

Technische  
Informationen

**HYPROSTATIK®**

## Hydrostatische Spindellagerungen



# Inhaltsverzeichnis

1.	■ <b>Vor- und Nachteile hydrostatischer Spindellagerungen</b>	<b>4</b>
1.1	Vorteile hydrostatischer Spindellagerungen	4
1.2	Konsequenzen bei Verwendung hydrostatisch gelagerter Spindellagerungen	4
2.	■ <b>Vorteile von hydrostatischen Spindellagerungen mit PM-Reglern</b>	
2.1	Mehrfach höhere Funktionssicherheit gegenüber Kapillarrohrsystemen	4
2.1.1	Minimalspaltgröße im Radiallager bei Belastung der Spindel	4
2.1.2	Reduktion der Minimalspaltgröße im Lager bei Belastung durch Ölerwärmung	5
2.2	Wesentlich höhere Belastbarkeit durch Einsatz von PM-Reglern	5
2.3	Nahezu uneingeschränkte Belastbarkeit durch Einsatz unserer PM-Regler	6
2.4	Mehrfach reduzierte Verlustleistung und/oder weit höhere Drehzahlen möglich	6
2.5	Erwärmung aufgrund der Reibleistung bei hohen Drehzahlen, Kühlung des Öls	6
3.	■ <b>Hydrostatische Schleifspindellagerungen</b>	<b>7</b>
3.1	Motorspindel üblicher Konzeption	7
3.2	Hydrostatische, direkt angetriebene Schleifspindellagerung	7
3.3	Abbremsen der Schleifspindel bei Stromausfall	8
4.	■ <b>Physikalische Zwänge bei der Auslegung hydrostatischer Spindellagerungen</b>	<b>8</b>
4.1	Optimierungsmöglichkeiten für minimale Verlustleistung	8
4.2	Optimierungsmöglichkeiten für minimale Verlustleistung und bestmögliche Schwingungsdämpfung	8
5.	■ <b>Lagerausführungen</b>	<b>9</b>
5.1	Abdichtung	9
5.2	Belüftung der Spindellagerungen	10
6.	■ <b>Anforderungen zur Versorgung der hydrostatischen Lagerungen</b>	<b>10</b>
6.1	Luftabscheidung	10
6.2	Filterung des Öls	10
6.3	Kühlung des Öls	10
6.4	Ölversorgung bei Stromausfall	11
6.5	Druckpumpen	11
7.	■ <b>Hydroaggregate</b>	<b>11</b>
8.	■ <b>Beispiele ausgeführter hydrostatischer Lagerungen</b>	<b>12</b>
8.1	Motorspindel	12
8.2	Riemenspindel	12
8.3	Motor-Werkstückspindel	13
8.4	Werkstückspindel mit Direktantrieb	13
8.5	Nockenschleifspindel	14
8.6	Scheibenlagerung für beidseitiges Schleifen	14
8.7	Drehmaschinen-Motorspindel	15
8.8	Drehmaschinen Hauptspindel	15
8.9	HSK-Frässpindel	16
8.10	Mittenlagerung für Drehmaschinen	16
8.11	Sonder-Hydroaggregate für Spindeln	17

## 1. Vor- und Nachteile hydrostatischer Spindellagerungen

### 1.1 Vorteile hydrostatischer Spindellagerungen:

- Verschleißfreiheit;
  - exzellente Dämpfung;
  - hohe Rundlaufqualität, nicht durch Verschleiß beeinträchtigt;
  - geringe Lagererwärmung bei entsprechend hochwertiger Kühlung des Öls außerhalb der Lagerung durch Wärmeabfuhr aus der Lagerung mit dem Öl;
  - geringer Wärmeeintrag in die Maschine durch die Lagerung, wodurch thermisch bedingte Verlagerungen klein sind;
  - Überwachung der Lagerung durch Kontrolle der Taschendrucke möglich.
- Diese Vorteile werden weitgehend auch durch mittels Kapillaren geregelte hydrostatische Lagerungen erreicht.
- Durch unser System HYPROSTATIK® mit unseren patentierten PM-Reglern (Progressiv-Mengen-Reglern) werden gegenüber Lösungen mit Kapillaren zusätzlich folgende Vorteile erreicht:
- Mehrfach höhere Steife der hydrostatischen Lager;
  - mehrfach geringere Reib- und Gesamtverlustleistung durch mögliche Verwendung niedrigstviskoser Öle und Wasser oder Emulsionen;
  - höhere, durchaus verdoppelte Belastbarkeit durch hohe mögliche Ausnutzung des Pumpendruckes;
  - praktisch kalte, sehr temperaturstabile Lagerung aufgrund der verminderten Reibleistung bei entsprechend hochwertiger Kühlung des Öls außerhalb der Lagerung durch Wärmeabfuhr aus der Lagerung mit dem Öl;
  - kein Wärmeeintrag in die Maschine durch die Lagerung, wodurch thermisch bedingte Verlagerungen unterbunden werden;
  - vielfach höhere Dämpfungswerte im unteren und mittleren Frequenzbereich durch Computeroptimierung mit ausgereiften Berechnungsprogrammen;
  - uneingeschränkte (Dauer-) Belastbarkeit auch bei höchsten Drehzahlen;
  - drehzahlunabhängige Lagereigenschaften aufgrund der geringen Ölerwärmung. ■

### 1.2 Konsequenzen bei Verwendung hydrostatisch gelagerter Spindellagerungen:

- Insbesondere bei schnelllaufenden Spindellagerungen durch das zusätzlich benötigte Hydroaggregat mit Ölrückkühler deutlich höhere Anschaffungskosten;
- schwierige optimale Auslegung;
- nur bei Lagerungen mit Kapillaren oder vergleichbaren Regelsystemen, nicht jedoch mit PM-Reglern, bei höheren Drehzahlen Totalzerstörungsgefahr schon bei mittleren Drehzahlen. ■

## 2. Vorteile hydrostatischer Spindellagerungen System „Hyprostatik®“ (mit PM-Regler)

### 2.1 Mehrfach höhere Funktionssicherheit gegenüber Kapillarrohrsystemen.

Bei Verwendung von Kapillaren zur Regelung des Ölstromes für die Versorgung der Hydrostatiktaschen ist der Ölstrom durch die Kapillare proportional dem Differenzdruck über diese Kapillare. Der Ölstrom sinkt also bei konstantem Pumpendruck mit steigendem Druck in der jeweiligen Hydrostatiktasche. Hierdurch wird gegenüber einer Versorgung der Taschen mit einem konstanten Ölstrom bei Belastungswechsel eine größere Veränderung der Spalthöhe notwendig, um die zur Belastungsaufnahme erforderliche Änderung des Taschendruckes zu erreichen.

Bei Einsatz unserer PM-Regler dagegen wird den Hydrostatiktaschen bei steigendem Taschendruck ein höherer Öl-

strom zugeführt. Hierdurch wird für dieselbe Änderung des Taschendruckes eine geringere Änderung der Spalthöhe wie bei konstantem Ölstrom und eine sehr viel geringere wie bei Verwendung von Kapillaren benötigt. Bei entsprechender Dimensionierung unseres PM-Reglers kann theoretisch eine nahezu unendlich große Steife erreicht werden.

Durch Einsatz unseres PM-Reglers anstelle von Kapillaren wird also eine vielfach höhere Steife und aufgrund dessen auch eine vielfach geringere Verlagerung wie mit Kapillaren erreicht. Realistisch sinnvoll ist eine Steifeerhöhung um den Faktor ca. vier. ■

#### 2.1.1 Minimalspaltgröße im Radiallager bei Belastung der Spindel.

Aufgrund der gekrümmten Form des kreisringförmigen Hydrostatikspaltes von Radiallagern wird der Spalt bei Verlagerung der Spindel in der Lagerbohrung nur direkt „unter“ der Belastung entsprechend der Spindelverlage-

rung verringert. Mit zunehmendem Winkel zur Belastungsrichtung wird die Spalthöhenreduktion entsprechend der Cosinus-Funktion kleiner. Bei Belastung eines Vier-Taschen-Radiallagers in Richtung auf den Trennsteg zwischen

zwei Hydrostatiktaschen bleibt der Spalt dieser Taschen beim Winkel  $90^\circ$  zur Belastungsrichtung durch die Spindelverlagerung unverändert. Gegenüber Hydrostatiktaschen an ebenen Flächen wird bei dieser gekrümmten Form des Hydrostatikspaltes, um eine vergleichbare Vergrößerung des Abflusswiderstandes zu erreichen, eine deutlich höhere Verlagerung erforderlich.

