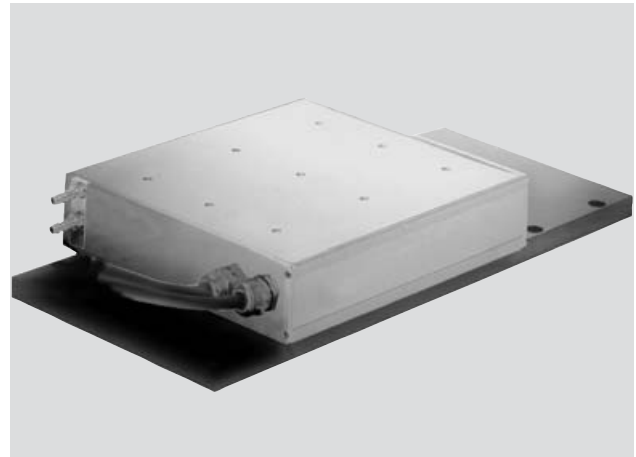
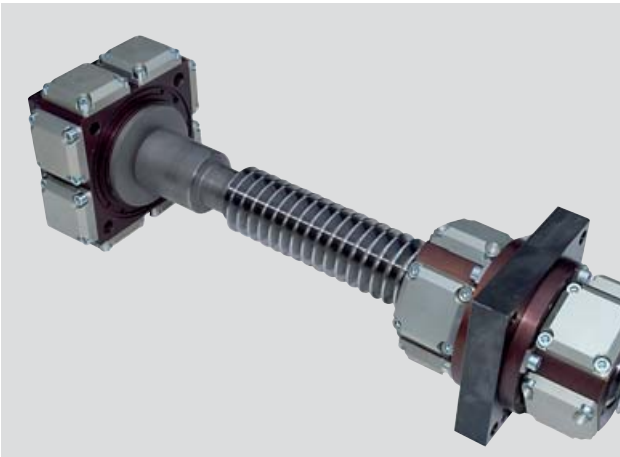


Hydrostatischer Gewindetrieb

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.

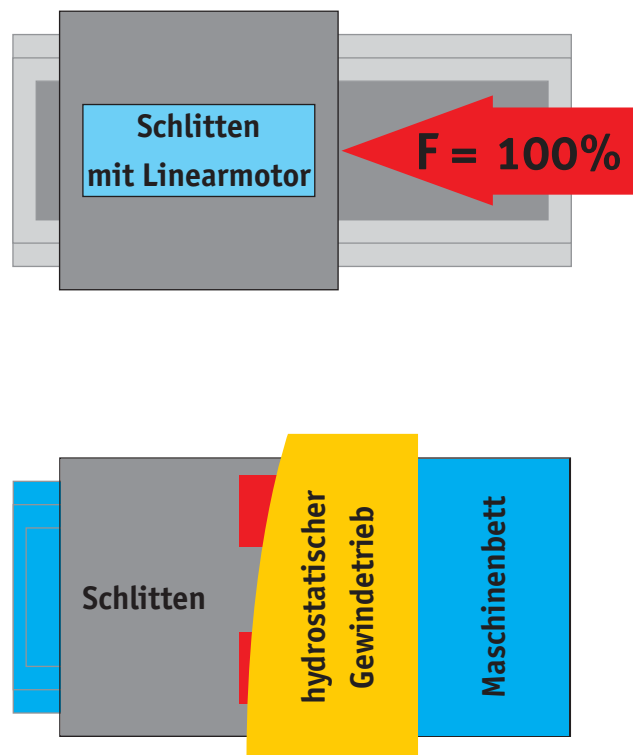
Der Servomotor muß zusätzlich sein Eigenträgheitsmoment und das des Gewindetriebs mitbeschleunigen. Trotzdem können moderne Servomotoren 500 bzw. 1000 kg schwere Schlitten mit Verfahrlänge 500 bzw. 1000 mm mit 16 bis $34 \text{ m}/\text{s}^2$ beschleunigen.

