

Leitfaden zur Erkennung von
Ausfallarten von Kugelgewindetrieben

Dieser Leitfaden soll Anhaltspunkte zur Erkennung der Ausfallarten bei Kugelgewindetrieben liefern und typische Gegenmaßnahmen empfehlen.

Vorwort:

Sehr geehrter Kugelgewindetriebs-Interessent:In,

Wir haben diesen Leitfaden erstellt um Anwendern, Technikern und Konstrukteuren eine Hilfe an die Hand zu geben, wenn es zu Problemen mit Ihren Kugelgewindetrieben kommt.

Die Struktur des Leitfadens folgt bekannten Anomaliearten bei Kugelgewindetrieben, begonnen mit optischen, über auditive hin zu taktilen.

Dabei haben wir uns Mühe gegeben diese Ausfallarten hinsichtlich Ihrer Erkennung zu beschreiben und unsere Erfahrung im Hinblick auf Abstellmaßnahmen zusammen zu fassen.

Referenzen zum aktuellen wissenschaftlichen Diskurs verweisen auf weiterführende Informationen und ermöglichen ein noch tieferes Verständnis.

Für die Inhalte und daraus abgeleitete Maßnahmen übernehmen wir keine Haftung.

Wir freuen uns Sie bei Ihrer Lösungsfindung zu unterstützen und stehen Ihnen bei Fragen und Problemen gerne zur Seite.

Mit freundlichem Gruß,

Sebastian Wlodarczyk
Geschäftsführer der HESTEGO GmbH

Kontakt:

HESTEGO GmbH

Zeppelinstr. 44/1

73760 Ostfildern

[+49 711 459 98 775](tel:+4971145998775)

vertrieb@hestego.de

hestego-gmbh.de

Inhaltsverzeichnis

1. OPTISCHE ANOMALIEN (sichtbare Anzeichen)	4
a. Abnutzung	4
i. Adhäsiver Verschleiß:	4
ii. Abrasiver Verschleiß:	4
b. Brinelling und falsches Brinelling	5
i. Brinelling:	5
ii. Falsches Brinelling:	5
c. Korrosion	5
i. Reibungskorrosion/ Passungsrost:	5
ii. Tribokorrosion:	6
d. Materialdefekte	6
i. Risse und Einschlüsse:	6
ii. Entkohlung:	7
e. Plastische Verformung	7
i. Überlastungsbedingungen:	7
2. GERÄUSCHANOMALIEN (auditive Erkennung)	8
a. Ermüdung	8
i. Oberflächenbedingte Ermüdung (Pitting):	8
ii. Oberflächenbedingte Ermüdung (Abplatzungen):	8
b. Fehler bei der Schmierung	9
i. Unzureichende Schmierung:	9
ii. Überschmierung:	9
c. Festsetzen (Fressen)	9
i. Festsetzen aufgrund von Verschmutzung oder thermischen Problemen:	9
3. VIBRATION UND TAKTILE RÜCKMELDUNG	10
a. Fehlausrichtung	10
i. Fehlausrichtung von Kugelumlaufspindeln:	10
b. Ermüdung durch Rollkontakt	10
i. Ermüdung des Wälzkontakts:	10
c. Thermische Ausdehnung und Hitzeschäden	11
i. Wärmestau:	11
KONTAKT/ ANFRAGE	11
Literaturverzeichnis	12

1. OPTISCHE ANOMALIEN (sichtbare Anzeichen)

Diese Fehler können durch visuelle Inspektionen festgestellt werden, entweder während der regelmäßigen Wartung oder wenn Probleme vermutet werden.

a. Abnutzung

i. Adhäsiver Verschleiß:¹

Tritt auf, wenn durch örtliche Reibungserwärmung Material von einer Oberfläche auf eine andere geschweißt wird, was zu Materialübertragungen und Oberflächenschäden führt. Dies kommt häufig bei Kugelgewindetrieben vor, die unter hoher Belastung und bei niedrigen Drehzahlen eingesetzt werden, wenn die Schmierung unzureichend ist. Mit der Zeit führt dies zu einer glatten, glänzenden Oberfläche mit Materialflecken, die von den Kugeln auf die Spindel übertragen werden.

1. *Erkennen:* Achten Sie auf Flecken mit ungleichmäßiger Oberflächenbeschaffenheit oder Anzeichen von Abrieb (schweißähnliche Materialübertragung).
2. *Gegenmaßnahme:* Sorgen Sie für ausreichende Schmierung.
3. *Info:* Weitere Informationen dazu finden Sie in unserem [Katalog](#) und den [Betriebsbedingungen](#).

ii. Abrasiver Verschleiß:²

Dies ist auf das Vorhandensein von harten Partikeln zwischen den Kontaktflächen zurückzuführen, die als Schleifmittel wirken und zu Rillen, Kratzern und Materialabtrag führen. Durch eine schlechte Abdichtung können Verunreinigungen in das System eindringen und den Verschleißprozess beschleunigen. Dieser Verschleiß kann zu einem Verlust an Präzision und Leistung aufgrund der Oberflächenrauigkeit führen.