Bei Versorgung der Taschen von hydrostatischen Radiallagern über Kapillaren werden also aufgrund der gekrümmten Spaltform und des im Abschnitt 2. beschriebenen abnehmenden Ölstromes in die belasteten Taschen schon bei mittleren Belastungen große Verlagerungen der Spindel erforderlich. Vielfach kann eine aufgrund des Pumpendruckes und der Taschenflächen eigentlich mögliche

Belastung nicht aufgenommen werden, da die Spindel vor einer ausreichenden Vergrößerung des Abflusswiderstandes der Hydrostatikspalte an der Lagerbuchse zur Anlage kommt. Verschärft wird diese Problematik noch durch die Ölerwärmung bei Spindelrotation.

Bei Versorgung der Hydrostatiktaschen über PM-Regler wird aufgrund des ansteigenden Ölstromes in die belasteten Taschen eine wesentlich geringere Verlagerung erreicht. Hierdurch wird auch der Einfluss des kommaförmigen Hydrostatikspaltes reduziert. Mit dem PM-Regler ist es aufgrund dessen immer möglich, einen großen Anstieg des Druckes in den belasteten Taschen bei ausreichendem minimalen Abstand zwischen Spindel und Lagerbuchse zu erreichen. ■

### 2.1.2 Reduktion der Minimalspaltgröße im Lager bei Belastung durch Ölerwärmung.

Die Reibleistung ist umgekehrt proportional der Spalthöhe und steigt mit dem Quadrat der Spindeldrehzahl an. Bei über Kapillaren versorgten Hydrostatiktaschen wird, wie oben erläutert, bei Belastung die Spalthöhe der belasteten Taschen stark reduziert, wodurch die Reibleistung in diesen Taschen stark ansteigt. Diese stark gestiegene Reibleistung erwärmt die reduzierte, durch diese Taschen fließende Ölmenge, wodurch die Öltemperatur in den Spalten der belasteten Taschen sehr stark ansteigt und die Viskosität außerordentlich abnimmt. Die reduzierte Ölviskosität muß bei unveränderter Belastung durch eine größere Verlagerung der Spindel kompensiert werden. Mit steigender Drehzahl, also abfallender Viskosität des Öls in den belasteten Taschen, wird also die Spindelverlagerung immer größer. Bei genügend großer Belastung und Spindeldrehzahl wird die Spindelverlagerung schließlich so groß, dass es zum Kontakt zwischen Spindel und Lagerbohrung kommt und Lagerung beschädigt bzw. zerstört wird. Dieser Zusammenhang, welcher in der Vergangenheit

vielfach nicht erkannt wurde, ist die Ursache für den Ausfall vieler hydrostatischer Spindellagerungen.

Werden die Hydrostatiktaschen über PM-Regler versorgt, so wird in die belasteten Taschen eine vergrößerte Ölmenge gefördert. Die Verlagerung der Spindel und damit die Reibleistung steigt bei Belastung in weit geringerem Maße an wie bei über Kapillaren versorgten Taschen. Damit erwärmt die aufgrund der reduzierten Spaltgrößen der belasteten Hydrostatiktaschen vergrößerte Reibleistung eine ebenfalls vergrößerte Ölmenge. Bei entsprechender Dimensionierung der PM-Regler wird erreicht, dass der Anstieg des Ölstromes in die belasteten Taschen gleich oder größer wie der Anstieg der Reibleistung in diesen Taschen ist. Die Öltemperatur in den belasteten Taschen wird dadurch auch bei hohen Belastungen gegenüber der unbelasteten Lagerung nicht vergrößert und damit die Ölviskosität nicht reduziert, u.U. sogar vergrößert. Damit besteht bei Verwendung unseres PM-Reglers die für Kapillaren erkannte Zerstörungsgefahr nicht. ■

## 2.2 Wesentlich höhere Belastbarkeit durch Einsatz von PM-Reglern.

Der PM-Regler benötigt einen geringen Differenzdruck von maximal 10% des Pumpendruckes. Damit ist ohne Reserve ein maximaler Taschendruck von 90% des Pumpendruckes möglich. Da hierbei der Öldurchfluss durch die belasteten Taschen sehr groß – z.B. doppelt so groß wie bei nichtbelasteter Lagerung – ist, ergibt sich trotz des hohen Taschendruckes eine ausreichend große Spaltgröße. Bei üblichen Auslegungen mit unserem PM-Regler ist der Taschendruck in den entlasteten Taschen kleiner als 10% des Pumpendruckes. Damit können mit dem PM-Regler ohne Reserve

80% des Pumpendruckes als Differenzdruck zwischen den Taschen genutzt werden. Es ist damit eine hohe Belastbarkeit möglich.

Wird mit Kapillaren die Lagerung bis zum Taschendruck von 90% des Pumpendruckes belastet, so wird bei üblichen Auslegungen der Ölstrom in die belasteten Taschen auf 20% (!) des Ölstromes bei unbelasteten Lagern reduziert. Hierbei würde die Spindel die Lagerbuchse in der Regel bereits berühren. Mit Kapillaren ist deshalb nur ein äußerster Taschendruck von ca. 75% des Pumpendruckes möglich.

Bei üblichen Auslegungen sinkt hierbei der Taschendruck in den entlasteten Taschen nur auf ca. 35% des Pumpendruckes. Damit kann mit Kapillaren nur ein Differenzdruck zwischen den ent- und belasteten Taschen in Höhe von ca. 40% des Pumpendruckes genützt werden.

Die Belastbarkeit eines Radiallagers steigt also durch Einsatz unserer PM-Regler anstelle von Kapillaren bei unverändertem Pumpendruck um ca. 100% das Doppelte an!

Bei hohen Drehzahlen muss bei durch Kapillaren geregelten Hydrostatiklagern aufgrund des unter Abschnitt 2.1.2 geschilderten Zusammenhanges die Belastung der Lagerung zusätzlich vermindert werden, sodass bei hohen Drehzahlen die Belastbarkeit über PM-Regler versorgte Lager gegenüber solchen mit Kapillaren durchaus dreifach sein kann. ■

### 2.3 Nahezu uneingeschränkte Belastbarkeit durch Einsatz unserer PM-Regler.

Wie im Abschnitt 2.1.2 erläutert, kann die hydrostatische Spindellagerung System HYPROSTATIK® bis zur zugelassenen Maximaldrehzahl zumindest nahezu uneingeschränkt mit der vorgesehenen Maximalbelastung belastet werden.

Bei über Kapillaren versorgten Lagern dagegen ist bei hohen Drehzahlen eine deutliche Reduktion der Maximalbelastung erforderlich. Dies gilt im Übrigen auch für wälzgelagerte Spindeln. ■

### 2.4 Mehrfach reduzierte Verlustleistung und/oder weit höhere Drehzahlen möglich.

Ein Sicherheitskriterium hydrostatischer Lager ist sicherlich die minimale Größe des Hydrostatikspaltes bei Maximalbelastung. Vergleichbare Lager werden also gleiche minimale Spaltgrößen bei Maximalbelastung aufweisen. Da in die maximal belasteten Taschen bei Versorgung über Kapillaren ein stark reduzierter, bei Versorgung über PM-Regler jedoch ein stark vergrößerter Ölstrom gefördert wird, kann üblicherweise mit PM-Reglern ein wesentlich

niedriger viskoses Öl verwendet werden wie mit Kapillaren. Hierdurch kann aufgrund der PM-Regler eine vielfache Reduktion der Reibleistung oder eine wesentlich höhere Spindeldrehzahl erreicht werden wie mit Kapillaren.

Eine Reduktion der Reibleistung auf ein Drittel (!) oder eine um ca. 70% höhere Maximaldrehzahl der Spindel durch Einsatz der PM-Regler sind realistisch. ■

### 2.5 Erwärmung aufgrund der Reibleistung bei hohen Drehzahlen, Kühlung des Öls.

Aufgrund der mit PM-Reglern reduzierten Reibleistung – siehe Abschnitt 2.4 – wird bei vergleichbaren Spindellagerungen eine wesentlich verringerte Ölerwärmung erreicht als bei mittels Kapillaren versorgten. Da bei vergleichbarer Belastbarkeit mit PM-Reglern ein weit geringerer Pumpendruck als mit Kapillaren genügt – siehe hierzu Abschnitt 2.2 – wird durch unseren PM-Regler auch die Ölerwärmung aufgrund der Pumpenleistung ebenfalls weit niedriger sein als mit Kapillaren.