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. ■



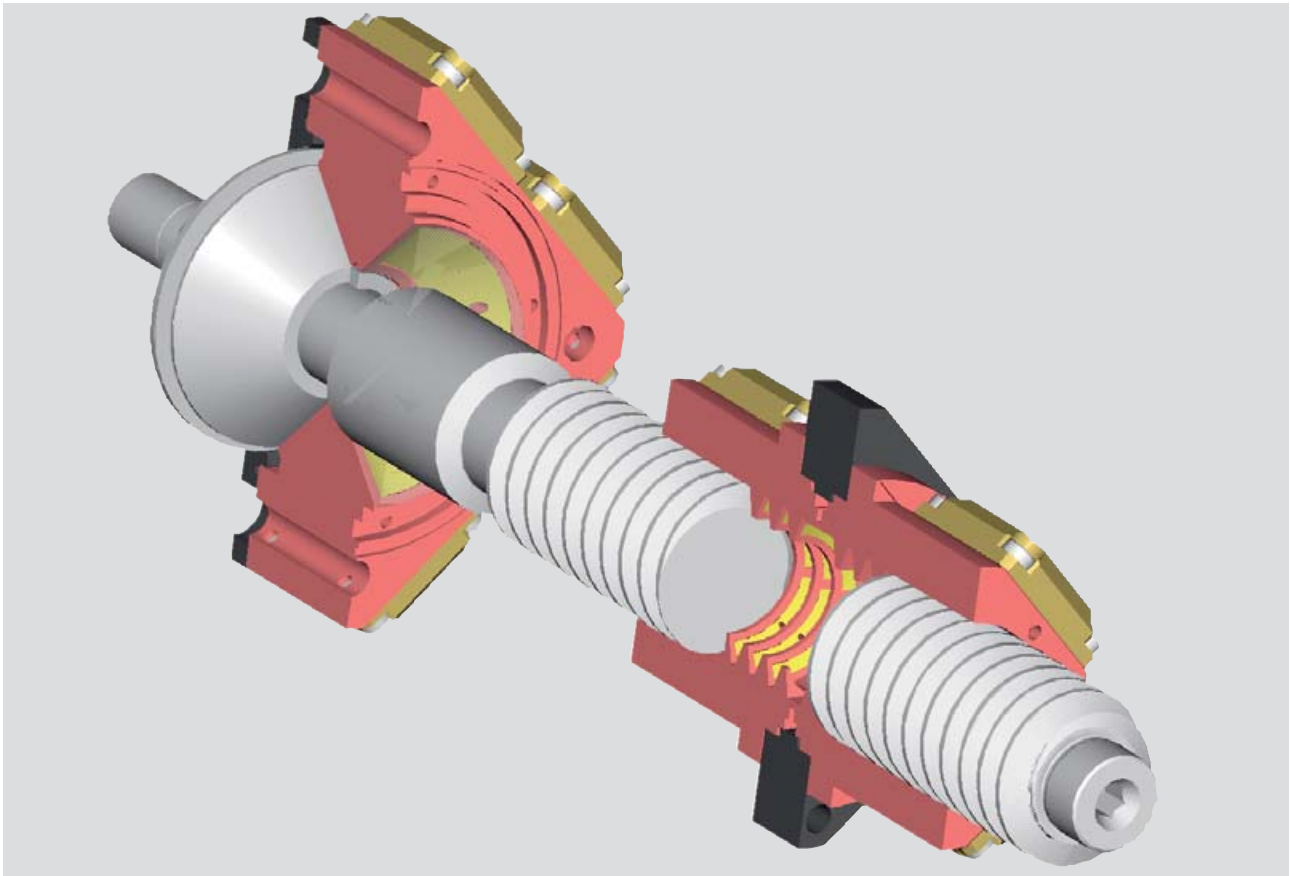
6. Die maximale Schlittengeschwindigkeit

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 Kugelgewindetrieben 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.

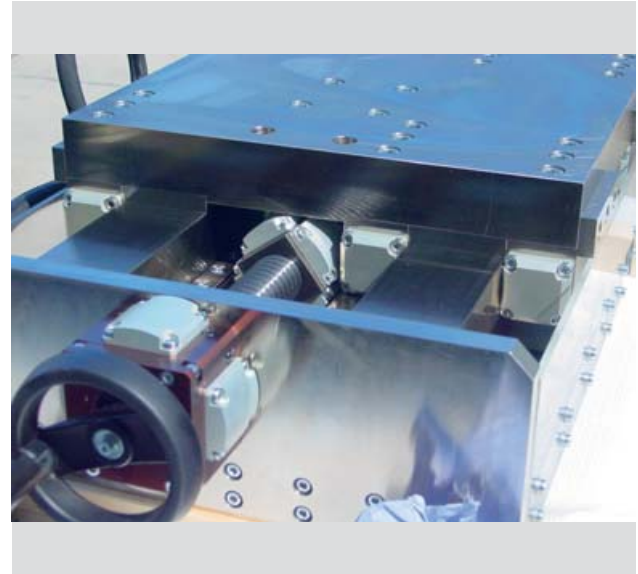
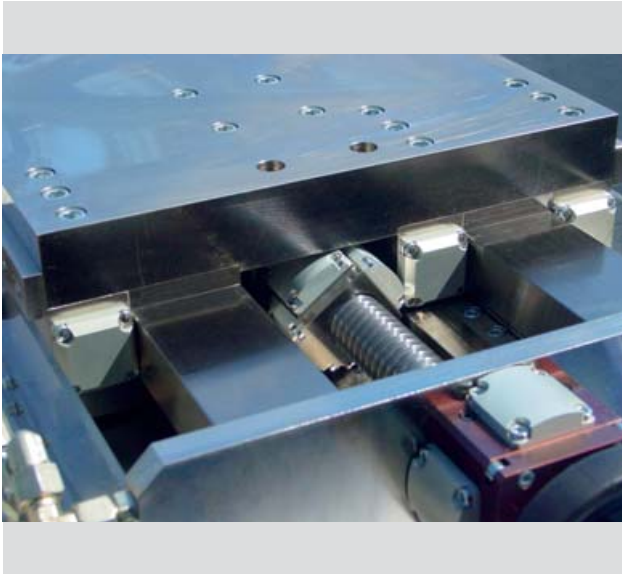
Die Abbremsung des Linearmotors auch mit Bremswagen ist bei Ausfall des Stroms oder des Motors problematisch.

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 Gewindtrieb 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 Gewindtrieben.

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 Gewindtriebs 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 Gewindtrieb und die Gewindtriebblager 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 Gewindtriebe können mit geringem Aufwand anstelle von Kugelgewindtrieben eingesetzt werden. Berücksichtigt man die etwas größere Mutter des hydrostatischen Gewindtriebs bei der Neukonstruktion, so kann der Kunde einen Kugelgewindtrieb oder optional den hydrostatischen Gewindtrieb wählen. ■

13. Preisvergleich.

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

In den meisten Fällen ist der hydrostatische Gewindtrieb 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 Automatikgetriebe.

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 Linearmotorteilen 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!