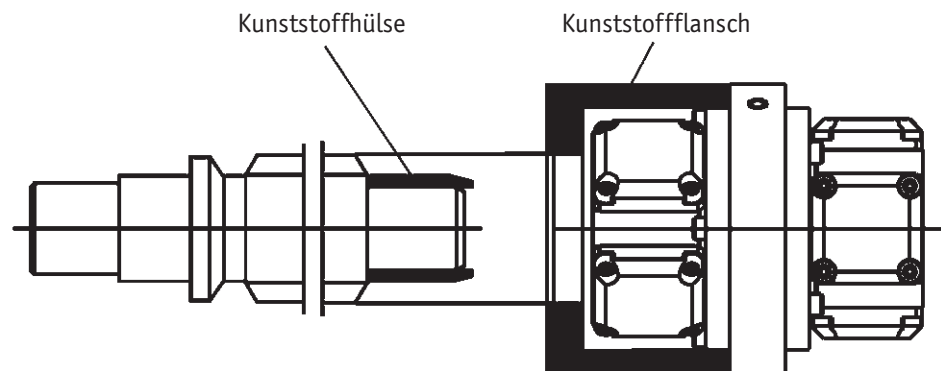


Abb. 3
Einbauhilfswerkzeuge

6.3 Einbau und Justieren des hydrostatischen Gewindetriebs.

Bei abgeschalteter Ölversorgung weist die Mutter des hydrostatischen Gewindetriebs deutliches Spiel zur Spindel auf. Der hydrostatische Gewindetrieb kann somit nicht wie der Kugelgewindetrieb, dessen Mutter stets auf der Spindel zentriert ist, als Justierwerkzeug genutzt werden. Die Befestigungsflächen für die Mutter an der Maschine zur Spindel-

mitte müssen somit ohne Zuhilfenahme des hydrostatischen Gewindetriebs justiert werden. Wird der hydrostatische Gewindetrieb zusammen mit einer hydrostatischen Führung eingesetzt, ist die hydrostatische Mutter bei abgehobenem Schlitten (bei eingeschalteter Ölversorgung für die Schlittenführung) zentrisch zur Gewindespindel auszurichten. ■

6.4 Einbautoleranzen für die Gewindetriebe.

Die Einbautoleranzen für die hydrostatischen Gewindetriebe sind mit denen hochwertigerer Kugelgewindetriebe vergleichbar. Die verbindlichen zulässigen Toleranzen sind

in der jeweiligen Bestellzeichnung definiert. Unverbindliche Richtgrößen sind in Abb. 4 angegeben. ■

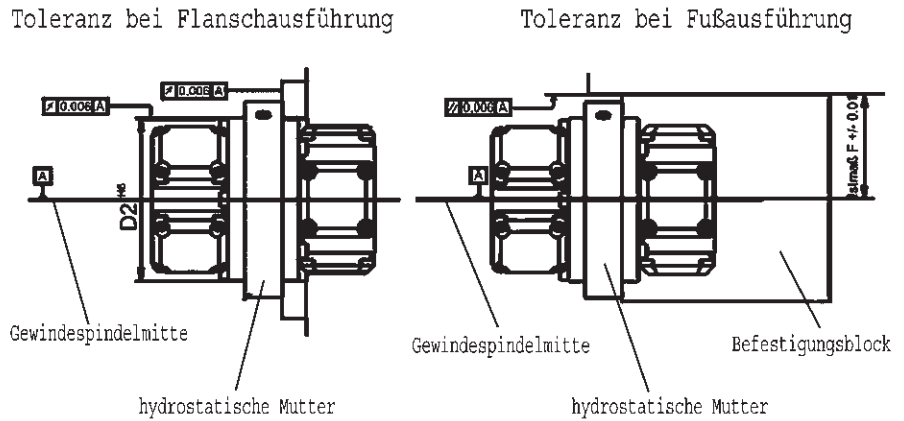


Abb. 4:
Einbautoleranzen

7. Hydrostatische Lagerung für Gewindetriebe

Hydrostatische Lagerung für Gewindetriebe bieten viele Vorteile gegenüber üblicherweise verwendeten Wälzlagern.

Vorteile Hydrostatischer Lagerungen für Gewindetriebe:

- unbegrenzte Lebensdauer, da kein Verschleiß
- unbegrenzte Beschleunigung
- kein Momentensprung bei Umkehr der Bewegungsrichtung
- hochfrequenter Reversierbetrieb unter hoher Belastung uneingeschränkt möglich
- Mehrfach verbesserte Axialdämpfung
- für sehr schnelldrehende Spindeln

7.1 Lagerung für Gewindetriebe mit 4 Reglern

Lagerungen für Gewindetriebe mit 4 Reglern weisen drei radiale und eine axiale Hydrostatiktasche auf. Das Lager kann Kräfte in radialer und axialer Richtung aufnehmen, jedoch keine Momente.

Vorteile der Lagerung für Gewindetriebe mit 4 Reglern:

- günstiger Anschaffungspreis
- sehr kompakte Bauweise zur Nutzung bei geringem Platzbedarf
- keine Einbringung von Momenten auf die Gewindespindel

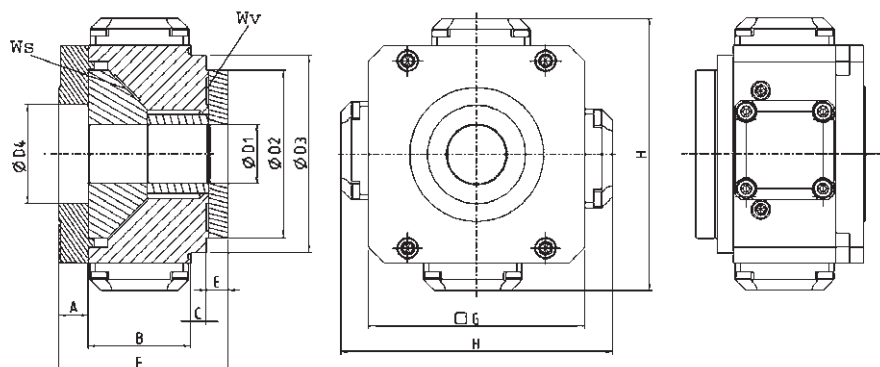


Abb. 5
Hydrostatische Lagerung
mit 4 Reglern

Tabelle VI: Abmessungen Lagerung mit 4 Reglern

| | | | | | | | |
|----|----|----|-----|----|-----------------|------|------|
| G | mm | 88 | 110 | G | mm | 88 | 110 |
| D1 | mm | 25 | 30 | C | mm | 8 | 9 |
| D2 | mm | 71 | 85 | E | mm | 10 | 10 |
| D3 | mm | 80 | 100 | F | mm | 90 | 86 |
| D4 | mm | 50 | 50 | H | mm | 116 | 138 |
| A | mm | 15 | 15 | Ws | cm ² | 22,6 | 34,4 |
| B | mm | 57 | 52 | Wv | cm ² | 24,9 | 36,1 |

7.2 Lagerung für Gewindetriebe mit 8 Reglern

Lagerungen für Gewindetriebe mit 8 Reglern weisen zwei gegeneinander gestellte hydrostatisch gelagerte Kegel auf, von welchen jeder mittels vier Hydrostatiktaschen mit je 90° gelagert ist.