Eine besonders niedrige Ölerwärmung wird erreicht, wenn die Spindellagerungen mit vergrößertem Öldurchfluss ausgelegt werden. Insbesondere bei hohen Drehzahlen muss dann allerdings in der Regel mit einer höheren Gesamtverlustleistung (= Reib- + Pumpenverlustleistung) gerechnet werden als bei optimaler Auslegung minimal möglich.

Eine weitere Möglichkeit, die drehzahlbedingte Temperaturänderung der Lagerteile zu reduzieren, besteht in einer Wärmeisolation der Spindel und der Lagerteile. Wird z.B. die Lagerstelle an der Spindel keramikbeschichtet sowie die Räume im Lager, welche mit dem aus den Lagern austretenden Öl in Berührung kommen, mit einer Kunststoffschicht

versehen oder durch eingelegte Kunststoffteile wärmeisoliert, so kann die Erwärmung der Lagerteile außerordentlich verringert werden. Die im Öl entstehende Reibwärme wird dann nahezu vollkommen mit dem Öl aus dem Lager transportiert.

Voraussetzung für die geringe Erwärmung der Spindellagerung ist allerdings eine Kühlung des Öls auf eine Temperatur möglichst einige wenige Grade unter Raumtemperatur. Weiter ist eine geringe Erwärmung des Öls bei einem Spindeldurchlauf anzustreben. Die typische Erwärmung, jeweils bei Maximaldrehzahl, liegt bei unseren Lagerungen zwischen 6 und 12 °C. Der Unterschied dieser Ölerwärmung bei unterschiedlichen Drehzahlen ist noch deutlich kleiner. Durch obengenannte Maßnahmen kann die Abweichung der Temperatur der Lagerteile von der Raumtemperatur auf ca. 3 bis 1 °C begrenzt werden.

Es wird damit eine extrem kühle Lagerung mit einem minimalen Wärmegang und ein extrem kleiner Wärmeeintrag in die Maschine erreicht. ■

### 3. Hydrostatische Spindellagerungen

#### 3.1 Motorspindel üblicher Konzeption.

Bei Motorspindeln üblicher Bauart ist der Antriebsmotor zwischen den beiden Radiallagern angeordnet. Hierdurch ergibt sich eine relativ kurze Motorspindel und für die Lagerung des Motorrotors werden keine zusätzlichen Lager benötigt.

Die Nachteile dieser Konzeption sind jedoch außerordentlich groß:

- Die insbesondere bei leistungsstarken Motoren im Motorrotor entstehende beträchtliche Wärmemenge kann nur bedingt durch eine Kühlung abgeführt werden. Diese Wärme wandert also auch in die Spindel ein und führt, auch dann, wenn der Stator des Motors bestmöglich gekühlt wird, zu thermisch bedingten Lageveränderungen des Werkzeuges.
- Die Temperaturerhöhung in der Spindel kann durchaus 60 bis 100 °C betragen.
- Darüber hinaus führt dieser Wärmeeintrag in die Spindel auch zu thermisch bedingten unterschiedlichen Veränderungen der Lagerdurchmesser der Spindel und der Lagerbohrung. Dies ist auch bei Wälzlagerungen problematisch, bei den sehr steifen hydrostatischen Lagern System HYPROSTATIK® jedoch vollkommen inakzeptabel.
- Bedingt durch die Baulänge des Motors muss der Abstand der Radiallagermitten meist deutlich größer als der optimale gewählt werden und
- bedingt durch den vorgegebenen Bohrungsdurchmesser des Motorrotors muss die Spindel zwischen den beiden Radiallagern in der Regel relativ schlank gestaltet werden, ist also relativ biegeweich,
- wodurch die Steife der Spindellagerung an der Bearbeitungsstelle relativ klein und die dynamische Steife stark vermindert wird.
- Die elektromagnetischen Radial- und Axial-schwingungen werden uneingeschränkt auf die Spindellager gelenkt, wodurch die Laufqualität der Spindel beeinträchtigt wird. Dies wirkt sich bei der hydrostatischen Lagerung deshalb besonders nachteilig aus, weil von dieser Lagerung höchste Laufqualität erwartet und ohne die Einwirkung der genannten Motorkräfte auch erreicht wird.
- Die Motordaten wie Leistung, Drehzahl, dynamische Eigenschaften usw. und auch der Motorlieferant können nur bedingt variiert werden. Ein anderer Motor bedingt also meist eine andere Spindellagerung.
- Bei der hydrostatisch gelagerten Spindellagerung treten zudem nicht nur zwei sondern vier Abdichtstellen auf (jedes Lager muss nach beiden Seiten abgedichtet werden).

#### 3.2 Hydrostatische, direkt angetriebene Schleifspindellagerung

Um oben genannte Nachteile zu vermeiden, wurde von HYPROSTATIK® folgendes alternative Konzept entwickelt:

Anstelle einer „Motorspindel“ wird eine direkt angetriebene Spindellagerung eingesetzt. Der Motor ist also hinter der Spindel angeordnet. Um den Übertritt der Motorwärme in die Spindel zu vermeiden, ist zwischen Motor und Spindellagerung ein „Wärmeisolationsschild“ eingefügt. Mit diesem Konzept werden nahezu alle unter Abschnitt 3.1 genannten Nachteile der Motorspindel vermieden. Auch können u.U. höhere Motortemperaturen, also höhere Motorleistungen, zugelassen werden.

Eine relativ kurze Bauweise wird mit diesem Konzept durch folgende Maßnahmen erreicht:

- Der Rotor des Motors und die Spindel sind zwei verschiedene Teile.
- Hinsichtlich der Koppelung des Motorrotors mit der Spindel sind zwei Alternativen möglich:
  - Der Motorrotor ist „fliegend“, also ohne drittes Radiallager am Spindelende befestigt. Zwischen Motorrotor und Spindel ist eine sehr warm-feste Kunststoffisolation eingebaut, welche einen Wärmeübertritt vom Motorrotor auf die Spindel weitgehend unterbindet. Vor allem, wenn Motoren mit größerem Durchmesser möglich sind, kann mit diesem Konzept auch bei hohen Leistungen ein relativ kurzer Motor realisiert werden, u.U. können Zusatzeinrichtungen wie Spanneinrichtungen innerhalb der Bohrung des Motorrotors untergebracht werden. Nachteil dieser Lösung ist, dass die elektromagnetischen Schwingungen des Motors uneingeschränkt auf die Spindellagerung wirken und damit den Rundlauf negativ beeinflussen. Vorteilhaft ist, dass kein drittes Lager benötigt wird und die Kraftübertragung von Spannzylindern vom Motorrotor auf die Spindel unproblematisch ist.
  - Alternativ ist der Motorrotor am hinteren Lagerschild mittels wartungsfreien Schrägkugellagern gelagert. Bei hohen Drehzahlen sind hierfür Wälzlager mit Keramik-

kugeln vorgesehen. Das vordere Lager des Motorrotors entfällt bei diesem Konzept. Der Motorrotor stützt sich über eine Kunststoffbüchse (zur Wärmeisolation) spielfrei auf dem Spindelende ab. Das Drehmoment wird über eine spielfreie Klauenkupplung (zur Wärmeisolation mit Kunststoffzwischen-elementen) direkt vom Motorrotor auf das Spindelende übertragen. Die elektromagnetischen Schwingungen des Motors werden nur zu einem kleinen Teil überwiegend auf das hintere Lager der Spindel übertragen. Nachteilig ist die Notwendigkeit des dritten Lagers, die größere Baulänge, zusätzliche Aufwendungen für eine axial belastbare Kupplung zwischen Motorwelle und Spindel zur Übertragung der Spannkkräfte und die höheren Kosten.

- Durch ein alternatives Lagerkonzept mit zwei gegeneinander gestellten kegeligen oder kugelförmigen Lagern kann nicht nur eine thermisch vorteilhafte Lagerung nach

obigem Konzept erreicht werden, sondern auch der Abstand der „wirksamen Lagermitten“ bei gegebener Gehäuselänge deutlich vergrößert werden.

