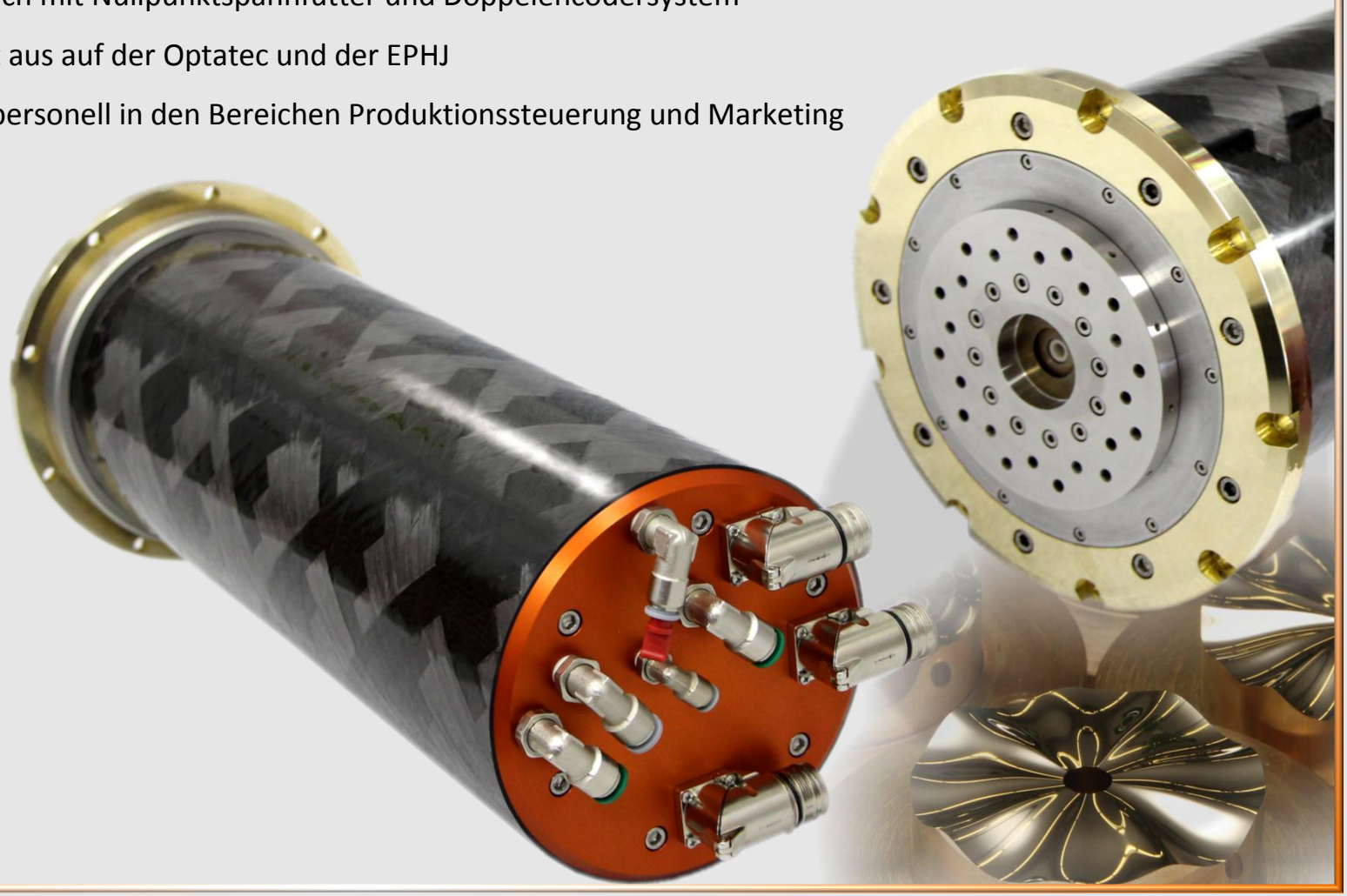
Levicron GmbH
Sauerwiesen 6
D-67661 Kaiserslautern
Tel.: +49 (0) 6301 – 718 57 25
Fax: +49 (0) 6301 – 718 57 56
info@levicron.com
www.levicron.com