Die Lager können Kräfte in radialer und axialer Richtung sowie Momente aufnehmen.

Vorteile der Lagerung für Gewindetriebe mit 8 Reglern:

- für fliegend gelagerte Spindeln einsetzbar (ohne Gegenlager)
- ausgezeichnete Eignung bei sehr langen Spindeln
- Durchbiegungskompensation durch Momenteneinbringung

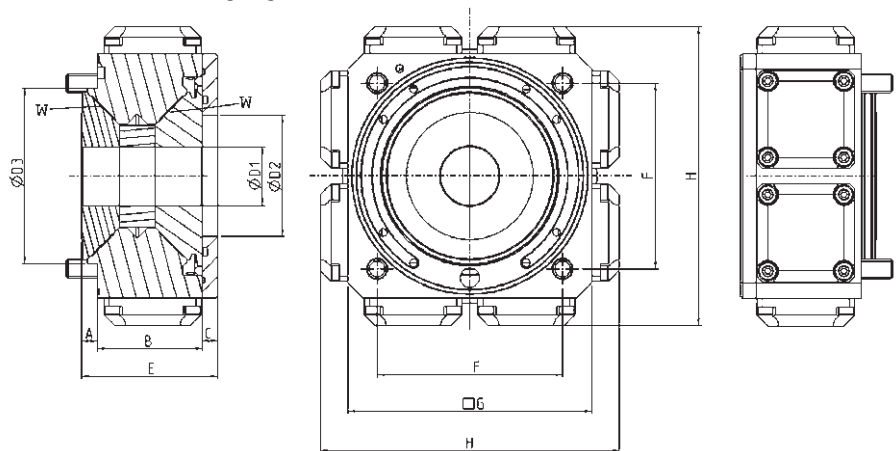
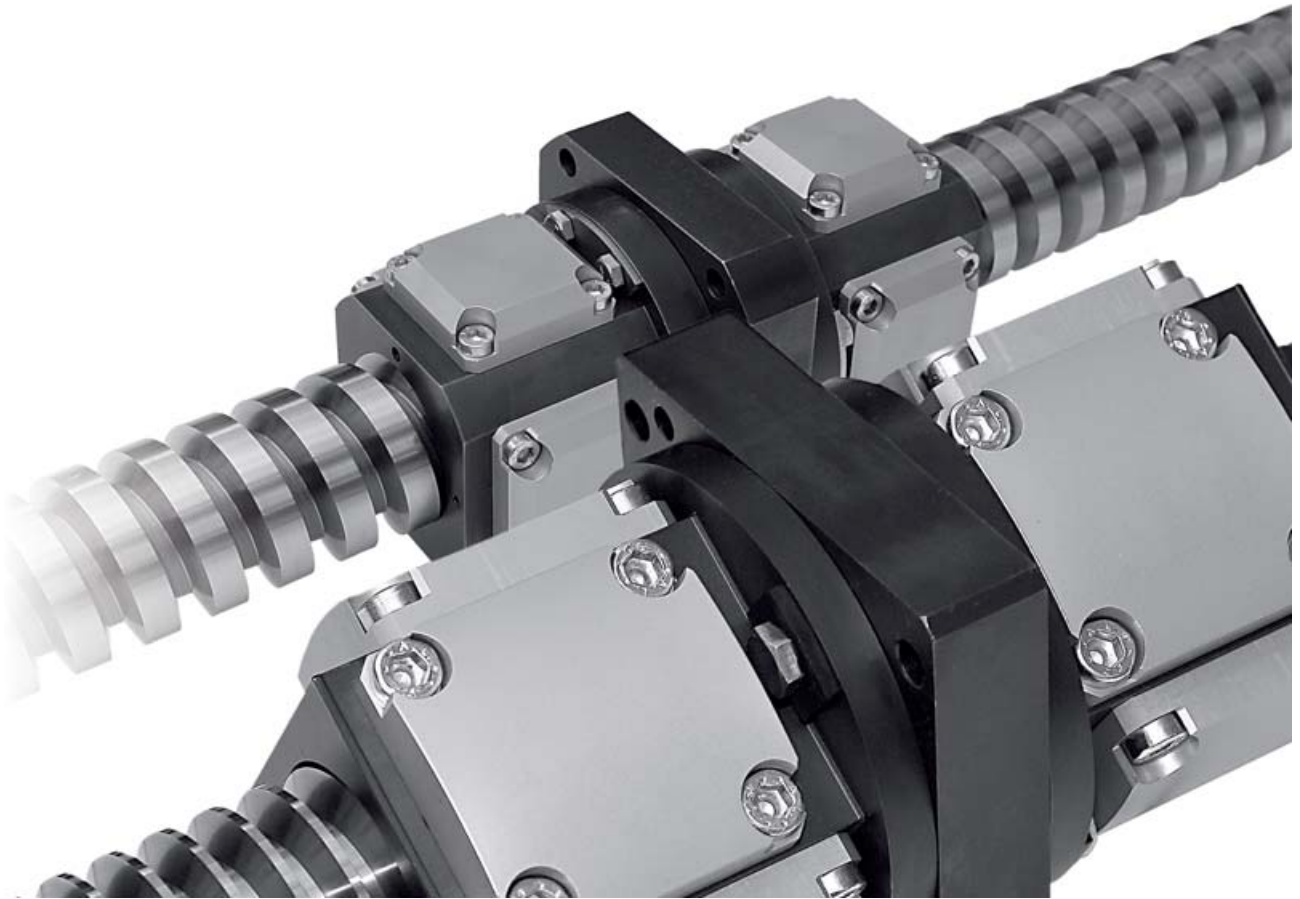


Abb. 6
Hydrostatische Lagerung
mit 8 Reglern

Tabelle VII: Abmessungen Lagerung mit 8 Reglern

| | | | | | | |
|----|-----------------|------|------|------|------|------|
| G | mm | 125 | 125 | 135 | 135 | 135 |
| D1 | mm | 30 | 40 | 30 | 40 | 50 |
| D2 | mm | 62 | 62 | 72 | 72 | 72 |
| D3 | mm | 90 | 90 | 100 | 100 | 100 |
| A | mm | 8 | 8 | 8 | 8 | 8 |
| B | mm | 54 | 54 | 54 | 54 | 54 |
| C | mm | 8 | 8 | 8 | 8 | 8 |
| E | mm | 70 | 70 | 70 | 70 | 70 |
| F | mm | 95 | 95 | 112 | 112 | 112 |
| H | mm | 153 | 153 | 163 | 163 | 163 |
| W | cm ² | 31,0 | 34,0 | 45,2 | 45,2 | 33,0 |