Mit diesen Konzepten werden nicht nur die unter Pos. 3.1 beschriebenen Nachteile vermieden, sondern auch folgende zusätzlichen Vorteile erreicht:

- Ohne Beeinflussung der Spindellagerung können Antriebsmotoren mit verschiedener Leistung, Drehzahl und von unterschiedlichen Herstellern angebaut werden, sofern die Schnittstelle zur Spindellagerung berücksichtigt wird.
- Bei entsprechender Konzeption der Schnittstelle kann u.U. der Motor getauscht werden, ohne die Lagerung zu demontieren oder es kann u.U. die Spindel getauscht werden und der Motor bleibt bei der Maschine. ■

### 3.3 Abbremsen der Schleifspindel bei Stromausfall.

- Bei Stromausfall muss der Pumpendruck zur Versorgung der Spindellagerung so lange aufrecht erhalten werden, bis die Spindel steht. Um den Aufwand beim Hydroaggregat hierfür zu begrenzen, muss die Spindel möglichst schnell bis zum Stillstand abgebremst werden. Alternativ kann dies mittels zusätzlicher Bremsen oder durch Bremsen mittels den Möglichkeiten des Antriebsmotors erreicht werden.

- Wir favorisieren hierzu folgende Lösung:  
Bei modernen Werkzeugmaschinen wird der Spindelantrieb in der Regel mittels Frequenzumformer gesteuert. Bei den für Spindellagerungen höherer Drehzahl erforderlichen niedrigviskosen Ölen sind auch speziell dafür konstruierte Druckbegrenzungsventile dynamisch problematisch. Deshalb verwenden wir als Druckpumpen sehr pulsationsarme Innenzahnradpumpen und regeln den Pumpendruck mittels einem Drucksensor in der Pumpendruckleitung und einem Frequenzumformer durch Anpassung der Drehzahl des Pum-

penmotors. Durch einen vergleichsweise kleinen Druckspeicher wird der Regelkreis ausreichend träge, sodass der Pumpendruck in ausreichend engen Grenzen konstant gehalten wird. Ein Druckbegrenzungsventil mit einem Öffnungsdruck deutlich über dem vorgesehenen Pumpendruck wird nur als Sicherheitsventil verwendet, ist also nur bei Störungen oder beim Anlaufen aktiv. Durch eine geeignete Koppelung der Frequenzumformer im Zwischenkreis kann bei Stromausfall der Antriebsmotor der Spindellagerung als Generator genützt werden, welcher die Energie zum Antrieb des Pumpenmotors liefert. Ein geeignetes und vielfach bewährtes, elektrisches Steuerungskonzept hierzu bietet die Fa. „KEB-Antriebstechnik“ Laipple/Brinkmann GmbH an. Hiermit genügt ein sehr kleiner Hydrospeicher.

- Alternativ kann die Ölversorgung auch durch einen Druckspeicher oder eine USV aufrecht erhalten werden. ■

## 4. Physikalische Zwänge bei der Auslegung hydrostatischer Spindellagerungen

### 4.1 Optimierungsmöglichkeiten für minimale Verlustleistung.

Wie in der Literatur richtig angegeben, wird minimale Verlustleistung dann erreicht, wenn die Spaltgröße und die Ölviskosität gleich Null ist. Dann ist sowohl die Pumpenleistung als auch die Reibleistung und damit auch die Gesamtverlustleistung gleich Null.

Nun wissen wir natürlich, dass beide Vorgaben nicht einzuhalten sind. Minimale Gesamtverlustleistung wird jedoch dann erreicht, wenn möglichst kleine Ölviskosität und

kleine Spaltgröße gewählt wird.

Ist die Spaltgröße festgelegt, so ergibt sich die minimale Gesamtverlustleistung aus Pumpen- und Reibleistung mit der (zu wählenden) Ölviskosität, mit welcher die Pumpenverlustleistung und die Reibleistung gleich groß werden. Ist dagegen die Ölviskosität festgelegt, so ergibt sich die minimale Gesamtverlustleistung mit der (zu wählenden) Spaltgröße, mit welcher die Reibleistung dreimal so groß

wie die Pumpenleistung wird.

Bei sehr schnelllaufender Spindellagerung wird allerdings die optimale Auslegung nach oben genannten Kriterien in der Regel nicht möglich sein, da dann die Erwärmung des Öls zu groß würde und aufgrund dessen verschiedene ther-

misch bedingte Nachteile nicht zu vermeiden wären. In solchen Fällen wird durch einen erhöhten Öldurchsatz bei unveränderter Reibleistung die Ölerwärmung begrenzt, das Öl auf kürzestem Wege aus dem Spindelgehäuse geführt und die ölbenetzten Teile werden bestmöglich wärmeisoliert. ■

#### 4.2 Optimierung für minimale Verlustleistung und bestmögliche Schwingungsdämpfung.

Geringe Reibleistungen verlangen bei gegebener Spaltgröße einen kleinen Wert für das Produkt aus dynamischer Ölviskosität und Stegbreite ( $\eta \times b$ ). Hohe Dämpfungswerte bei mittleren und hohen Erregerfrequenzen dagegen verlangen einen hohen Wert für das Produkt aus Ölviskosität, multipliziert mit der dritten Potenz der Stegbreite ( $\eta \times b^3$ ). Beide Forderungen können nur erfüllt werden, wenn bei gegebener Größe des Produktes ( $\eta \times b$ ) die Ölviskosität ( $\eta$ ) möglichst klein und die Stegbreite  $b$  möglichst groß gewählt wird. Kleinstmögliche Reibleistung und bestmögliche Dämpfung wird deshalb nur mit ausreichend niedrigviskosen Ölen und aufgrund dessen breitestmöglichen Stegen erreicht.

Die radiale Nachgiebigkeit der Spindel an der Bearbeitungsstelle resultiert zu einem Teil aus der Spindeldurchbiegung und zu einem zweiten Teil aus der Nachgiebigkeit der

Radiallager. Mit gegebener Spindelkonstruktion und festliegender Steife der Radiallager ergibt sich ein optimaler Lagerabstand, mit welchem die Steife an der Bearbeitungsstelle ein Maximum erreicht.

Die Spindeldurchbiegung aus der Materialfederung des Spindelwerkstoffes ist nahezu ungedämpft, die Dämpfung einer hydrostatischen Spindellagerung resultiert nahezu ausschließlich aus der exzellenten Dämpfung der Hydrostatiklager. Deshalb sollte bei der Konzeption einer Lagerung versucht werden, die Steife der Spindel möglichst groß, die Steife der Lager jedoch nur so groß wie nötig festzulegen, da die Dämpfungsabsorptionsleistung mit sinkender Steife der Hydrostatiklager ansteigt.

Hierdurch wird zwar u.U. nicht die höchste Spindelsteife erreicht, jedoch bei etwas reduzierter Spindelsteife eine deutlich bessere Dämpfung. ■

### 5. Lagerausführungen

Unsere Spindellagerungen werden zumindest zunächst individuell an den jeweiligen Einsatzfall angepasst. Es werden sich jedoch sicherlich für gleichartige Anwendungsfälle zumindest ähnliche Spindellagerungen ergeben. Bei räumlich nicht begrenzten Lagerungen wird folgendes Konstruktionskonzept angewendet:

Am zentralen Spindelgehäuse sind beidseitig die Lagerflansche mit den beiden Radiallagern angeordnet. Die weltweit

patentierten Anbau-PM-Regler, welche sich an unseren hydrostatischen Gewindetrieben bereits seit Jahren in Tausenden von Einsatzfällen bewährt haben, werden an den geschliffenen Flächen der vierkantigen Flansch-Außenform befestigt. In die Planfläche an den Lagerflanschen, welche an das Spindelgehäuse angepresst wird, sind Ölverteiler-nuten eingearbeitet. Die Axiallager sind an einem der beiden Lagerflansche angeordnet. ■

#### 5.1 Abdichtung.

Zur Abdichtung der Lagerung gegen eindringende Verschmutzungen und Fremdflüssigkeiten sowie gegen austretendes Hydrostatikfluid werden vor allem bei höheren Drehzahlen sperrluftunterstützte Labyrinthdichtungen eingesetzt. Bei diesen Dichtungen unterstützt die Fliehkraft in den Axialdichtspalten bei Spindelrotation die Abdichtwirkung der Sperrluft. Nachdrücklich empfohlen wird bei diesen Dichtungen, das Öl in einer ausreichend großen Rücklaufleitung nach unten, also nicht über Kopf, zum Hydroaggregat zurückzuführen.