- **ASD-H25/Cx** – Spindeldesign für unterkritischen Betrieb bis Nenndrehzahl
- **ASD090H25 / ASD060H25** – Die Gretchenfrage: Drehzahl oder Steifigkeit für die Fräs- und Schleifbearbeitung?
- **ASD-Px** – Hauptspindel jetzt auch mit Nullpunktspannfutter und Doppelencodersystem
- **Messetermine** – Levicron stellt aus auf der Optatec und der EPHJ
- **Zuwachs** – Levicron erweitert personell in den Bereichen Produktionssteuerung und Marketing



ASD-H25/Cx – Spindeldesign für unterkritischen Betrieb bis Nenndrehzahl

Eigenfrequenzmoden und Lagersteifigkeiten

Drehfrequenzen bis zur Biegekritischen Eigenfrequenz der Welle ausgeschlossen, kann die rotierende Welle als starr und in den Lagersteifigkeiten- und -dämpfungen aufgehangen angesehen werden. Einhergehend ergeben sich konische und zylindrische Eigenschwingungsmoden um die Hauptträgheitsachsen nach dargestelltem Schema in Abb.1.

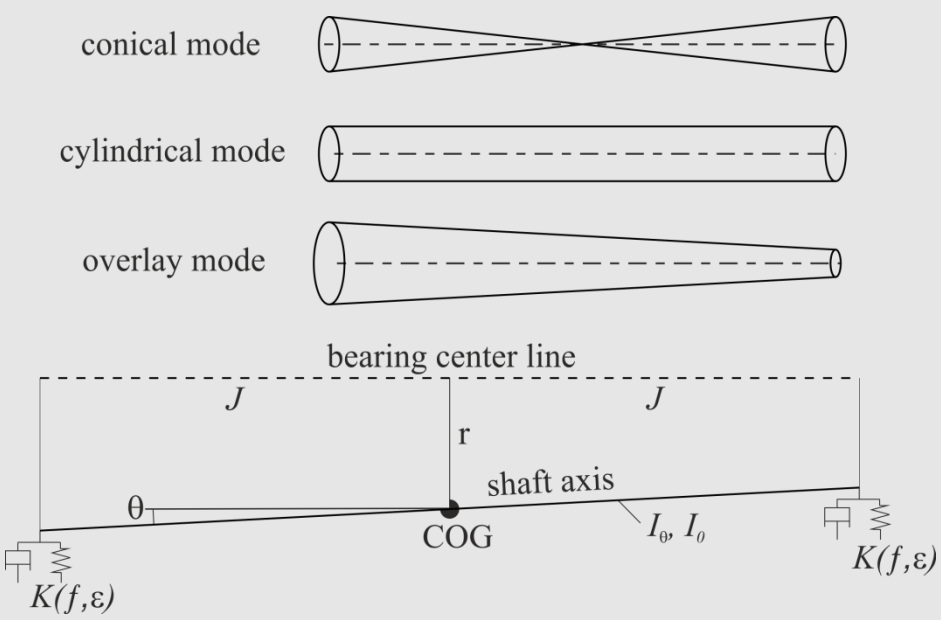


Abb. 1: Eigenschwingungsmoden für starrkritische Betrachtung

Die Lagersteifigkeiten *K* bestimmen, zusammen mit dem rotierenden Gewicht *M* und den Trägheitsmomenten *I*, die Höhe der jeweiligen Eigenfrequenz, die Dämpfungen *C* deren Amplitude. Es ist ersichtlich, daß eine schwerere Welle die zylindrische Eigenfrequenz erniedrigt, eine längere die konische erhöht.

Die Lagersteifigkeiten von gasgelagerte Spindeln verhalten sich umgekehrt proportional zum Quadrat des Lagerspaltes. Heißt, ist der Lagerspalt halb so groß, resultiert die vierfache Lagersteifigkeit.

Bei gängigen Verhältnissen von Lagerspalthöhe zu Lagerdurchmesser von 0.0001 bis 0.0007 wird deutlich, daß eine gasgelagertes Radiallager mit Durchmesser 50 mm einen lediglich 10 - 35 Mikrometer großen Lagerspalte zwischen Welle und Lager aufweisen muß, um hinreichende Steifigkeiten zu besitzen. Für eine hinreichend hohe Tragfähigkeit des Lagers jedoch sind der Lagerdurchmesser und die Lagerlänge entscheidend, was zu im Vergleich zu Wälzlagerspindeln größeren Wellendurchmessern führt.