1. *Erkennung:* Prüfen Sie auf unregelmäßige Oberflächenmuster, die auf Verunreinigungen hindeuten.
2. *Gegenmaßnahme:* Verbessern Sie die Abdichtung und reduzieren Sie Verunreinigungen.
3. *Info:* Weitere Informationen zur Wahl der Dichtung finde Sie auf unserer [Webseite](#) und in unserem [Katalog](#).

¹ (Gerberich, 2009)

² (Bhushan, 2002)

b. Brinelling und falsches Brinelling

i. Brinelling:³

Tritt auf, wenn statische oder stoßartige Belastungen die Elastizitätsgrenze des Werkstoffs überschreiten und dauerhafte Eindrücke (Brinellmarken) in den Laufbahnen verursachen. Bei Kugelgewindetrieben kann Brinell bei der Montage oder durch Stoßbelastungen im Betrieb entstehen, was zu einer ungleichmäßigen Lastverteilung und erhöhter Reibung führt.

1. *Erkennen:* Sichtbare Vertiefungen an den Kugellaufbahnen, die zu einem erhöhten Rollwiderstand führen.
2. *Gegenmaßnahme:* Vermeiden Sie statische Überlastungen und achten Sie auf eine sorgfältige Handhabung beim Einbau.
3. *Info:* Informationen zur sachgemäßen Montage von Kugelgewindetrieben finden Sie in unseren [Betriebsbedingungen](#).

ii. Falsches Brinelling:⁴

Entsteht durch Mikroszillationen der Kugeln in der Laufbahn bei Vibrationen mit geringer Amplitude. Diese Bewegungen in Verbindung mit dem Fehlen von Rollbewegungen führen zu Reibungsverschleiß, der zu Gruben oder Rillen in der Laufbahn führt. Dies ist häufig der Fall, wenn die Kugelgewindetriebe gelagert oder transportiert werden.

1. *Erkennungsmerkmal:* Kleine Dellen oder Abdrücke an den Schnittstellen der Kugelumlaufspindel, die bei Lagerung oder Schwingung in Kontakt bleiben.
2. *Gegenmaßnahme:* Verwenden Sie Dämpfer, um Mikrobewegungen zu verhindern.

c. Korrosion

i. Reibungskorrosion/ Passungsrost:⁵

Entsteht durch kleine oszillierende Bewegungen an den Kontaktstellen, die zu Oxidation und Verschleiß führen. Passungsrost tritt häufig in Umgebungen mit hohen Vibrationen und in Bereichen auf, in denen die Schmierung mit der Zeit nachlässt. Die entstehenden Eisenoxide (Rost) beschleunigen den Verschleiß und erhöhen die Reibung, was die Leistung beeinträchtigt.

³ (Harris T. &, 2007)

⁴ (Pascovici, 2014)

⁵ (Vincent, 1997)

- a. *Erkennbar*: Sichtbarer Rost oder Lochfraß auf der Oberfläche, insbesondere in Bereichen mit hoher Vibration.
- b. *Gegenmaßnahme*: Korrosionsschutzbeschichtungen auftragen und für regelmäßige Schmierung sorgen.
- c. *Info*: Unsere [Betriebsbedingungen](#) zeigen Ihnen sämtliche notwendigen Punkte auf.

ii. Tribokorrosion:⁶

Eine Kombination aus mechanischem Verschleiß und chemischer Korrosion. Die Schmierung wird unter aggressiven Umgebungsbedingungen abgebaut, was zu Materialoxidation und Verschleiß führt. Dies geschieht insbesondere in chemisch aktiven Umgebungen, in denen das Material des Kugelgewindetriebes korrodiert und gleichzeitig durch Reibung verschlissen wird.

1. *Erkennen*: Prüfen Sie auf verfärbte, korrodierte Oberflächen, oft in Verbindung mit übermäßigem Verschleiß.
2. *Gegenmaßnahme*: Verwenden Sie korrosionsbeständige Materialien und sorgen Sie für eine ordnungsgemäße Schmierung.
3. *Info*: Auch hier verweisen wir für weitere Informationen auf unsere [Betriebsbedingungen](#).

d. Materialdefekte

i. Risse und Einschlüsse:⁷

Sie entstehen aufgrund von Materialfehlern wie nichtmetallischen Einschlüssen oder Gussfehlern. Bei zyklischer Belastung breiten sich von diesen Unvollkommenheiten aus Risse aus, die zu katastrophalen Ausfällen wie Brüchen führen. Bei Kugelgewindetrieben ist dies häufig der Fall, wenn sie hohen Belastungen ausgesetzt sind oder minderwertige Materialien verwendet werden.