Alternativ können insbesondere bei niedrigen Drehzahlen auch die verschiedenen bekannten berührenden Dichtungen oder, bei extremen Verhältnissen und hohen Drehzahlen, airstatisch abhebende Gleitringdichtungen eingesetzt werden. Die airstatischen Dichtungen haben den Vorzug, verschleißfrei und trotzdem bei abgeschalteter Druckluftversorgung (und stehender Spindel!) absolut dicht zu sein. Ein auch nur kurzzeitiger Betrieb dieser Gleitringdichtungen ohne Druckluftversorgung kann allerdings zu ihrem Totalausfall führen. ■

## 5.2 Belüftung der Spindellagerungen.

Die Spindel darf, um die angegebenen geringen Verlustleistungen zu erreichen, vor allem bei höheren Drehzahlen nicht „unter Öl laufen“. Um dies zu erreichen, genügt es nicht, am höchsten Punkt des Spindelgehäuses eine Belüftungsbohrung vorzusehen: Durch diese Bohrung würde voraussichtlich nicht das Spindelgehäuse belüftet, vielmehr würde durch diese Bohrung Öl austreten. Um das Spindelgehäuse zuverlässig zu belüften, muss dem Spindelgehäuse mit erhöhtem Druck eine relativ geringe Luftmenge zu-

geführt werden. Diese Belüftung erfolgt bei der sperrluftunterstützten Labyrinthdichtung und der airstatischen Gleitringdichtung bereits durch diese Komponenten. Überschüssige Luft entweicht hierbei mit dem Hydrostatiköl in den Behälter des Hydroaggregates und muss dort ausgeschieden werden.

Oben beschriebenes Konstruktionskonzept ist inzwischen in mindestens 50 Exemplaren von Spindellagerungen verwirklicht und hat sich gut bewährt.

## 6. Anforderungen zur Versorgung der hydrostatischen Lagerungen

Das Hydroaggregat zur Versorgung der hydrostatischen Spindellagerungen hat die Aufgabe, das von der Lagerung zurückkommende Öl aufzunehmen, eventuelle Luftbeimengungen auszuscheiden, das Öl zu filtern und zu kühlen und weiter das Öl mittels einer Druckpumpe mit dem vorge-

gebenen Druck der Lagerung wieder zuzuführen.

Aufgrund der in der Regel notwendigen sehr niedrigviskosen Öle, Emulsionen oder entsalztes Wasser müssen alle Komponenten der Hydroaggregate für die jeweils verwendeten Medien geeignet sein. ■

### 6.1 Luftabscheidung.

Wie im Abschnitt 5.2 erläutert, muss das Gehäuse der Spindellagerung durch einen kontinuierlichen Luftstrom belüftet werden.

Diese dem Innenraum des Spindelgehäuses zugeführte

Luftmenge strömt mit dem Fluid in das Hydroaggregat und muss dort ausgeschieden werden. In unseren Hydroaggregaten erfolgt dies mit Hilfe eines schräggestellten feinmaschigen Siebes. ■

### 6.2 Filterung des Hydrostatikfluides.

Unsere Hydroaggregate sind in der Standardversion mit einer Umwälzpumpe zur Förderung des Ölstromes durch einen Wärmetauscher ausgestattet. Normalerweise ist diese Umwälzpumpe mit der Druckpumpe kombiniert, sodass nur ein Antriebsmotor für die beiden Pumpen benötigt wird. Um eine hohe Lebensdauer der Hauptpumpe zu erreichen, wird der Hauptfilter im Förderkreis der Umwälzpumpe angeordnet, sodass der Druckpumpe nur gefiltertes Öl zugeführt wird. Um auch den PM-Regler an der Lagerung bestmöglich

vor Verschmutzungen zu schützen, ist zusätzlich nach der Druckpumpe ein zweiter Filter angeordnet, welcher Abriebs- teile von der Pumpe und Ablösungen aus Schläuchen vom Hydroaggregat zur Spindellagerung auffangen soll. Dieser Filter wird optimal bei der Spindellagerung angeordnet. Wenn dies nicht möglich ist, kann der Filter am Hydroaggregat angeordnet werden, jedoch sind dann Schläuche zur Spindellagerung so zu wählen, dass Ablösungen vom Innenschlauch ausgeschlossen sind. ■

### 6.3 Kühlung des Öls.

Das Öl wird entweder mittels einem Öl-Fluid-Wärmetauscher durch ein extern bereitgestelltes „Kühlfluid“ oder mittels einem separaten Kälteaggregat gekühlt. Kühlung mit einem kostengünstigen Öl-Luftwärmetauscher ist nur bei vergleichsweise langsam drehenden Lagerungen mit niedriger Reibleistung möglich.

Um die Temperatur des Hydrostatiköls möglichst konstant zu halten, soll bei Einsatz eines externen Kühlfluids die Temperatur dieses Fluids möglichst wenig schwanken.

Wird ein Kälteaggregat zur Kühlung eingesetzt, so soll dieses kontinuierlich arbeiten. Die Kühlleistung wird dann mittels einem Kältemittel-Dosierventil kontinuierlich geregelt.

Zweipunktgesteuerte Kälteaggregate sind nur bedingt geeignet.

Mit den von uns gelieferten Ölrückkühlern mit Kältekompressor wird das Öl in der Regel mit einer Toleranz von

$\pm 0,5$  °C auf einen einstellbaren Wert (ca. -2 bis -4 °C) unter eine Führungstemperatur (alternativ Luft-, Maschinengestell- oder Kühlschmiermitteltemperatur) gekühlt. ■

## 6.4 Ölversorgung bei Stromausfall.

Insbesondere sehr schnelllaufende hydrostatische Lagerungen müssen, um bestmögliche Eigenschaften zu erreichen, mit sehr niedrigviskosen Ölen und auch relativ schmalen Stegen arbeiten. Notlaufeigenschaften durch ausreichende hydrodynamische Belastbarkeit kann in der Regel nicht erreicht werden. Es muss also dafür gesorgt werden, dass die Ölversorgung immer gewährleistet ist, solange die Spindel dreht. Dies gilt auch für Stromausfall!

Drei alternative Möglichkeiten bieten sich an, um dieses Ziel zu erreichen:

### ■ Mittels Druckspeichern in der Druckleitung.

Dies ist die günstigste Lösung bei kleinen Liefermengen aus dem Speicher, also sehr kurzen Abbremszeiten der Spindel und kleinen Förderströmen zur Versorgung der Spindellagerung. Nachteilig ist, dass der Hydraulikdruck mit zunehmender Speicherentleerung abfällt. Um diesen Druckabfall in Grenzen zu halten, kann das Speichervolumen nur zu ca. 20%, maximal 25% zur Ölfüllung genützt werden. Soll also eine Lagerung mit einem erforderlichen Ölstrom von beispielsweise 10 l/min bei Stromausfall für z.B. sechs Sekunden über einen Speicher mit Öl versorgt werden, so wird

bereits ein Speicher mit ca. 6 Litern Inhalt benötigt. Dieser Speicher darf nur von Fachkundigen gewartet werden. Gefährdet ist die Funktion des Speichers vor allem durch Gasverlust. Soll dies ausgeschlossen werden, so muss der Gasdruck überwacht werden.

### ■ Durch Antrieb des Hydraulikpumpenmotors mittels dem als Generator genützten Spindelmotor nur bei Stromausfall.

Hierbei wird der Zwischenkreis des Frequenzumformers des Spindelmotors mit dem des Frequenzumformers für den Pumpenmotor derart gekoppelt, dass bei Stromausfall der Spindelmotor bis zu einer niedrigen Restdrehzahl den Pumpenmotor antreibt – siehe hierzu Abschnitt 3.3. Die verbleibende kurze restliche Abbremszeit überbrückt ein kleiner Hydrospeicher.