Veränderliche Lagersteifigkeiten mit Drehzahl

Luftgelagerte Hochgeschwindigkeitsspindeln werden generell an die Grenzen der Fliehkraftbelastung ausgelegt, Schergeschwindigkeiten zwischen Welle und Radiallager bis 250 m/s sind keine Seltenheit, bei Axiallagern sogar bis 450 m/s. Einhergehend sind Fliehkraft- und Thermikdehnungen des Lagerspaltes, die leicht 50 – 80 % des Lagerspaltes selbst aufbrauchen können. In Abb. 2 sind die radiale Dehnungen der Welle durch Fliehkraft und Thermik sowie die radiale thermische Dehnung des Radiallagers dargestellt.

In Konsequenz wird der Lagerspalt mit Drehzahl kleiner und somit die Lagersteifigkeit und die Eigenfrequenzen des Welle-Lager-Systems höher. Die Lagersteifigkeiten und somit die starrkritischen Eigenmodefrequenzen sind somit eine Funktion der Drehzahl (und des thermischen Zustands), wie die Lagersteifigkeit in Abhängigkeit zur Wellenexzentrizität und der Drehzahl in Abb. 3 zeigt. Man erkennt, gasgelagerte Spindeln werden mit steigender Drehzahl deutlich steifer.

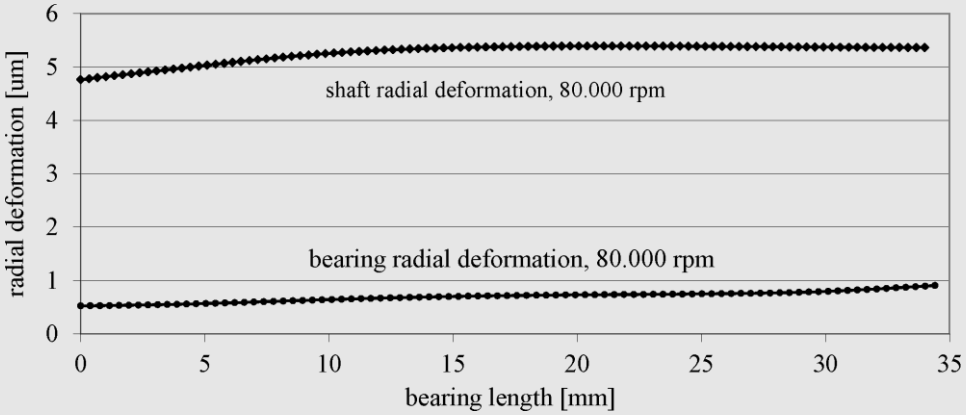


Abb. 3: Radiale Wellen- und Lagerverformung unter Drehzahl (Fliehkraft + Thermik)