1. *Erkennung*: Untersuchen Sie die Oberfläche auf sichtbare Risse, insbesondere unter Vergrößerung. Risse entstehen oft in stark beanspruchten Bereichen.
2. *Gegenmaßnahme*: Prüfen Sie während der Produktion mit zerstörungsfreier Prüfung (z. B. Ultraschall oder Farbeindringverfahren) auf Materialfehler.

⁶ (Celis, 2006)

⁷ (Keer, 1983) (Zhou, 2019)

3. *Info:* KSK Precise Motion arbeitet mit Vergütungs- oder Edelstählen der höchsten Güte und qualifiziert seine Lieferanten ausführlich.

ii. Entkohlung:⁸

Tritt auf, wenn der Kohlenstoffgehalt in der Materialoberfläche durch eine unsachgemäße Wärmebehandlung verringert wird. Dies schwächt die Oberflächenhärte und macht den Kugelgewindetrieb anfälliger für Verschleiß und Ermüdung, was zu einem vorzeitigen Ausfall führt.

1. *Erkennung:* Prüfen Sie auf vorzeitigem Verschleiß oder stumpfe Bereiche auf der Oberfläche, in denen die Härte verringert ist.
2. *Gegenmaßnahme:* Sorgen Sie während der Produktion für ordnungsgemäße Wärmebehandlungsverfahren.
3. *Info:* Weitere Informationen zur Herstellung von Kugelgewindetrieben bei der KSK Precise Motion a.s. finden Sie [Online](#).

e. **Plastische Verformung**⁹

i. Überlastungsbedingungen:

Wenn die Belastung des Kugelgewindetriebs seine Materialstreckgrenze überschreitet, kommt es zu einer dauerhaften Verformung der Kugellaufbahnen und Kugeln. Dies führt zu höherer Reibung, erhöhtem Verschleiß und verminderter Präzision.

1. *Erkennung:* Achten Sie auf Anzeichen von abgeflachten Bereichen an der Kugelgewindespindel oder den Laufbahnen der Kugelmutter.
2. *Gegenmaßnahme:* Überwachen Sie die Belastung und vermeiden Sie eine Überlastung des Kugelgewindetriebs.
3. *Info:* Die Spitzenlasten C_0 (statische Tragzahl) und C_{dyn} (dynamische Tragzahl) können Sie stets der Freigabebezeichnung entnehmen.

⁸ (Pape, 2007)

⁹ (Haines, 1963) (Zhu, 2016)

2. GERÄUSCHANOMALIEN (auditive Erkennung)

Ungewöhnliche Geräusche während des Betriebs sind oft das erste Anzeichen eines Problems und können auf Probleme mit der Schmierung, dem Verschleiß oder der Ausrichtung hinweisen.

a. Ermüdung

i. Oberflächenbedingte Ermüdung (Pitting):¹⁰

Dies geschieht, wenn örtlich begrenzte Spannungszyklen die Entstehung von Rissen an der Oberfläche verursachen, die zu Lochfraß und Materialabtrag führen. Die Lochfraßbildung erhöht die Spannungskonzentrationen, was zu weiteren Schäden führt. Dieses Versagen tritt häufig bei hoher Belastung auf, wenn sich Oberflächenfehler ausbreiten.

1. *Erkennung:* Achten Sie auf intermittierende Klickgeräusche während des Betriebs, insbesondere unter Last.
2. *Gegenmaßnahme:* Verbessern der Materialqualität und der Oberflächenbehandlung, um die Ermüdungsfestigkeit zu erhöhen.
3. *Info:* KSK Precise Motion arbeitet mit Vergütungs- oder Edelstählen der höchsten Güte, weshalb es bei sachgemäßem Gebrauch nicht zu Pitting kommen sollte.

ii. Oberflächenbedingte Ermüdung (Abplatzungen):¹¹

Dieses Versagen beginnt unterhalb der Oberfläche, wo hohe Spannungen unter der Oberfläche liegende Risse verursachen, die zur Oberfläche hin wachsen. Das Material blättert schließlich ab (Abplatzungen), wodurch eine raue Oberfläche entsteht, die zu Lärm und Vibrationen führt.