### ■ Mittels USV (Unabhängige Spannungs-Versorgung, z.B. Batterie).

Hierbei wird die Energie zum Antrieb des Pumpenmotors aus einem elektrischen Speicher gewonnen. Hiermit lassen sich auch sehr lange Nachlaufzeiten erreichen. ■

## 6.5 Druckpumpen.

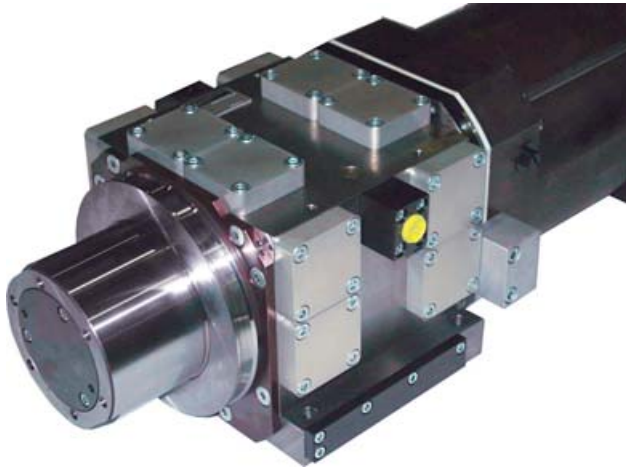
Sowohl mit konstanter als auch regelbarer Fördermenge stehen geeignete Pumpen für die erforderlichen meist sehr niedrigviskosen Öle zur Verfügung. ■

## 7. Hydroaggregate

Auf der Seite 17 ist ein Hydroaggregat mit integriertem Kälteaggregat zu sehen. Hydroaggregate bieten wir, angepasst an die Erfordernisse der Spindellagerungen mit integriertem Kälteaggregat, mit Plattenwärmetauscher und Umwälzpumpe oder nur mit Umwälzpumpe zur Förderung des kühlenden Öls durch einen externen Wärmetauscher an. ■

## 8. Beispiele ausgeführter hydrostatischer Lagerungen.

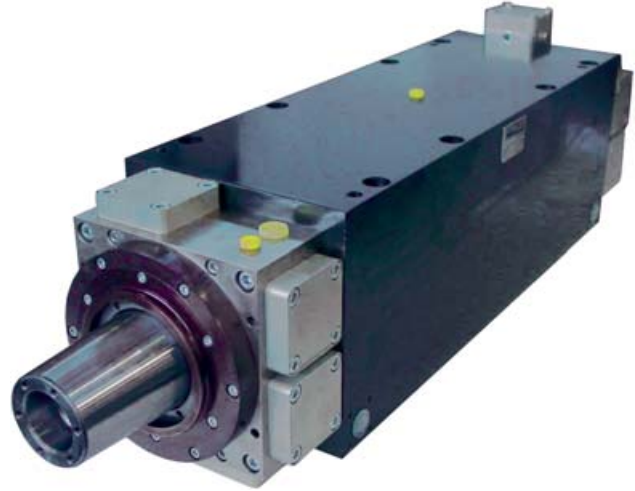
### 8.1 Motorspindel zum Schleifen



#### Technische Daten

■ Drehzahl	0-7600 U/min
■ Pumpendruck	63 bar
■ Öltype	VG 2
■ Öldurchfluss	10 l/min
■ max. Schleifkraft axial/radial	2000 N
■ Steife an Schleifscheibe	> 320 N/μm
■ Motorleistung	50 kW
■ Reibleistung bei max. Drehzahl	1,2 kW
■ Abstand Achse zu Gehäusevorderkante	105 mm
■ für automatische Wuchtsysteme vorbereitet	

### 8.2 Riemenspindel zum Schleifen



#### Technische Daten

■ Drehzahl	0-3000 U/min
■ Pumpendruck	50 bar
■ Öltype	VG 4
■ Öldurchfluss	7,6 l/min
■ max. Schleifkraft axial/radial	2000/4000 N
■ Steife an Schleifscheibe	> 400 N/μm
■ Reibleistung bei max. Drehzahl	0,8 kW
■ Abstand Achse zu Gehäusevorderkante	100 mm
■ für automatische Wuchtsysteme vorbereitet	

#### INFO:

Technische Daten, Geometrie, Anschlussmaße, Antriebsart, Motor und Drehgeber können selbstverständlich an Ihren Bedarf angepasst werden.

Wir freuen uns auf Ihre Kontaktaufnahme.

#### Besondere Eigenschaften hydrostatischer Schleifspindeln System HYPROSTATIK®:

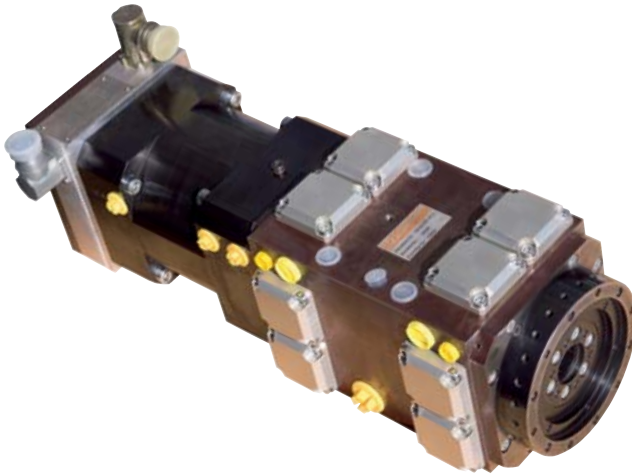
- verschleißfrei und damit gebrauchsdauerunabhängige Eigenschaften
- außergewöhnlich hohe Rund- und Planlaufqualität
- hohe statische sowie dynamische Radial- und Axialsteife
- außergewöhnlich hohe Dämpfung
- geringe Reib- und Pumpenleistung durch unseren patentierten PM-Regler und optimale Auslegung mittels umfassenden Berechnungsprogrammen
- minimaler Temperaturgang von wenigen °C durch geeignete Ölkühlung und Wärmeisolation zwischen Motor und Spindellagerung
- exzellente Wuchtgüte

#### Oben genannte Eigenschaften gewährleisten:

- beste Werkstückoberflächen, hohe Werkzeugstandzeiten und Abtragsleistungen
- geringstmögliche Formfehler und beste Rund- sowie Planlaufqualität
- exzellente Eignung auch für Borazonschleifscheiben
- hohe thermische Stabilität nahezu unabhängig von der Drehzahl
- aufgrund der Verschleißfreiheit hohe Verfügbarkeit und
- bei crash-freiem Betrieb minimale Wartungskosten und Stillstandzeiten

Lieferbar als Motorspindel mit Asynchron- oder Synchronmotor, für Direkt- oder Riemenantrieb, vorbereitet zur Aufnahme eines Wuchtsystems.

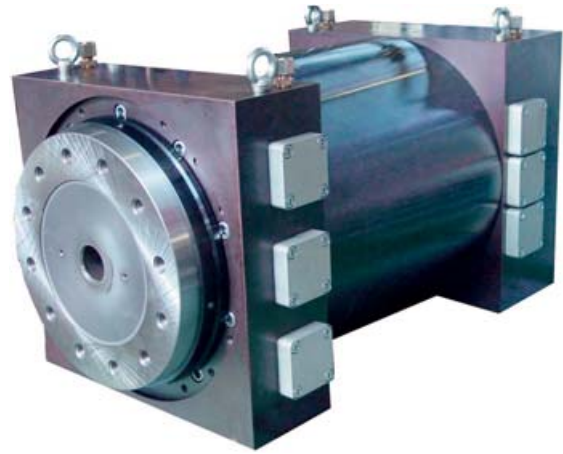
### 8.3 Motor-Werkstückspindel



#### Technische Daten

■ Drehzahl	0-6000 U/min
■ Pumpendruck	50 bar
■ Öltype	VG 2
■ Öldurchfluss	6 l/min
■ max. Schleifkraft axial/radial	500 N
■ Steife am Werkstück	ca. 80 N/μm
■ Motorleistung	6,3 kW
■ Reibleistung bei max. Drehzahl	0,6 kW
■ Abstand Achse zu Gehäusevorderkante	65 mm
■ Rund- und Planlauf	< 0,15 μm
■ Spindeldurchlass	26 mm
■ Achshöhe	65 mm

### 8.4 Werkstückspindel für Direktantrieb



#### Technische Daten

■ Drehzahl	0-120 U/min
■ Pumpendruck	50 bar
■ Öltype	VG 10
■ Öldurchfluss	2,6 l/min
■ max. Schleifkraft axial/radial	3000 N
■ max. Werkstückgewicht	2000 kg
■ Steife an Schleifscheibe	> 2000 N/μm
■ Reibleistung bei max. Drehzahl	0,14 kW
■ Rundlauf und Planlauf	< 0,30 μm
■ für Magnetscheiben	Ø 1600 mm