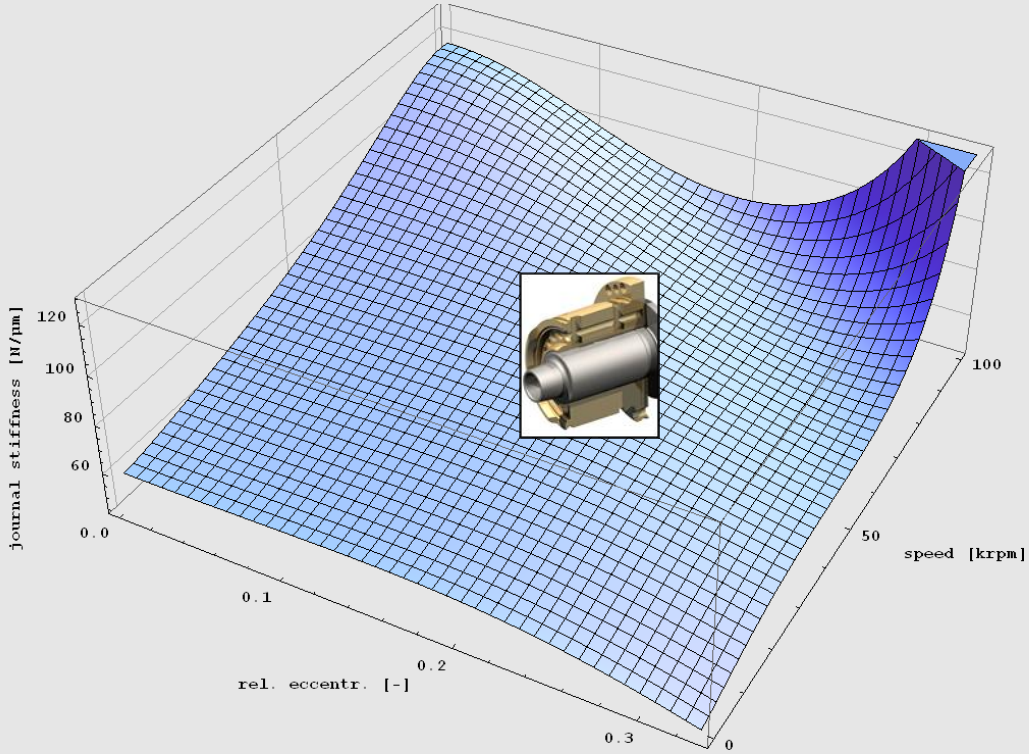


Abb. 2: Steifigkeitsfeld nach Drehzahl und relativer Wellenverlagerung

Dynamik- und Stabilitätsfeld aerostatisch gelagerter Spindeln

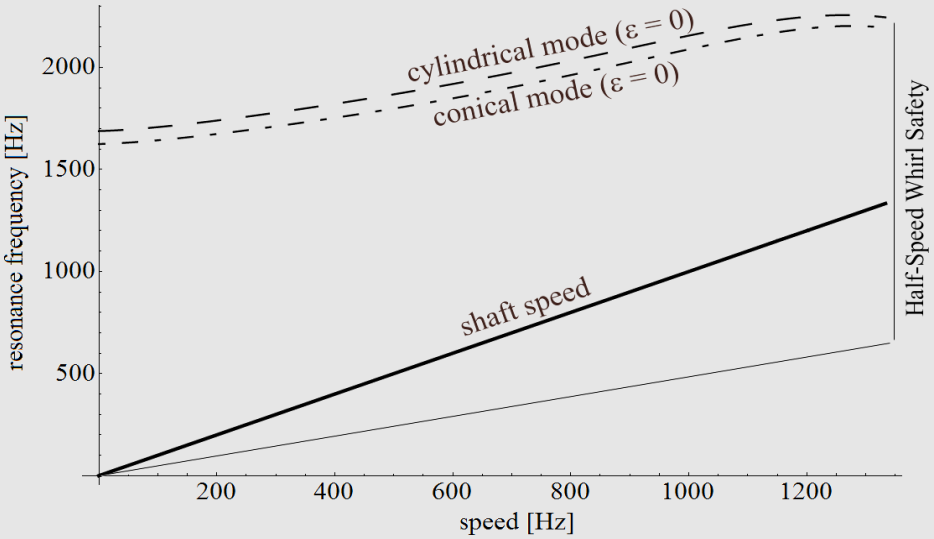


Abb. 4: Starrkritisches Dynamik- und Stabilitätsfels

Führt man die variablen Lagersteifigkeiten gemäß Abb. 2 nun zurück in das Eigenfrequenzmodell des Lager-Welle-Modells nach Abb.1 und berechnet die Eigenfrequenzen nach Mode und Drehzahl, so ergibt sich ein Dynamik- und Stabilitätsfeld für die jeweilige Spindel gemäß Abb. 4. Die Spindel weist eine starrkritische Eigenfrequenz, sobald die Drehfrequenz (shaft speed) eine der Eigenfrequenzlinien durchkreuzt, deren Einfluß auf Schwingschnelle und dynamischem Rundlauf jedoch in einem Band von +/- 15 % festzustellen sind.

Verifizierung der Spindeldynamik – unterkritischer Spindelbetrieb bis Nenndrehzahl für all unsere ASD-H25