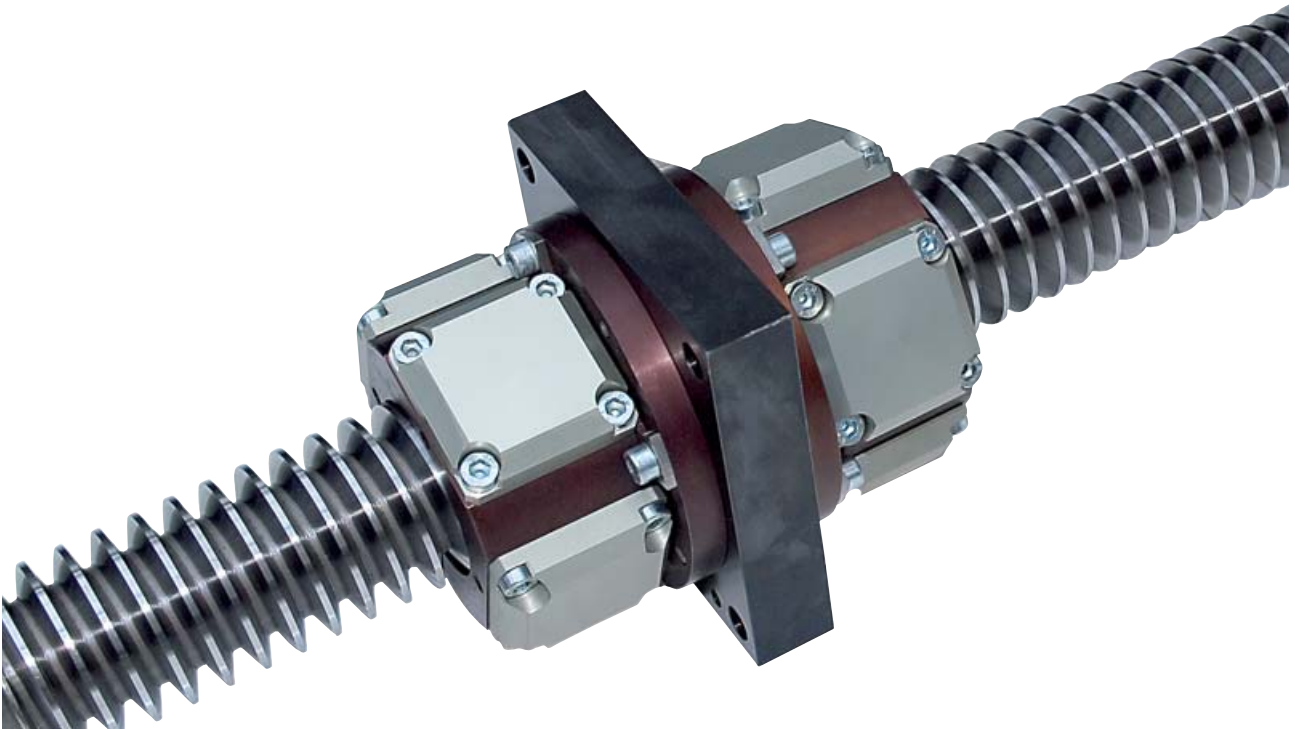
HYPROSTATIK®

Vorteile der
Hydrostatischen
Gewindetriebe

Hydrostatik von Hyprostatik®

Die Vorteile eines innovativen Antriebs

Hydrostatische Gewindetriebe



Vorteile gegenüber der Kugellenspindel:

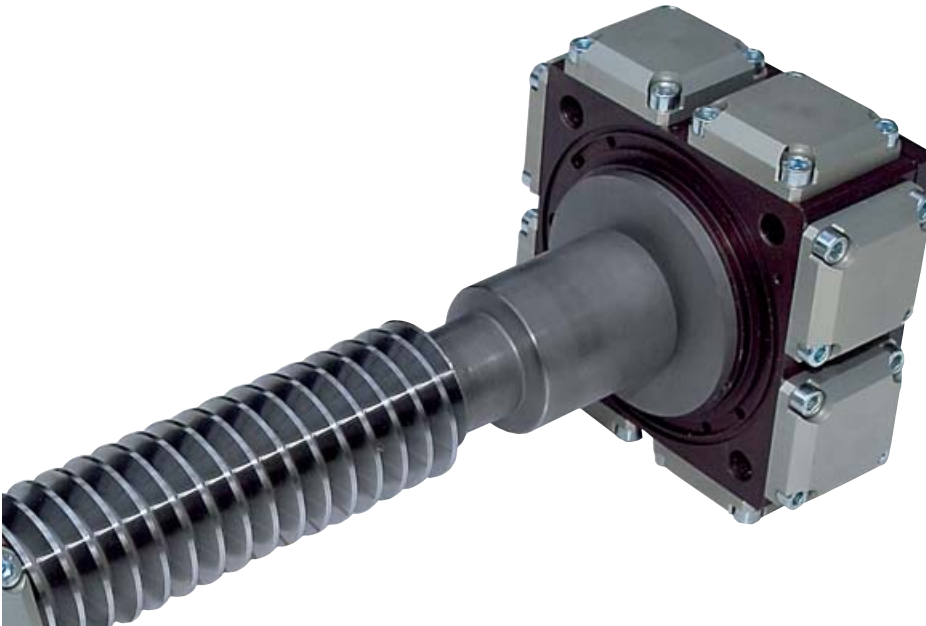
- verschleißfrei, da im Betrieb keine Berührung stattfindet
- keine Genauigkeitsverluste, auch in langem Betrieb unter Volllast bei maximaler Geschwindigkeit
- reibungsfrei bei geringen Geschwindigkeiten
- keinerlei Umkehrsprung der Reibkraft bei Drehrichtungswechsel
- überträgt geringste Drehbewegungen
- kein Slipp-Stick-Effekt bei geringen Geschwindigkeiten
- keine Schwankungen des Reibmoment durch Kugelumlauf
- höhere Axialsteife wie Kugelgewindetriebe
- vielfach bessere Dämpfung, dadurch bessere Werkstückoberfläche und Werkzeugstandzeit
- keine Schwingungen durch den Kugelumlauf
- auch für hohe Geschwindigkeiten und Beschleunigung geeignet
- günstige Alternative zum Linearmotor mit höherer Genauigkeit, vielfach geringerer Erwärmung, exzellenter Dämpfung und ohne Probleme mit Spänen am Permanentmagneten

Technische Besonderheiten:

- hochgenaue Übertragung der Rotation in lineare Bewegung z.B. für Vorschubantriebe
- zwischen Hydrostatiktaschen schwebend gelagerte Mutter ohne Kugeln
- integrierte Mengenregelung nur durch den Taschen druck, nur ein Hydraulikanschluß, keinerlei elektronische Zusatzregelung erforderlich
- die Einbaumaße der Mutter sind an die Maße der Kugelgewindespindel angenähert
- Spindelenden werden nach Kundenwunsch ausgeführt

Die hydrostatische Mutter wird angepasst an:
Axialbelastungen beider Richtungen
max. Drehzahl, gewünschte Steife

Hydrostatische Lager für Gewindetribe



Vorteile gegenüber Wälzlagern:

- verschleißfrei, da im Betrieb keine Berührung stattfindet
- keine Genauigkeitsverluste, auch in langem Betrieb unter Vollast bei maximaler Geschwindigkeit
- reibungsfrei bei geringen Geschwindigkeiten
- keinerlei Umkehrsprung der Reibkraft bei Drehrichtungswechsel
- überträgt geringste Drehbewegungen
- kein Slipp-Stick-Effekt bei geringen Geschwindigkeiten
- keine Schwankungen des Reibmoment durch Kugelumlauf
- vielfach bessere Dämpfung, dadurch bessere Werkstückoberfläche und Werkzeugstandzeit

Technische Besonderheiten:

- Aufnahme von axialen und radialen Kräften sowie Momenten
- geeignet für einseitige Lagerung der Gewindespindel
- hochgenaue Lagerung des Gewindetribe
- zwischen Hydrostatiktaschen schwebend gelagerte Doppelkegel zur Lagerung in „0-Anordnung“
- integrierte Mengenregelung nur durch den Taschen druck, nur ein Hydraulikanschluß, keinerlei elektronische Zusatzregelung erforderlich
- Alle Zuleitungen und Ableitungen in der Flanschfläche
- Wahlweise Abdichtung nach einer Seite durch Sperrluft/Spaltdichtung oder gleitende Dichtung

Das hydrostatische Lager wird angepaßt an:

Axialkraft, Radialkraft und Moment

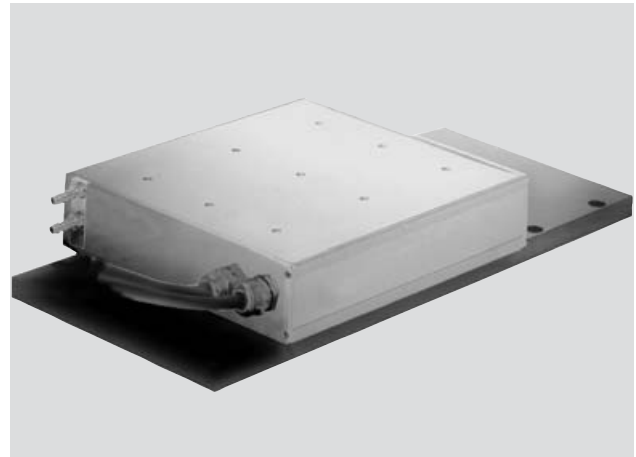
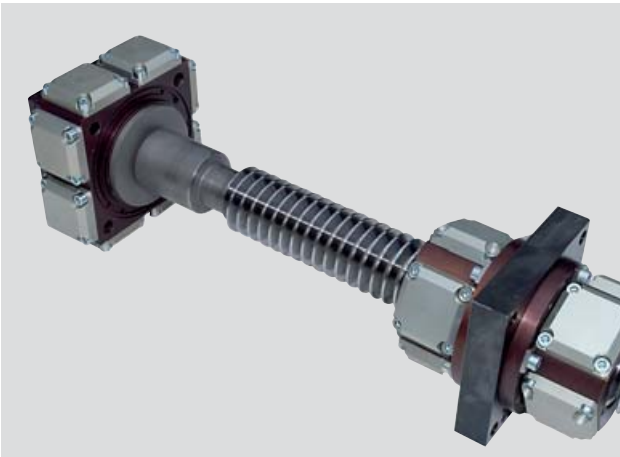
maximale Drehzahl

gewünschte Steife

Viskosität und Temperatur des Hydrauliköls

Hydrostatischer Gewindetrieb

im Vergleich zum Linearmotor und Kugelgewindetrieb



Die Schwächen der Kugelgewindetriebe haben zur Entwicklung von Linearmotoren und hochbelastbaren sowie verschleißfreien hydrostatischen Gewindetrieben der Firma HYPROSTATIK Schönfeld GmbH geführt.

Nachfolgend wird der hydrostatische Gewindetrieb vorgestellt und mit Linearmotor und Kugelgewindetrieb verglichen.

Während sich bei einem Teil der Anwender von Linearmotoren nach der ersten Euphorie bereits Ernüchterung, wenn nicht sogar Enttäuschung breit gemacht hat, arbeiten alle der vielen hundert eingesetzten hydrostatischen Gewindetriebe teilweise seit 1996 auch im Dreischichtbetrieb mit höchster Präzision und Zuverlässigkeit.

1. Der hydrostatische Gewindetrieb

Wie ein Kugelgewindetrieb setzt der hydrostatische Gewindetrieb die Drehbewegung eines Servomotors in eine Linearbewegung um. Die Mutter des Gewindetriebs schwebt auf einem hydrostatischen Ölfilm und ist somit absolut verschleißfrei. Durch die vom PM-Regler gesteuerten Ölströme wird die Ölfilmdicke unabhängig von der Geschwindigkeit und Belastung nahezu konstant gehalten.

Die spielfreie hydrostatische Mutter ist extrem steif und hat trotzdem eine sehr geringe Reibung. Bei geringen Geschwindigkeiten, zum Beispiel beim Positionieren, ist die Reibung nahe Null. Die Positioniergenauigkeit, der kleinste Verfahrweg und die langsamste Geschwindigkeit sind somit nur noch vom Meßsystem und der Steuerung abhängig. Gegenüber der dynamischen Belastung wirkt der hydrostatische Gewindetrieb wie ein Stoßdämpfer mit exzellenter Dämpfung. Er läuft absolut geräuschlos und die von Kugelgewindetrieben bekannten Vibrationen treten nicht auf.

Der hydrostatische Gewindetrieb ist mit rotierender Spindel oder rotierender Mutter in Größen 40 bis 160 mm, für Axialkräfte 10 bis 300kN, Geschwindigkeit bis 120 m/min, bis Länge 4 Meter in verschiedenen Steigungen und mit nach Kundenangabe gefertigten Spindelenden erhältlich. Hydrostatische Gewindetriebe werden durch hydrostatische Fest- und Loslager und Führungen ergänzt. ■

2. Physikalische Grundlagen.

Elektrische Energie kann sehr effektiv bei relativ geringen Kräften und hohen Geschwindigkeiten in mechanische Energie umgewandelt werden. Üblicherweise werden aus diesem Grund für elektrische Vorschubantriebe schnelllaufende Motoren mit Gewindetrieben zur Erzeugung langsamer Schlittengeschwindigkeiten und hoher Vorschubkräfte verwendet. Somit wird die Kraft des Motors über einen sehr großen Hebel auf den Schlitten übertragen. Bei entsprechender Qualität der Übertragungsglieder kann der Schlitten mit geringen Kräften feinfühlig verstellt werden.

Durch den Linearmotor wird dieses Prinzip verlassen. Zur direkten Erzeugung großer Kräfte müssen extrem starke Magnetfelder erzeugt werden, was nur durch elektrische Ströme und/oder durch Spulen mit hoher Induktivität erreicht werden kann. Da stromdurchflossenen Spulen eine elektrische Masse darstellen, muß bei dynamischen Lastwechseln auch dann, wenn der Schlitten nur in Position gehalten werden muß, eine große elektrische Masse wechselweise beschleunigt werden. Auch wenn zur Änderung des magnetischen Flusses hohe Spannungen eingesetzt werden, ist damit die Änderung der Motorkraft zeitbehaftet.

Dieses Problem besteht mit Gewindetrieb und Servomotor nur im geringeren Maße, da die zu steuernden elektrischen Ströme sehr viel kleiner sind wie die beim Linearmotor. ■

3. Die Steife bei statischer sowie dynamischer Belastung.

Die Steife des Linearmotors resultiert ausschließlich aus der Lageregelung des Antriebes im Zusammenwirken mit dem notwendigen Linearmaßstab. Ohne Lageregelkreis ist die Steife des Linearmotors gleich Null!

Gegenüber statischer Belastung ist die Steife des Linearmotors unendlich hoch. Dies gilt jedoch auch für mittels Linearmaßstab gesteuertem Antrieb mit hydrostatischem Gewindetrieb.