#### Besondere Eigenschaften hydrostatischer Werkstückspindeln System HYPROSTATIK®:

- verschleißfrei und damit gebrauchsdauerunabhängige Eigenschaften
- außergewöhnlich hohe Rund- und Planlaufqualität
- hohe statische sowie dynamische Radial- und Axialsteife
- außergewöhnlich hohe Dämpfung
- geringe Reib- und Pumpenleistung sowie hohe Belastbarkeit durch unseren patentierten PM-Regler und optimale Auslegung mittels umfassender Berechnungsprogramme
- minimaler Temperaturgang von wenigen °C durch geeignete Ölkühlung und Wärmeisolation zwischen Motor und Spindellagerung
- exzellente Wuchtgüte

#### Oben genannte Eigenschaften gewährleisten:

- beste Werkstückoberflächen, hohe Werkzeugstandzeiten und Abtragsleistungen
- geringstmögliche Formfehler und beste Rund- sowie Planlaufqualität
- hohe thermische Stabilität nahezu unabhängig von der Drehzahl
- aufgrund der Verschleißfreiheit hohe Verfügbarkeit und
- bei crash-freiem Betrieb minimale Wartungskosten und Stillstandzeiten

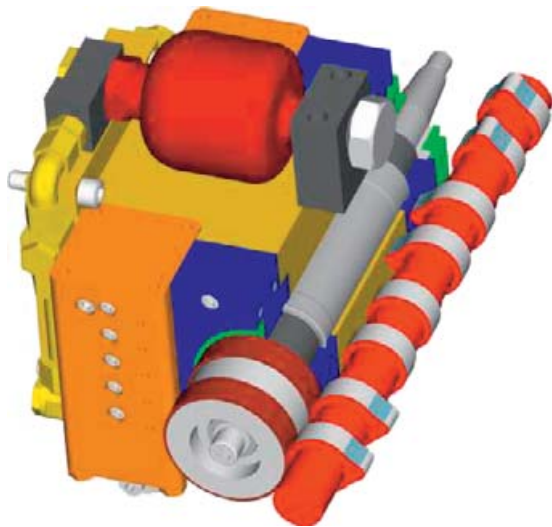
Lieferbar als Motorspindel mit Asynchron- oder Synchronmotor, für Direkt- oder Riemenantrieb, mit kundenspezifischen Durchgangsbohrungen und für C-Achsbetrieb.

#### INFO:

Technische Daten, Geometrie, Anschlussmaße, Antriebsart, Motor und Drehgeber können selbstverständlich an Ihren Bedarf angepasst werden.

Wir freuen uns auf Ihre Kontaktaufnahme.

**8.5 Nockenschleifspindel**



Technische Daten	
■ Drehzahl	0-25000/35000 U/min
■ Pumpendruck	63 bar
■ Öltype	VG 2
■ Öldurchfluss	10 l/min
■ max. Schleifkraft axial/radial	750/500 N
■ Radial-Steife an Schleifscheibe	120/60 N/μm
■ Schleifleistung	9/6 kW
■ Reibleistung bei max. Drehzahl	0,9/0,6 kW
■ Abstand Achse zu Gehäuse-Vorderkante	24/16 mm
■ Für CBN-Scheiben ca.	Ø 70 / Ø 50

**8.6 Scheibenlagerung für beidseitiges Schleifen**



Technische Daten	
■ Drehzahl	0-2000 U/min
■ Pumpendruck	40 bar
■ Öltype	VG 4
■ Öldurchfluss	7,2 l/min
■ max. Schleifkraft axial/radial	500 N
■ max. Moment auf das Lager	60 Nm
■ Lagersteife axial/radial	600/400 N/μm
■ Reibleistung bei max. Drehzahl	ca. 0,4 kW
■ Rund- und Planlauf gemessen	< 0,2 μm
■ Durchlass	Ø 90 mm

**INFO:**

Technische Daten, Geometrie, Anschlussmaße, Antriebsart, Motor und Drehgeber können an Ihren Bedarf angepasst werden. Weitere Standardtypen und Größen sind lieferbar. Wir freuen uns auf Ihre Kontaktaufnahme.

**Besondere Eigenschaften hydrostatischer Nockenschleif- und Scheibenlagerungen System HYPROSTATIK®:**

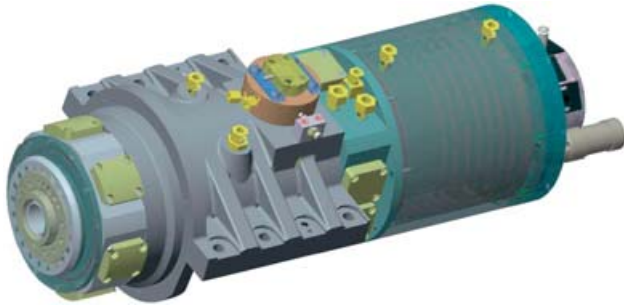
- verschleißfrei und damit gebrauchsdauerunabhängige Eigenschaften
- außergewöhnlich hohe Rund- und Planlaufqualität
- hohe statische sowie dynamische Radial- und Axialsteife
- außergewöhnlich hohe Dämpfung
- geringe Reib- und Pumpenleistung sowie hohe Belastbarkeit durch unseren patentierten PM-Regler und optimale Auslegung mittels umfassender Berechnungsprogramme
- minimaler Temperaturgang von wenigen °C durch geeignete Ölkühlung
- exzellente Wuchtgüte

**Oben genannte Eigenschaften gewährleisten:**

- beste Werkstückoberflächen, hohe Werkzeugstandzeiten und Abtragsleistungen
- geringstmögliche Formfehler und beste Rund- sowie Planlaufqualität
- hohe thermische Stabilität nahezu unabhängig von der Drehzahl
- aufgrund der Verschleißfreiheit hohe Verfügbarkeit und
- bei crash-freiem Betrieb minimale Wartungskosten und Stillstandzeiten

Lieferbar für Riemenantrieb. Kundenspezifische Lösungen möglich.

## 8.7 Drehmaschinen-Motorspindel



### Technische Daten

■ Spindelaufnahme	A5 nach DIN 55021
■ Drehzahl	0-7000 U/min
■ Pumpendruck	80 bar
■ Öltype	VG 2
■ Öldurchfluss mit rotierender Ölzuführung	21 l/min
■ max. Schnittkraft axial/radial	6,3 kN
■ Lagersteife	> 1000 N/μm
■ Nennleistung (S1)	20 kW
■ Nennmoment (S1)	125 Nm
■ Reibleistung bei max. Drehzahl	max. 3,6 kW
■ Spindel	Ø 42 mm
■ mit Spannhydraulik, Indexierung und für C-Achs-Betrieb	

## 8.8 Drehmaschinen-Hauptspindel



### Technische Daten

■ Spindelaufnahme	A8 nach DIN 55021
■ Drehzahl	0-4000 U/min
■ Pumpendruck	63 bar
■ Öltype	VG 2
■ Öldurchfluss	bis 12 l/min
■ max. Schnittkraft axial/radial	10 kN
■ Lagersteife	> 1000 N/μm
■ Reibleistung bei max. Drehzahl	1,3 kW
■ Rund- und Planlauf	< 0,3 μm
■ Achshöhe	165 mm
■ Spindelbohrung	Ø 80 mm

### Besondere Eigenschaften hydrostatischer Drehmaschinen-Hauptspindel System HYPROSTATIK®:

- verschleißfrei und damit gebrauchsdauerunabhängige Eigenschaften
- außergewöhnlich hohe Rund- und Planlaufqualität
- hohe statische sowie dynamische Radial- und Axialsteife
- außergewöhnlich hohe Dämpfung
- geringe Reib- und Pumpenleistung sowie hohe Belastbarkeit durch patentierten PM-Regler und optimale Auslegung mittels umfassender Berechnungsprogramme
- minimaler Temperaturgang von wenigen °C durch geeignete Ölkühlung und Wärmeisolation zwischen Motor und Spindellagerung
- exzellente Wuchtgüte

### Oben genannte Eigenschaften gewährleisten:

- Eignung auch für hohe Schruppbelastungen und für das Hartdrehen
- beste Werkstückoberflächen, hohe Werkzeugstandzeiten und Abtragsleistungen
- geringstmögliche Formfehler und beste Rund- sowie Planlaufqualität
- hohe thermische Stabilität nahezu unabhängig von der Drehzahl
- aufgrund der Verschleißfreiheit hohe Verfügbarkeit und
- bei crash-freiem Betrieb minimale Wartungskosten und Stillstandzeiten

Lieferbar als Motorspindel mit Asynchron- oder Synchronmotor, für Direkt- oder Riemenantrieb, mit kundenspezifischen Durchgangsbohrungen und mit Indexierung, Motorspindel mit integriertem Spannsystem und Drehdurchführung sowie für C-Achsbetrieb.