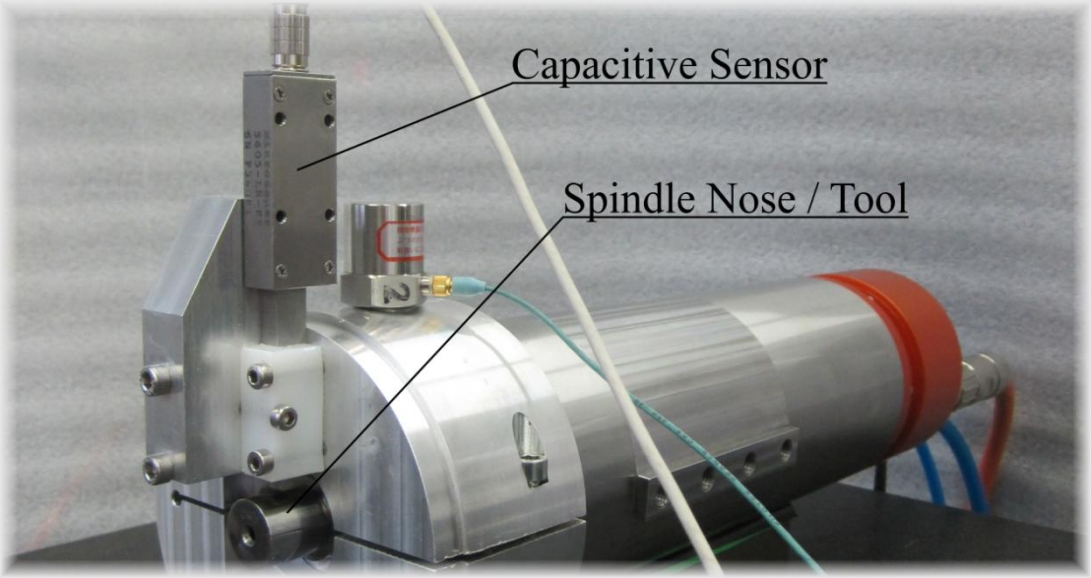


Abb. 5: Meßaufbau zur Bestimmung der Starrkritischen mit Drehzahl

Mit aktuellen kapazitiven Sensoren kann man das Abstandsignal zwischen Sensor und rotierendem Werkzeug mit einer Bandbreite von bis zu 120 kHz aufzeichnen und mittels FFT in seine harmonischen Schwingungsanteile aufbereiten. Man erhält ein Spektrum für die jeweilige Drehzahl.

Führt man dies entweder für diskrete Drehzahlen oder mittels Wasserfalldiagramm kontinuierlich im Hoch- oder Herunterlauf einer Spindel durch, erhält man ein dreidimensionales Wasserfall-FFT-Diagramm, welches Abb. 4 in der Draufsicht entspricht und Aufschlüsse über die Eigenfrequenzverläufe des Spindelsystems mit Drehzahl gibt.