Die „dynamische“ Steife des Linearmotors ist aufgrund von Zeitverzögerungen durch Verlagerungsmessung, Reaktionszeit der Steuerung und Aufbau des Magnetfelds gering. Nach Angaben eines Linearmotorherstellers liegt die dynamische Steife zwischen $30 \text{ N}/\mu\text{m}$ (bei Schlittengewicht 100 kg) bis zu $120 \text{ N}/\mu\text{m}$ (Schlittengewicht 600 kg) ohne Angabe der Frequenzen. Durch die fehlende Dämpfung in Bewegungsrichtung bei schwingender Schlittenbelastung ist die Gefahr von Resonanzschwingungen gegeben.

Die Steife eines Antriebs mit dem hydrostatischen Gewindetrieb mit Nenndurchmesser nur 50 mm dagegen liegt mit 400 mm Spindellänge bei 350 bis $400 \text{ N}/\mu\text{m}$, bei beidseitiger Einspannung der Spindel noch deutlich höher.

Zusammen mit der hohen Dämpfung und der höheren, aus dem Schwungmoment der Spindel resultierenden Gesamtmasse der Vorschubachse des hydrostatischen Gewindetriebs werden mit diesem Antrieb mehrfach kleinere Schwingwege bzw. dynamische Positionsabweichungen erreicht wie mit dem Linearmotor. Auch klingen Wegschwingungen des hydrostatischen Gewindetriebs aufgrund der ausgezeichneten Dämpfung sehr schnell ab. ■

4. Die maximale Beschleunigung

Beim hydrostatischen Gewindetrieb und Linearmotor gibt es keine bauteilbedingte Beschleunigungsgrenze. Die max. Beschleunigung wird durch Massen- und Vorschubkräfte begrenzt. Die Lebensdauer des hydrostatischen Gewindetriebs wird durch die Beschleunigung nicht vermindert.

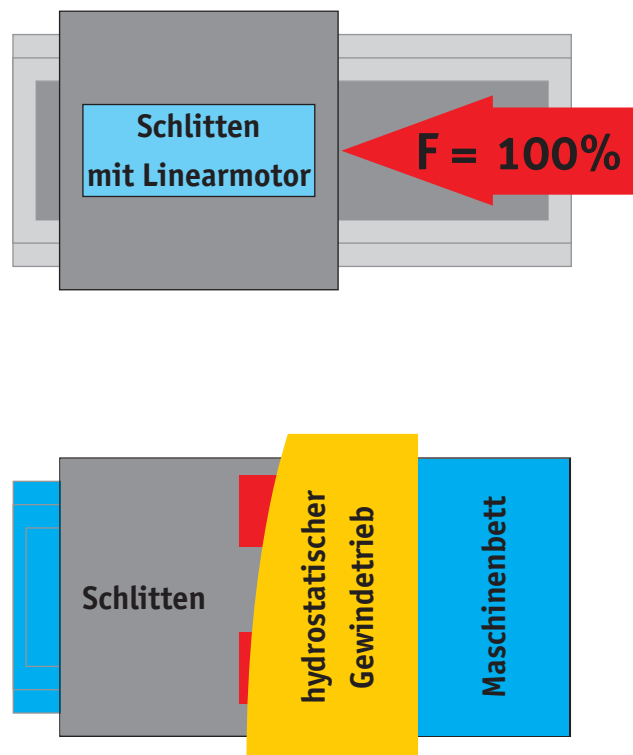
Der Servomotor muß zusätzlich sein Eigenträgheitsmoment und das des Gewindetriebs mitbeschleunigen. Trotzdem können moderne Servomotoren 500 bzw. 1000 kg schwere Schlitten mit Verfahrlänge 500 bzw. 1000 mm mit 16 bis $34 \text{ m}/\text{s}^2$ beschleunigen.

Bei optimierten Kurzhubschlitten sind auch noch deutlich höhere Beschleunigungswerte möglich. ■

5. Die Vorschubkraft

Die maximale kontinuierliche Vorschubkraft des größten Linearmotors ist mit ca. 8 kN für einen Großteil der Anwendungen im Werkzeugmaschinenbau nicht ausreichend. Mit hydrostatischen Gewindetrieben der Größe 50 mm können

bis 20 kN , mit Größe 125 bis zu 300 kN übertragen werden! Der hydrostatische Gewindetrieb ist hinsichtlich der möglichen Vorschubkräfte dem Linearmotor also weit überlegen! Hohe Belastungen auch bei sehr langsamer, extrem schneller oder oszillierender Bewegung beeinträchtigen die Funktion und Lebensdauer des hydrostatischen Gewindetriebs in keiner Weise. ■



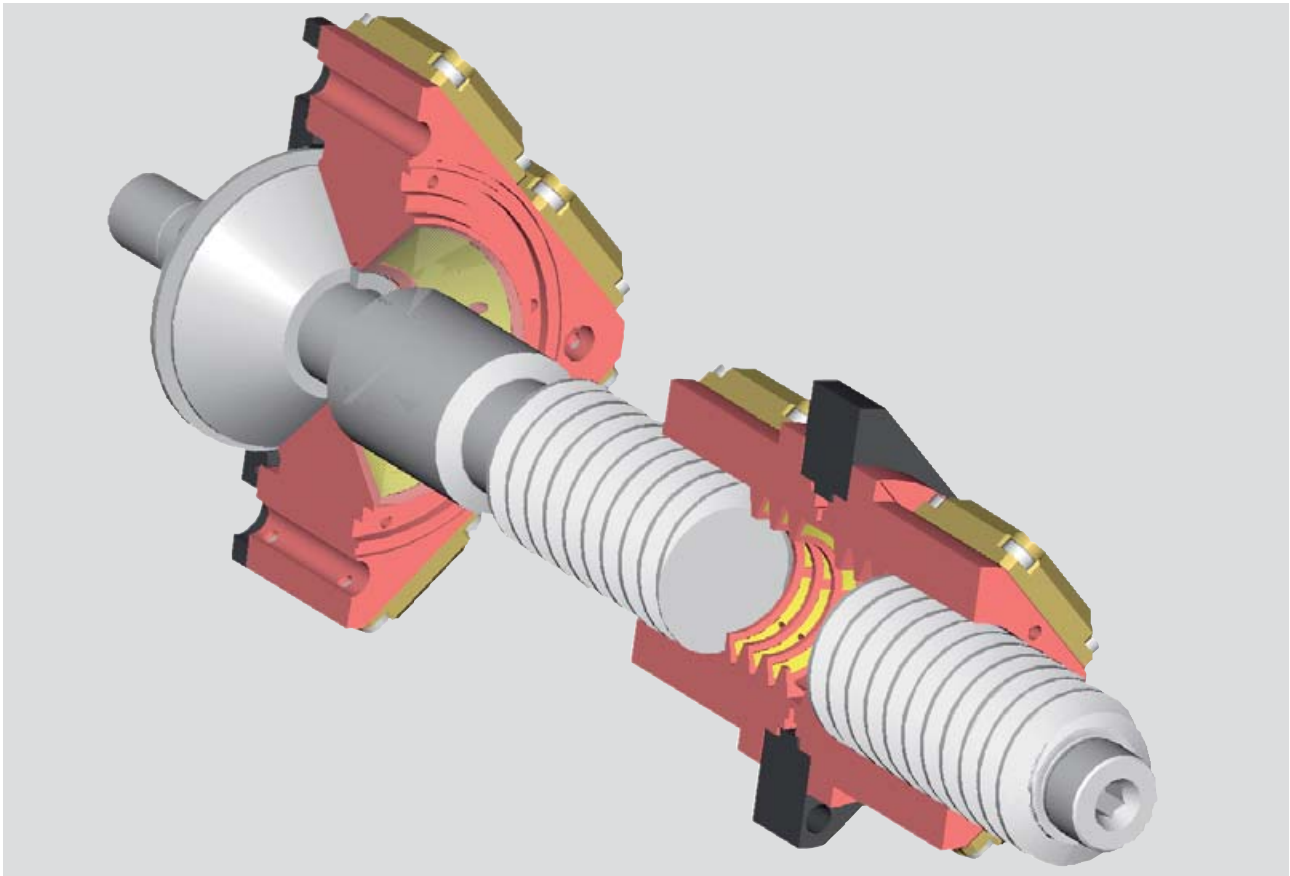
6. Die maximale Schlittengeschwindigkeit