### INFO:

Technische Daten, Geometrie, Anschlussmaße, Antriebsart, Motor und Drehgeber können an Ihren Bedarf angepasst werden. Weitere Standardtypen und Größen sind lieferbar. Wir freuen uns auf Ihre Kontaktaufnahme.

## 8.9 HSK-Frässpindel



### Technische Daten

■ Spindelaufnahme	HSK40E
■ Drehzahl	0-42000 U/min
■ Pumpendruck	80 bar
■ Fluid: Emulsion oder entsalztes Wasser	
■ max. Durchfluss	10 l/min
■ max. Schnittkraft axial/radial	500 N
■ Lagersteife	200/160 N/μm
■ Leistung Motor (S1)	15 kW
■ Moment bei max. Drehzahl (S1)	3,5 Nm
■ Moment bei 500 U/min	4 Nm
■ Reibleistung bei max. Drehzahl	ca. 4 kW

## 8.10 Mittenlagerung für Drehmaschinen



### Technische Daten

■ Werkstückspannung	mit interner Spannange
■ Drehzahl	0-3000 U/min
■ Pumpendruck	80 bar
■ Öldurchfluss	30 l/min
■ max. Lagerkraft axial/radial	10/10 kN
■ max. Lagermoment	500 Nm
■ Lagersteife	ca. 1250 N/μm
■ Reibleistung bei max. Drehzahl	ca. 3,5 kW
■ Werkstückdurchgang	Ø 115 mm
■ Antrieb	Riemen oder Zahnrad

### INFO:

Technische Daten, Geometrie, Anschlussmaße, Antriebsart, Motor und Drehgeber können an Ihren Bedarf angepasst werden. Weitere Standardtypen und Größen sind lieferbar. Wir freuen uns auf Ihre Kontaktaufnahme.

### Besondere Eigenschaften hydrostatischer Frässpindeln und Mittenlagerungen System HYPROSTATIK®:

- verschleißfrei und damit gebrauchsdauerunabhängige Eigenschaften
- außergewöhnlich hohe Rund- und Planlaufqualität
- hohe statische sowie dynamische Radial- und Axialsteife
- außergewöhnlich hohe Dämpfung
- geringe Reib- und Pumpenleistung sowie hohe Belastbarkeit durch patentierten PM-Regler und optimale Auslegung mittels umfassender Berechnungsprogramme
- minimaler Temperaturgang von wenigen °C durch geeignete Ölkühlung und Wärmeisolation zwischen Motor und Spindellagerung
- exzellente Wuchtgüte

### Oben genannte Eigenschaften gewährleisten:

- Eignung auch für hohe Schruppbelastungen und für das Hartdrehen bzw. -fräsen
- beste Werkstückoberflächen, hohe Werkzeugstandzeiten und Abtragsleistungen
- geringstmögliche Formfehler und beste Rund- sowie Planlaufqualität
- hohe thermische Stabilität nahezu unabhängig von der Drehzahl
- aufgrund der Verschleißfreiheit hohe Verfügbarkeit und
- bei crash-freiem Betrieb minimale Wartungskosten und Stillstandzeiten

HSK-Spindel lieferbar als Motorspindel mit Asynchron- oder Synchronmotor, mit integriertem Spannsystem und Drehdurchführung sowie mit Reinigungsluft im Stillstand oder Kühlmittelzuführung.

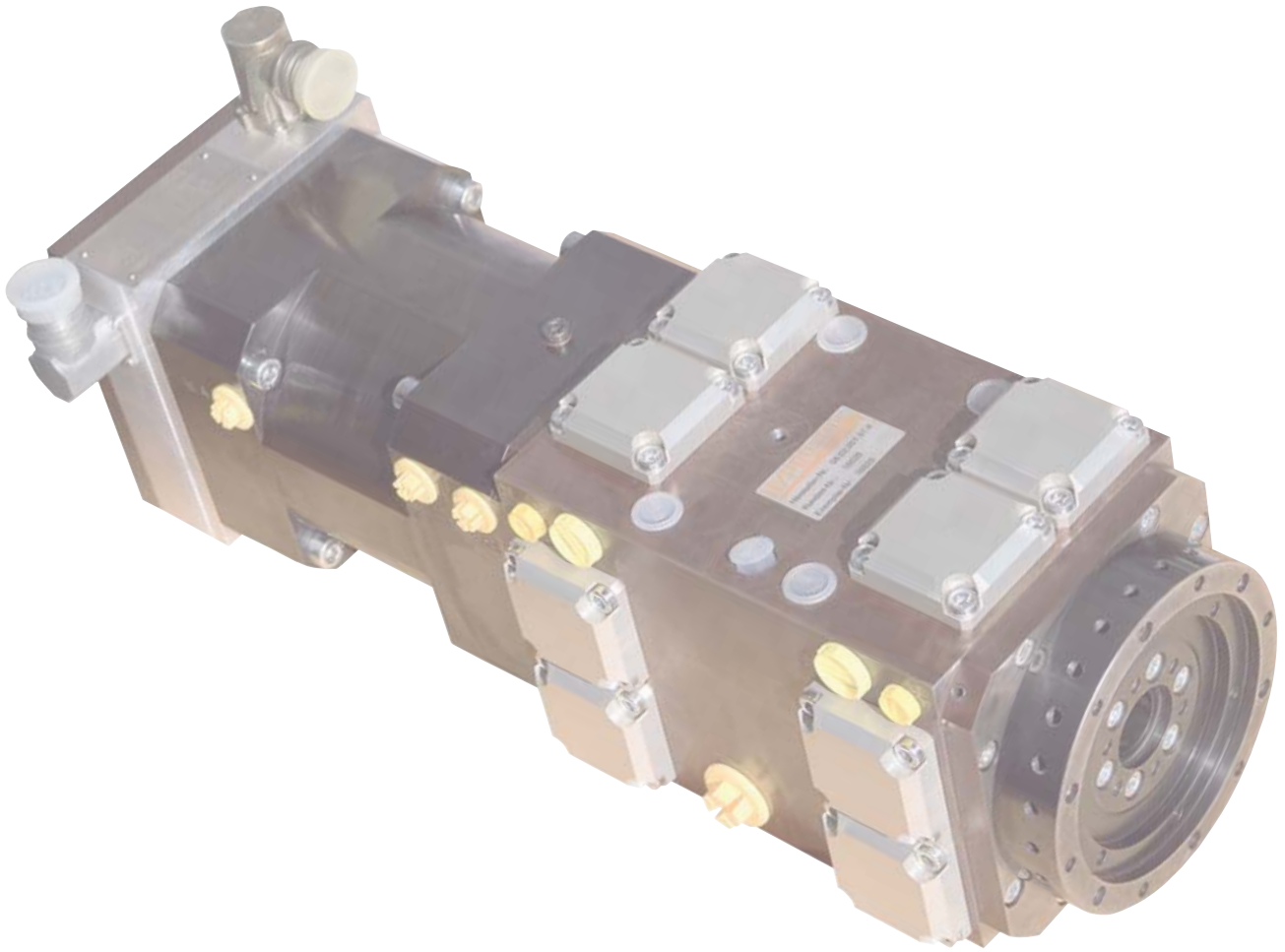
Mittenlagerung lieferbar für Zahnrad- oder Riemenantrieb, mit kundenspezifischen Durchgangsbohrungen und integriertem Spannsystem.

### 8.11 Sonder-Hydroaggregate für Spindeln



#### Technische Daten

- Tankinhalt 100-200 Liter
  - Pumpendruck 40-120 bar
  - Öltype Wasser oder niedrigviskose Öle
  - Fluidstrom bis 8-25 l/min
  - mit integriertem Kälteaggregat 3,0 oder 5,0 kW
- oder Kühlung mit Plattenwärmetauscher mit Überwachungseinrichtungen, angepasst an die Anforderungen der Spindel, leise und mit geringem Platzbedarf.



**HYPROSTATIK®** Schönfeld GmbH

Felix-Hollenberg-Str. 3 · 73035 Göppingen

Tel.: +49 (0) 7161/ 96 59 59-0 · Fax -20

E-Mail: [info@hyprostatik.de](mailto:info@hyprostatik.de)

[www.hyprostatik.de](http://www.hyprostatik.de)