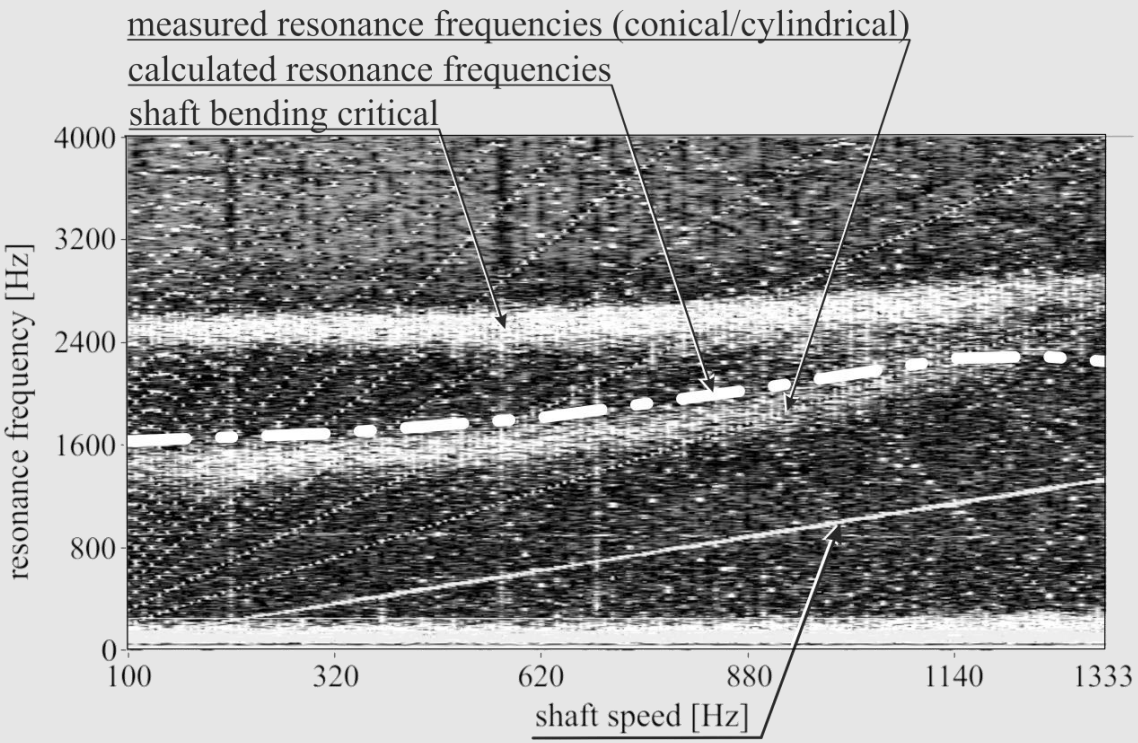


Abb. 6: Spindel-Eigenfrequenzen nach Drehfrequenz

Abb. 6 zeigt die berechneten sowie die gemessenen Eigenfrequenzverläufe nach Drehzahl für unsere ASD080H25. Man erkennt, die Drehfrequenz (horizontal) erreicht zu keinem Zeitpunkt die Höhe einer System-Eigenfrequenz und kann daher über den gesamten Drehzahlbereich unterkritisch genutzt werden, was Resonanzüberhöhungen und höhere Rundläufe am Werkzeug bei solchen Zuständen ausschließt.

Der gezeigte Verlauf der berechneten Eigenfrequenzen basiert auf einer durchgewärmten Spindel, was die leicht höheren berechneten Eigenfrequenzen bei niedrigen Drehzahlen erklärt. Die tatsächlichen Eigenfrequenzen bei höheren Drehzahlen ab 70.000 Upm sind damit zu erklären, daß der aerodynamische Effekt zwischen drehender Welle und Lager in der Berechnung als geringfügig zu niedrig angesetzt wurde. Generell besteht eine Voraussagegenauigkeit von +/- 5%. Mit Angaben zu statischer und dynamischer Unwucht der Welle kann mit dem starrkritischen Spindelmodell sogar zuverlässig der dynamische Rundlauf über Drehzahl berechnet und vorausgesagt werden.

ASD090H25 / ASD060H25 – Die Gretchenfrage: Drehzahl oder Steifigkeit für die Fräs- und Schleifbearbeitung?

Unsere luftgelagerte Motorspindel ASD-H25 ist als Version mit 60.000, 80.000 und 90.000 Upm erhältlich und bis auf die Lagerauslegung baugleich. Wie im vorherigen Punkt – Vgl. Veränderliche Lagersteifigkeiten mit Drehzahl – erläutert, bedeuten höhere Drehzahlen bei gleichem Wellendurchmesser höhere Fliehkraft- und Thermikeinflüsse auf die nur wenige Mikrometer großen radialen Lagerspalte, die sich mit Drehzahl mitunter um 50 - 80% verkleinern, wie in Abb. 7 an einem realen und transient gerechneten Beispiel dargestellt.

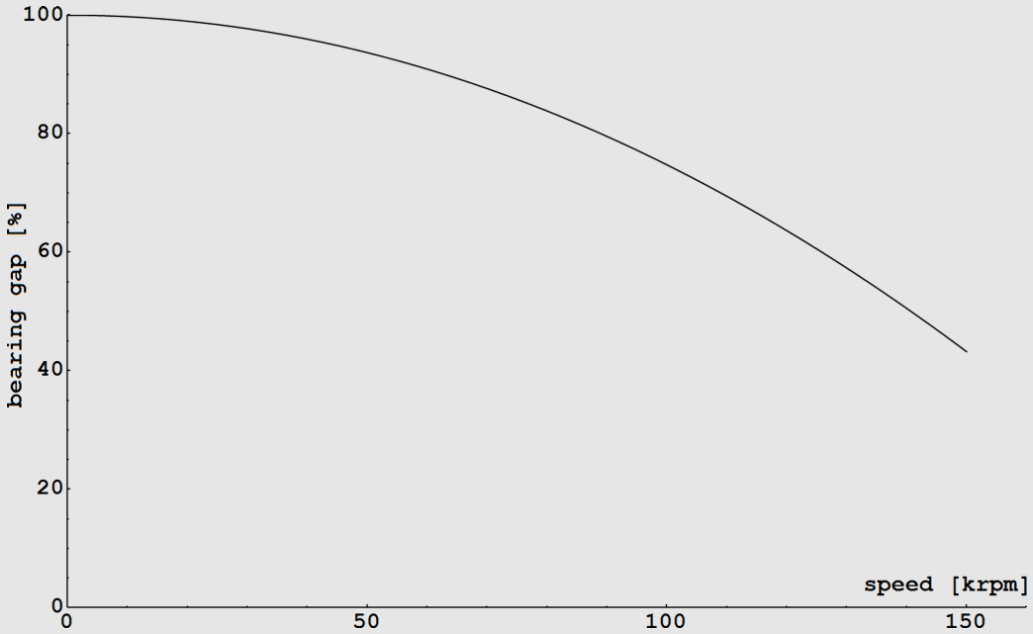


Abb. 7: Lagerspaltverkleinerung von radialen Luftlagern mit Drehzahl unter Fliehkraft- und Thermikeinfluß