Die maximale Geschwindigkeit mit dem hydrostatischen Gewindetrieb beträgt

- mit 10 mm Steigung ca. $40 \text{ m}/\text{min}$,
- mit 20 mm Steigung bis $80 \text{ m}/\text{min}$,
- mit 30 mm Steigung bis $120 \text{ m}/\text{min}$.

Bei rotierender Spindel ist die maximale Drehzahl durch die kritische Drehzahl begrenzt, jedoch kaum bei Verwendung einer rotierender Mutter.

Die maximale Schlittengeschwindigkeit des Linearmotors wird bei Nennbelastung mit 60 bis $200 \text{ m}/\text{min}$ Beschleunigungen angegeben. Begrenzt wird sie bei Benutzung des Linearmotors allerdings durch die sichere Beherrschung der kinetischen Energie des Schlittens auch im Falle eines Stromausfalls, die Zerstörungsgefahr bei einem Crash sowie durch die mögliche Unfallgefahr. ■



7. Zweckmäßigkeit hoher Beschleunigungen und Geschwindigkeiten.

Bei den meisten Werkzeugmaschinen werden hohe Schlittengeschwindigkeiten und Beschleunigungen nicht während dem Bearbeitungsprozess, sondern nur zur Reduktion der Nebenzeiten benötigt.

Reduzierte Nebenzeiten durch höhere Beschleunigung über 10 m/s^2 sind bei durchschnittlichen Bearbeitungszeiten nur wenig sinnvoll. Höhere Beschleunigungen sollten aber nur dann vorgesehen werden, wenn diese für den Bearbeitungsprozess benötigt werden oder bei extrem kurzen Bearbeitungszeiten.

Sinnvoll ist die Anhebung der Geschwindigkeit des Schlittens von 20 auf 40 m/min. Bei einer weiteren Anhebung von 40 auf 60 m/min sollte ein regelmäßiger Eilweg von ca. 400 mm durchfahren werden, eine Erhöhung auf 80 m/min scheint nur bei regelmäßigen Eilwegen größer ca. 800 mm zweckmäßig.

Mit dem hydrostatischen Gewindetrieb sind 20 m/s^2 Beschleunigung und 120 m/min Geschwindigkeit erreichbar. Bei den meisten Werkzeugmaschinen ist es sinnvoll, mit leicht geringeren Geschwindigkeiten und Beschleunigungen bessere Bearbeitungsergebnisse, höhere Lebensdauer, geringeren Wärmegang und reduzierte Wartungs- und Stromkosten zu erreichen. ■

8. Energiebedarf, Wärmeeintrag, Kühlung.

Bei den meisten Bearbeitungen wird während den Hauptzeiten, welche den Großteil an der Zeit beanspruchen, eine geringe Schlittengeschwindigkeit von ca. 0,1 - 0,4 m/min und eine hohe Vorschubkraft benötigt.

Die Kühlleistung unseres Vergleichs-Linearmotors beträgt auch bei diesen niedrigen Vorschubgeschwindigkeiten mit 6.600 N Nennkraft nach Herstellerangaben **5,4 kW**. Zur Rückkühlung dieser Leistung wird nochmals eine Leistung des Kälteaggregates von ca. **2,1 kW** benötigt. Insgesamt werden also ca. **7,5 kW** verbraucht, **wobei nur eine Vorschubkraft von 6.600 N erreicht wird!**

Ein typischer hydrostatischer Gewindetrieb für höhere Geschwindigkeiten benötigt einen Ölstrom von ca. 2,0 l/min bei z.B. 50 bar Pumpendruck. Für den Antrieb der Druckpumpe und die Luft-Ölwärmetauscher wird eine Leistung von ca. **0,45 kW**, für den Servomotor bei 400 mm/min Vorschubgeschwindigkeit, 10.000 N Vorschubkraft und 50% Wirkungsgrad werden **0,14 kW** benötigt. Es ergibt sich also ein Leistungsbedarf von ca. **0,6 kW**.

Eine viel höhere Vorschubkraft, aber eine um 6,9 kW reduzierte Verlustleistung gegenüber dem Linearmotor!

Bei durchschnittlicher Nutzung werden für nur eine einzige Achse bei einem Strompreis von 0,08 Euro/kWh und 2.000

Betriebsstunden/Jahr hieraus Mehrkosten von voraussichtlich 750 Euro/Jahr, **bei Dreischichtbetrieb 2.250 Euro/Jahr entstehen**. Werden diese Kosten mit einem Satz von 12% für Zins und Abschreibung kapitalisiert, so sind diesen Kosten Investitionen in Höhe von **6.250 Euro bzw. 18.750 Euro pro Achse** gleichzusetzen. Selbst mit wenigen Maschinen mit Linearmotoren sind zusätzliche Kosten für die Stromversorgung, z.B. für eine separate Trafostation, wahrscheinlich. Bei einer vergleichenden Betrachtung sind also unbedingt die Energiekosten mit zu berücksichtigen. Der Linearmotor muß normalerweise immer unter dem Schlitten angeordnet werden. Die enorme Heizleistung des Motors muß durch Wasserkühlung und Isolierung vom Schlitten abhalten werden, da sonst der Wärmeeintrag zu inakzeptablen Ungenauigkeiten führt.

Der Servomotor des hydrostatischen Gewindetriebes ist dagegen in der Regel außerhalb der Achse angebracht, so daß der Wärmeübergang auf die Achse minimal ist. Damit genügt für die Motorkühlung in der Regel ein Fremdlüfter, nur in Sonderfällen ist eine Wasserkühlung erforderlich. Der Energieeintrag in das Öl durch Pumpe und Reibung der Hydrostatikmutter beträgt selbst bei schnellen Schlittenbewegungen typischerweise nur ca. 60 bis 120 Watt und wird überwiegend mit dem Öl ausgetragen. Das Öl temperiert und säubert die Gewindespindel kontinuierlich. Nur bei hohen Schlittengeschwindigkeiten und/oder hohen Anforderungen an die thermische Stabilität der Maschine wird ein Luft-Ölwärmetauscher benötigt. ■

9. Vergleich zum Kugelgewindetrieb

Mit Kugelgewindetrieben sind speziell aufgrund der Kugelumlenkung bei akzeptabler Lebensdauer keine sehr hohen Beschleunigungen und auch keine extremen Drehzahlen und oszillierenden Bewegungen möglich.

