

DK 621.822.2  
621.822.8  
621.824

*Prof. Dr.-Ing. Dr. h. c. Herwart Opitz*

*Dr.-Ing. Heinrich Kunkel*

*Dipl.-Ing. Manfred Weyand*

*Dr.-Ing. Reinhard Böttcher*

*Laboratorium für Werkzeugmaschinen und Betriebslehre  
der Rhein.-Westf. Techn. Hochschule Aachen*

Untersuchungen über das statische und dynamische  
Verhalten von Spindel-Lager-Systemen  
in Werkzeugmaschinen



ISBN 978-3-663-06517-3      ISBN 978-3-663-07430-4 (eBook)  
DOI 10.1007/978-3-663-07430-4

Verlags-Nr. 011990

© 1968 by Westdeutscher Verlag GmbH, Köln und Opladen

Gesamtherstellung: Westdeutscher Verlag

# Inhalt

Verwendete Kurzzeichen .....	5
1. Einleitung .....	7
2. Experimentelle und rechnerische Methoden zur Ermittlung des statischen und dynamischen Verhaltens von Spindel-Lager-Systemen .....	7
2.1 Meßmethoden zur Bestimmung des statischen und dynamischen Verhaltens .....	8
2.1.1 Ermittlung des statischen Verhaltens .....	8
2.1.2 Ermittlung des dynamischen Verhaltens .....	8
2.2 Rechnerische Methoden zur Bestimmung des statischen und dynamischen Verhaltens .....	9
3. Theoretische und experimentelle Untersuchungen an einer Hauptspindel mit Kegelrollenlagern .....	11
3.1 Statisches Verhalten des Systems Spindel-Lagerung .....	11
3.1.1 Verformungen an der Spindel in Abhängigkeit von der Belastung .....	11
3.1.2 Der Einfluß von Axialspiel und Abstand der beiden vorderen Lager auf das statische Verhalten des Systems .....	12
3.1.3 Einfluß der Lagersteifigkeiten auf das statische Verhalten des Systems und Bestimmung der Steifigkeiten der Lager im eingebauten Zustand .....	12
3.1.4 Einfluß der Systemgrößen Kraglänge, Lagerabstand und Verhältnis Spindelbohrungs-/Spindelaußendurchmesser auf das statische Verhalten ..	16
3.2 Dynamisches Verhalten des Systems Spindel-Lagerung .....	17
3.2.1 Einfluß von Axialspiel und Abstand der vorderen Lager auf das dynamische Verhalten des Systems .....	17
3.2.2 Einfluß des hinteren Lagers auf das dynamische Verhalten des Systems ..	18
3.2.3 Vergleich des gemessenen und berechneten dynamischen Verhaltens des Systems .....	19
3.2.4 Einfluß der Systemgrößen Kraglänge und Lagerabstand auf das dynamische Verhalten des Systems .....	19
3.3 Temperaturverhalten und Verlustleistung der Kegelrollenlagerung .....	21
3.3.1 Einfluß von Drehzahl, Last, Axialspiel sowie Schmiermittelviskosität auf die Lauftemperaturen an der vorderen Lagerstelle .....	21
3.3.2 Möglichkeiten zur Erzielung geringer Lauftemperaturen .....	22
4. Theoretische und experimentelle Untersuchungen an hydrostatischen Spindel-lagerungen .....	22
4.1 Analoges mechanisches Ersatzsystem für hydrostatische Lagerungen ....	23

4.1.1	Analoge mechanische Darstellung eines ebenen hydrostatischen Lagers ..	23
4.1.2	Analoge mechanische Ersatzschaltung für Lagerungen von Hauptspindeln	25
4.2	Dynamisches Verhalten des Systems Spindel–Lagerung .....	31
4.2.1	Einfluß der statischen Lagersteifigkeit auf das dynamische Verhalten ...	31
4.2.2	Einfluß der Abströmlänge im vorderen Lager auf das dynamische Verhalten .....	32
4.2.3	Einfluß der Ölviskosität auf das dynamische Verhalten .....	33
4.2.4	Einfluß der Ölfedersteife auf das dynamische Verhalten .....	34
4.2.5	Einfluß der Axiallagerung auf das dynamische Verhalten .....	35
5.	Zusammenfassung .....	36
6.	Literaturverzeichnis .....	37
7.	Anhang .....	38