In Konsequenz muß somit der statische Lagerspalt einer höherdrehenden Spindel größer gewählt werden, damit bei Nenndrehzahl ein genügend großer Restspalt vorhanden ist. Die Steifigkeit eines Luftlagers – also die Auslenkung nach Kraft – jedoch ist umgekehrt proportional zum Quadrat der Lagerspaltdicke. In Zahlen ausgedrückt würde man die Lagersteifigkeit halbieren, indem man den Lagerspalt um zirka 40% vergrößert. Während alle Spindelversionen bei ihrer Nenndrehzahl eine etwa gleiche Lagersteifigkeit aufweisen - Luftlagerspindeln werden mit Drehzahl deutlich steifer – und generell etwa gleich hohe Tragfähigkeiten aufweisen, ist die statische Steifigkeit bei Stillstand für Modelle mit höherer Nenndrehzahl niedriger.

		ASD060H25	ASD080H25	ASD090H25
radiale Tragfähigkeit an Spindelnase (statisch, Stillstand)	*[N]*	330	300	290
radiale Steifigkeit an Spindelnase (statisch, Stillstand)	*[N / µm]*	50	30	25
radiale Steifigkeit an Spindelnase (statisch, Nenndrehzahl)	*[N / µm]*	76	83	87

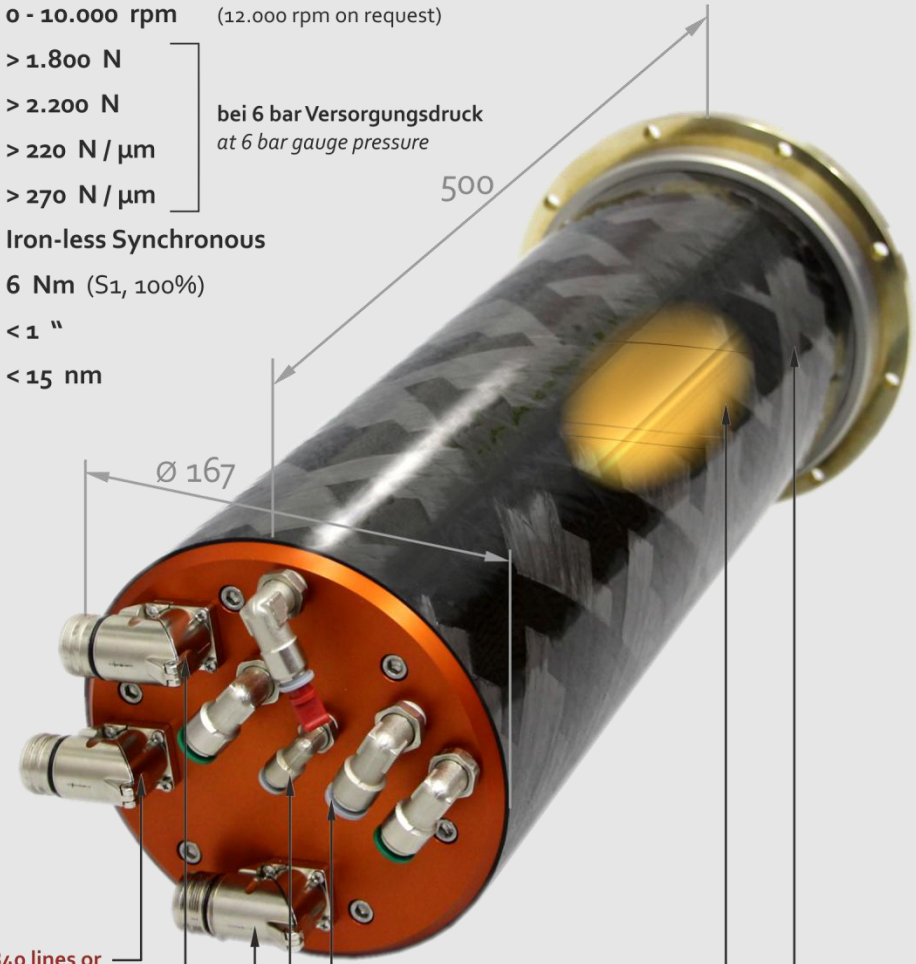
Die höhere Steifigkeit bei Nenndrehzahl für höherdrehende Modelle ist durch einen größeren aerodynamischen Effekt zwischen drehender Welle und Radiallager zu erklären.