Der Kugelgewindetrieb hat nur minimale Dämpfung und verschleißt, wodurch positionsabhängige Unterschiede bei Reibung, Steife und Umkehrsprung entstehen.

Im Crash-Fall können auf den Laufbahnen Kugeleindrücke entstehen, welche den vorzeitigem Austausch der Kugelgewindespindel erzwingen.

Durch die Vorspannung der Mutter tritt bei Umkehr der Bewegungsrichtung ein deutlicher Momentensprung auf. Das Reibmoment von Kugelgewindetrieben variiert durch den Kugelein- und -auslauf. Aufgrund dieses Momentensprunges und seiner unterschiedlichen Größe ist eine präzise Lageregelung, das definierte Verfahren kleiner Wege und das Fahren sehr geringer Geschwindigkeiten mit dem Kugelgewindetrieb nur bedingt möglich.

Alle diese Nachteile weist der hydrostatische Gewindetrieb nicht auf! Die Beschleunigung ist bei der Hydrostatik

nicht eingeschränkt und die Hydrostatikmutter kann für jede Anwendung durch Wahl von Ölviskosität, Druck und Durchfluß optimal ausgelegt werden. Der hydrostatische Gewindetrieb ist verschleißfrei, langsame Bewegungen (auch unter hoher Last und oszillierende Bewegungen) sind bei höchsten Frequenzen und Schwinggeschwindigkeiten kein Problem. Die Dämpfung von Wegschwingungen durch die Hydrostatikmutter ist hervorragend.

Die Crash-Sicherheit ist weit höher wie die des Kugelgewindetriebes, jedoch kann der hydrostatische Gewindetrieb durch Crash beschädigt werden.

Wie Messungen des Instituts „Werkzeugmaschinen und Betriebstechnik“ an der Universität Karlsruhe gezeigt haben, ist die Steife des hydrostatischen Gewindetriebes deutlich höher als die von vergleichbaren Kugelgewindetriebes und verändert sich nicht durch Verschleiß. Trotzdem ist die Reibung des hydrostatischen Gewindetriebes sehr klein und zudem proportional der Drehgeschwindigkeit, wodurch bei Umkehr der Richtung keinerlei Momentensprung auftritt. Werden an den Enden des Gewindetriebes ebenfalls hydrostatische Lager eingesetzt und der Schlitten hydrostatisch geführt, so hat der Servomotor auch bei geringen Geschwindigkeiten und bei Umkehr der Bewegungsrichtung keinerlei Reibung zu überwinden.

Das hydrostatische Antriebs- und Führungssystem erlaubt also auch das schrittweise und oszillierende Verfahren des Schlittens um Bruchteile von µm und extrem langsames Verfahren, natürlich unabhängig von der Belastung. ■

10. Vertikale Achsen, Stromausfall.

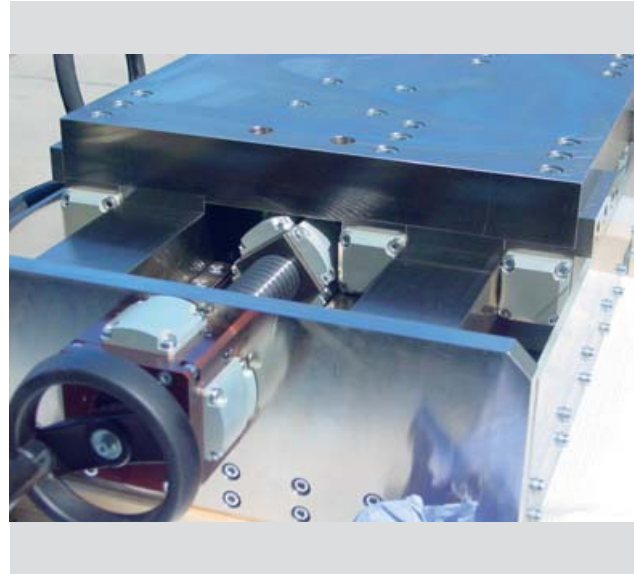
Die Abbremsung des Linearmotors auch mit Bremswagen ist bei Ausfall des Stroms oder des Motors problematisch.

Mit der integrierten Bremse im Servomotor dagegen können über den hydrostatischen Gewindetrieb **viel höhere Bremskräfte** aufgebracht werden.

Zudem hat der Gewindetrieb mit normaler Steigung (Nenngröße 50, 10 mm Steigung) gegenüber dem Kugelgewindetrieb bei abgeschalteter hydrostatischer Ölversorgung den Vorteil der Selbsthemmung. Bei dynamischen vertikalen Achsen ohne Gewichtsausgleich benötigt der Linearmotor zum Halten der Masse viel höhere Energiemengen wie der Antrieb mit Gewindetrieb (siehe Punkt 8). ■

11. Führungen.

Die Führungen von Linearmotorachsen sind **durch hohe Magnetkräfte stark belastet**, die Kräfte wirken außerdem auch bei abgeschalteter Maschine. Diese Belastung variiert und beträgt ein Mehrfaches der maximalen Motorkraft, im Vergleich ca. 40 kN. In Verbindung mit hoher Geschwindigkeit und Beschleunigung ist die Lebensdauer von Wälzführungen hierbei reduziert.



Deshalb werden für Linearmotorschritten anstelle von Wälzführungen vielfach hydrostatische Führungen eingesetzt. Wie der Gewindetrieb arbeiten hydrostatischen Führungen **absolut verschleißfrei** und haben eine 20 bis 1.000-fach geringere, geschwindigkeitsproportionale und belastungsunabhängige Reibkraft.

Bei Umkehr der Bewegungsrichtung gibt es **keinerlei Kraftsprung** durch die Führung. So sind, bei entsprechender Qualität der Antriebe und Steuerungen, mit „vollhydrostatisch“ ausgerüsteten Kreuzschlitten Kreisbewegungen mit Bahnabweichungen im Bereich von 0,1 µm möglich, wodurch vollkommen neue Maschinenkonzepte möglich sind, z.B. Lehrenbohrwerke, Koordinatenschleifmaschinen. ■

12. Besonderheiten von Linearmotoren und hydrostatischen Gewindetrieben.

Magnetische Späne werden von den starken Magnetfeldern der Linearmotorteile angezogen und können dann später Störungen verursachen. Deshalb sind für Linearmotoren bessere Abdeckungen notwendig.

Die Montage, Wartung und der Tausch des in die Maschine integrierten Linearmotors ist wesentlich aufwendiger als beim außen angebauten Servomotor, welcher **ohne Demontage der Achse** getauscht werden kann.

Durch die starken Magnetfelder des Linearmotors sind **zusätzliche Maßnahmen zum Schutz** von bestimmten Personengruppen (zum Beispiel mit Herzschrittmachern, Metallimplantaten oder Schwangere) und von Gegenständen, welche durch Magnetfeldern beeinflussbar sind (Datenträger, Uhren, Scheckkarten) erforderlich.

Auch bei der Montage bereiten die hohen permanent wirkenden Magnetkräfte Probleme: Lieferanten der Motoren empfehlen, bei der Montage stets einige nicht magnetische Keile bereitzuhalten, damit im Falle eines Unfalls die Motorteile auseinander getrieben werden können!

Der Maschinenhersteller ist zudem an den Hersteller des Linearmotors gebunden, woraus vielfach auch die Bindung an nur einen Steuerungshersteller resultiert.