## Verwendete Kurzzeichen

(Kapitel 2 und 3)

$a$	= Kraglänge	mm
$b$	= Lagerabstand	mm m
$c$	= Lagersteifigkeit	kp/ $\mu$
$d_{sp}$	= Spindelbohrungsdurchmesser	mm
$e$	= Abstand der vorderen Lager einer mehrfach gelagerten Spindel	mm
$f_R$	= Resonanzfrequenz	Hz
$k$	= Lagerdämpfungskonstante bei viskoser Dämpfung	kps/mm
$n$	= Drehzahl	min <sup>-1</sup>
$q$	= Streckenlast	kp/mm
$s_a$	= axiales Lagerspiel	$\mu$ m
$t$	= Zeit	s
$x$	= Variable	mm
$y$	= Verlagerung an der Spindel unter statischer Last	$\mu$ m
$\tilde{y}$	= Schwingungsamplitude bei dynamischer Belastung	$\mu$ m
$C$	= Systemsteifigkeit	kp/ $\mu$ m
$D$	= Dämpfungsmaß, Dämpfung am System	
$D_{sp}$	= Spindelaußendurchmesser an der vorderen Lagerstelle	mm
$E$	= Elastizitätsmodul	kp/mm <sup>2</sup>
$F_r, F_a$	= Lagerkräfte	kp
$I$	= äquatoriales Trägheitsmoment	mm <sup>4</sup>
$M_b$	= Biegemoment	kp · mm
$N_v$	= Verlustleistung	kW
$P$	= Statische Belastung (radial) am System	kp
$P_a$	= Statische Belastung (axial) am System	kp
$P_A, P_B$	= Auflagerkräfte	kp
$Q_s$	= Schmiermittelmenge	l/min
$T$	= Lagertemperatur	°C
$\alpha$	= Berührungswinkel	
$\varepsilon$	= Parameter	
$\nu$	= Schmiermittelviskosität	cSt

## Verwendete Kurzzeichen für hydrostatische Lager

(Kapitel 4)

$b$	= Abströmbreite	cm
$c$	= Lagersteifigkeit	kp/ $\mu$ m
$c_k$	= Ölfedersteife	kp/ $\mu$ m
$c_k^*$	= Ersatzfedersteifigkeit	kp/ $\mu$ m
$D$	= Lagerdurchmesser	cm
$D$	= Dämpfungsmaß, Dämpfung am System	
$f$	= Frequenz	Hz
$F_{eff}$	= effektive Fläche	cm <sup>2</sup>
$h$	= Lagerspalthöhe	cm, $\mu$ m
$k$	= Lagerdämpfungskonstante	$\frac{kp \cdot s}{cm}$
$K$	= Konstante	

$l$	= Abströmlänge	cm
$L$	= Lagerlänge	cm
$L_{\text{eff}}$	= effektive Lagerlänge	cm
$\Delta L$	= Länge eines Spindelabschnitts	cm
$m$	= Masse	$\frac{\text{kp} \cdot \text{s}^2}{\text{cm}}$
$p$	= Druck	$\text{kp}/\text{cm}^2$
$P$	= Belastung	kp
$R$	= hydraulischer Widerstand	$\frac{\text{kp} \cdot \text{s}}{\text{cm}^5}$
$R_{1, 2}$	= Radien der Axiallager	cm
$V_0$	= Ölvolumen zwischen Drossel und Lager	$\text{cm}^3$
$x$	= Federweg	$\mu\text{m}$
$y$	= Schwingwegamplitude	$\mu\text{m}$
$z$	= Taschenzahl	
$\beta$	= Kompressibilitätskoeffizient	$\text{cm}^2/\text{kp}$
$\eta$	= dynamische Viskosität	$\frac{\text{kp} \cdot \text{s}}{\text{cm}^2}$
$\Theta$	= Variable	
$\kappa$	= Widerstandsverhältnis	
$\xi$	= Drosselverhältnis	

#### Indizes betreffend:

$a$	= axiale Abströmung
$\mathcal{A}$	= Axiallager
$b$	= hintere Seite der Lagerung
$K$	= Kapillare
$m$	= Mitte der Lagerung
$\ddot{o}v$	= Ölversorgung
$P$	= Pumpe
$R$	= Radiallager
$T$	= Tasche
$u$	= Umfangsströmung
$v$	= vordere Seite der Lagerung
$o$	= unbelasteter Zustand