Die Anwendung bestimmt letztendlich die Modellwahl. Während eine Stahlbearbeitung zum Beispiel generell hohe Steifigkeiten (und damit Dämpfungen) fordern, sind für Gravierarbeiten allgemein hohe Drehzahlen wichtiger.

Während intensiven Zerspanversuchen bei und mit Kunden hat sich über die Jahre herausgestellt, daß – sofern ein geringerer Vorschub aufgrund der geringeren Drehzahl tolerierbar ist – Steifigkeit einen überaus positiven Einfluß auf Rundlauf und erzielbare Oberflächengüten besitzt.

ASD-Px – Hauptspindel jetzt auch mit Nullpunktspannfutter und Doppelencodersystem (GMR + optisch 1VSS oder 26bit absolut)

Speed / *Drehzahl* :	**0 - 10.000 rpm**	(12.000 rpm on request)
Radial load capacity / *Radiale Tragfähigkeit* :	**> 1.800 N**	**bei 6 bar Versorgungsdruck** *at 6 bar gauge pressure*
Axial load capacity / Axiale Tragfähigkeit :	**> 2.200 N**	
Radial stiffness / *Radialsteifigkeit* :	**> 220 N / µm**	
Axial stiffness / *Axialsteifigkeit* :	**> 270 N / µm**	
Motor type / *Motorart* :	**Iron-less Synchronous**	
Motor torque / *Motordrehmoment* :	**6 Nm** (S1, 100%)	
Angular accuracy / *Positioniertreue* :	**< 1 "**	
Error in Motion / *Rotationsgenauigkeit* :	**< 15 nm**	



Patented Bearing Technology
Patentiert Lagertechnologie

Work-holding options:
- **Face plate**
- **Vacuum Chuck**
- **Zero-point clamping chuck**

Aufspannoptionen:
- *Planscheibe*
- *Vakuumfutter*
- *Nullpunktspannfutter*

High-resolution 1VSS optical encoder with 11.840 lines or 26bit BISS-C, DRIVE-CLiQ, Fanuc, Panasonic comp. absolute encoder
Hochauflösender optischer 1VSS Encoder mit Strichzahl 11.840 oder 26bit Absolut-Encoder mit BISS-C, DRIVE-CLiQ, Panasonic Protokoll

1VSS GMR encoder with 253 lines
1VSS GMR Encoder mit Strichzahl 253

Ultra-low vibration iron-less synchronous motor with 6 Nm torque (S1)
Dynamikoptimierter Synchronantrieb mit Luftspaltwicklung und 6 Nm Drehmoment (S1)

Rotary feedthrough for vaccum and pressurized air
Vakuum- und Druckluftdrehdurchführung

High-efficiency thin-film liquid cooling
Hocheffektive Dünnfilm-Flüssigkeitskühlung

Cartridge Design for closed head stocks
Patronendesign für geschlossene Spindelstöcke

Messetermine – Levicron stellt aus:

Optatec, Fankfurt, 20.-22. Mai

EPHJ, Genf, 17.-20. Juni

Zuwachs – Levicron erweitert personell im Bereich Produktionssteuerung und Marketing

Mit dem Anwachsen der internationalen Geschäftstätigkeiten und der kontinuierlichen Kunden- und Produktpalettenerweiterung freuen wir uns, im Bereich der Produktionsplanung und –steuerung sowie der Qualitätssicherung Herrn Dennis Keck ab dem 15. Mai in unserem Team begrüßen zu dürfen.

Weiterhin werden ab sofort Strategien und Vorgehensweisen von nationalen und internationalen Marketingtätigkeiten von studentischen Mitarbeitern übernommen, die hoffentlich bald ebenfalls zum festen Bestandteil von Leviron zählen werden.

Alle Rechte: Levicron GmbH, 2014; Haftungsausschluß: http://www.levicron.com/de_contact.html