Das für den Betrieb des hydrostatischen Gewindetriebs notwendige Öl muß in das Aggregat zurückgeführt werden. Entweder wird es von einer mit Abstreifern versehenen Mutter in einer Leitung zurückgeführt oder fließt zusammen mit dem Öl der hydrostatischen Führung in den Tank zurück. Für die Führung, den Gewindetrieb und die Gewindetrieblager kann das gleiche Öl mit gleichem Druck vom selben Aggregat verwendet werden, welches auch noch für andere Hydraulik- oder Schmieraufgaben verwendet werden kann.

Maschinen müssen für den Einsatz von Linearmotoren komplett neu entwickelt werden.

Hydrostatische Gewindetriebe können mit geringem Aufwand anstelle von Kugelgewindetrieben eingesetzt werden. Berücksichtigt man die etwas größere Mutter des hydrostatischen Gewindetriebs bei der Neukonstruktion, so kann der Kunde einen Kugelgewindetrieb oder optional den hydrostatischen Gewindetrieb wählen. ■

13. Preisvergleich.

Ein korrekter Preisvergleich ist von den Details abhängig. Gegenüber dem Kugelgewindetrieb entstehen bei dem hydrostatischen Gewindetrieb Mehrkosten durch den Gewindetrieb und geringfügig aus dem Aggregat und der Abdeckung.

In den meisten Fällen ist der hydrostatische Gewindetrieb mit Servomotor deutlich günstiger als der Linearmotor, welcher vor allem durch die Kosten für Motorteile, Kühlplatten, Peripherie, Linearmaßstab, aufwendige Steuerung, große Kälteaggregate und die Um- oder Neukonstruktion der Maschine viel höhere Kosten verursacht.

Die meisten bisher eingesetzten Gewindetribe haben **die Kosten für die Maschinennutzer deutlich gesenkt, da der hydrostatische Gewindetrieb im 3-Schichtbetrieb auch nach über 5 Jahren neuwertig ist**, wogegen ein Kugelgewindetrieb unter Umständen in diesem Zeitraum schon mehrmals getauscht worden wäre. Bei langen Verfahrgängen wird der Linearmotor durch die Permanentmagnete zusätzlich teurer. ■

14. Anwendungen

Neun Jahre nach der ersten Auslieferung werden heute ca. 250 Gewindetribe im Jahr als Standard in vielen wichtigen europäischen Nocken-, Kurbenwellenschleif-, Universal-schleifmaschinen, Ultrapräzisions- und Zahnradschleifmaschinen eingesetzt.

Unrundbearbeitungen mit über 60 Hz und 3.000 U/min am Werkstück wurden realisiert. Gewindetribe mit 340 kN Axialkraft und 3,5 m Länge bearbeiten in Räummaschinen Innenverzahnungen für Automatikleitungen.

Im 'Machine Tool Resarch Center' in Florida steht eine Fräsmaschine, welche mit hydrostatischen Gewindetrieb und Führungen ausgestattet ist.

Das Fraunhofer IPT Aachen setzt hydrostatische Gewindetribe, Fest- und Loslager sowie hydrostatische Führungen in einer Ultrapräzisions-Maschine ein. ■

15. Zusammenfassung.

Kugelgewindetribe sind von der Positioniergenauigkeit, Steife, Beschleunigung, Geschwindigkeit, Belastbarkeit und von der Lebensdauer eingeschränkt.

Im breiten Anwendungsbereich bei Bearbeitungs- und Eilganggeschwindigkeiten bis 80 m/min ist der hydrostatische Gewindetrieb aus technischer und wirtschaftlicher Sicht dem Linearmotor vorzuziehen.

Die Alternative zu Kugelgewindetrieb und Linearmotor ist der hydrostatische Gewindetrieb. Er erreicht Geschwindigkeiten bis 120 m/min, Beschleunigt wie ein Linearmotor, hat aber einen 10-fach geringeren Energieverbrauch bei für Werkzeugmaschinen typischen Vorschub.

Bei gleicher Beschleunigung bietet der hydrostatische Gewindetrieb im Vergleich mehrfache Vorschubkräfte. Er hat eine exzellente Dämpfung, ein Linearmaßstab ist nicht zwingend erforderlich.

Die dynamische Steife des Linearmotors ist mit 30 bis 120 N/ μ m sehr niedrig. Die Steife der Mutter eines hydrostatischen Gewindetriebs Nenngröße 50 mm und des Festlagers liegt bei je 1.200 - 2.000 N/mm, die dynamische Steife ist noch höher. Die für die hydrostatische Mutter erforderlichen Ölströme von 1-2 l/min können mit geringen Aufwand zurückgeführt werden.

Mit hydrostatischen Führungen können beide Systeme sehr genau positionieren, der Linearmotor aber hat Probleme beim Halten der Position bei Stößen und dynamischen Belastungen.

Die enormen Verlustleistungen von Linearmotoren führen zu sehr hohen Temperaturen unter dem Schlitten, er muss mit großen und teuren Kühlaggregaten gekühlt werden.

Metallspäne werden durch die Permanentmagneten festgehalten und können Primär- und Sekundärteile beschädigen. Die selben Späne auf der gehärteten unmagnetischen Gewindespindel werden dagegen weggeschoben.

Die hydrostatische Mutter säubert und temperiert den Trieb kontinuierlich.

Die Kräfte des Permanentmagneten vom Linearmotor auf die Wälzführungen führen zu vorzeitigem Verschleiß, wenn keine hydrostatischen Führungen eingesetzt werden.

Bei der Montage gehen von den Linearmorterteilen erhebliche Gefahren aus.

Ein Servomotor eines hydrostatischen Gewindetriebs ist einfach und mit deutlich weniger Aufwand auszutauschen als ein defekter Linearmotor. Mit Gewindetriben können Motoren und Steuerungen verschiedener Hersteller an der gleichen Maschine eingesetzt werden.

Abgesehen von einigen HSC-Maschinen, bei denen hohe Geschwindigkeiten und Beschleunigungen benötigt werden, ermöglichen Werte der Beschleunigung über 10 m/s² nur minimale Zeitersparnisse, Extremwerte der Geschwindigkeit größer ca. 20 bis 40 m/min nur kleine Zeitersparnisse (diese gesparte Zeit rechtfertigt vielfach nicht den Mehraufwand für geeignete Maschinen, insbesondere den für höhere Beschleunigungen).

Die Euphorie, mit der die elektrischen Linearmotoren angepriesen werden, erscheint angesichts des oben geschilderten Sachverhaltes jedenfalls nicht verständlich. ■

Wir empfehlen deshalb, als Alternative zum Linearmotor auch den klassischen Vorschubantrieb mit Gewindetrieb und hydrostatischer Mutter und auch hydrostatischem Axiallager für die Gewindespindel in Betracht zu ziehen!

Sprechen wir über Verbesserungen und technische Innovationen durch den Einsatz von Hyprostatik.



Das Team von Hyprostatik Schönfeld GmbH



HYPROSTATIK® Schönfeld GmbH

Felix-Hollenberg-Str. 3 · 73035 Göppingen

Tel.: +49 (0) 71 61/ 96 59 59-0 · Fax -20

E-Mail: info@hyprostatik.de

www.hyprostatik.de