1. *Erkennung:* Achten Sie auf kontinuierliche rumpelnde oder knirschende Geräusche, wenn sich die Kugelumlaufspindel dreht.
2. *Gegenmaßnahme:* Verwendung von hochwertigem Stahl mit weniger Einschlüssen und besserem Spannungsmanagement.
3. *Info:* KSK Precise Motion arbeitet mit Vergütungs- oder Edelstählen der höchsten Güte, weshalb es bei sachgemäßem Gebrauch nicht zu Abplatzungen (spalling) kommen sollte.

¹⁰ (Martin, 1998) (Andersson, 2012)

¹¹ (Hoo, 2005)

b. Fehler bei der Schmierung

i. Unzureichende Schmierung: ¹²

Ohne ausreichende Schmierung kommt es bei Kugelgewindetrieben zu einem Metall-Metall-Kontakt, der die Reibung, die Hitze und den Verschleiß erhöht. Dieser Zustand kann zu schnellem Ausfall und erhöhter Geräuschentwicklung führen, typischerweise ein quietschendes oder schleifendes Geräusch.

1. *Erkennungsmerkmal:* Ein deutlicher Anstieg des Geräuschpegels, oft in Verbindung mit Wärmeentwicklung, ist ein wichtiger Indikator für einen Schmierungsfehler.
2. *Gegenmaßnahme:* Regelmäßige Überprüfung und Aufrechterhaltung des Schmiermittelstands.
3. *Info:* Weitere Informationen dazu finden Sie in unserem [Katalog](#) und den [Betriebsbedingungen](#).

ii. Überschmierung: ¹³

Kann ein „schwappendes“ Geräusch oder eine gedämpfte Bewegung verursachen.

1. *Erkennung:* Übermäßige Öl- oder Fettansammlungen zusammen mit einer schwergängigen Bewegung können auf Überschmierung hinweisen.
2. *Gegenmaßnahme:* Verwenden Sie die vom Hersteller angegebene Menge an Schmiermittel.
3. *Info:* Weitere Informationen dazu finden Sie in unserem [Katalog](#) und den [Betriebsbedingungen](#).

c. Festsetzen (Fressen)

i. Festsetzen aufgrund von Verschmutzung oder thermischen Problemen: ¹⁴

Verunreinigungen oder unzureichende Schmierung können zum Festsetzen des Kugelgewindetriebs führen, was sich durch ein kreischendes Geräusch beim Blockieren des Systems bemerkbar macht. Dieser Zustand führt oft zu einem sofortigen Ausfall, da die Reibung zu schnellem Verschleiß oder Materialschäden führt..

1. *Erkennung:* Ein lautes kreisch Geräusch, gefolgt von einem plötzlichen Stillstand oder starken Vibrationen während des Betriebs.
2. *Gegenmaßnahme:* Verwenden Sie geeignete Dichtungen und sorgen Sie für eine ausreichende Schmierung.

¹² (Grönlund, 2013)

¹³ (Grönlund, 2013)

¹⁴ (Johnson, 1985) (Tinga, 2014)

3. *Info:* Weitere Informationen dazu finden Sie in unserem [Katalog](#) und den [Betriebsbedingungen](#).

3. VIBRATION UND TAKTILE RÜCKMELDUNG

Veränderungen der Systemvibrationen oder eine abnormale Laufruhe können auf sich entwickelnde Probleme hinweisen.

a. Fehlausrichtung

i. Fehlausrichtung von Kugelumlaufspindeln: ¹⁵

Wenn der Kugelgewindetrieb nicht richtig ausgerichtet ist, kommt es zu einer ungleichmäßigen Lastverteilung, wodurch bestimmte Bereiche stärker belastet werden. Dies führt zu erhöhter Vibration und Widerstand während der Bewegung und kann mit der Zeit zu vorzeitigem Verschleiß oder Ermüdung führen.

1. *Erkennen:* Erkennen Sie ungewöhnliche Vibrationen oder Widerstand während der Bewegung, insbesondere bei Richtungswechseln.
2. *Gegenmaßnahme:* Regelmäßige Überprüfung und Neuausrichtung des Kugelgewindesystems.
3. *Info:* Weitere Informationen dazu finden Sie in unseren [Betriebsbedingungen](#).

b. Ermüdung durch Rollkontakt

i. Ermüdung des Wälzkontakts: ¹⁶

Bei wiederholter zyklischer Belastung kommt es zu einer Materialermüdung, die zur Entstehung von Rissen unter der Oberfläche führt. Wenn sich die Risse an der Oberfläche ausbreiten, beginnt das Material abzublatern, was sich durch erhöhte Schwingungen oder Steifigkeit des Systems bemerkbar macht.

1. *Erkennung:* Die Schwingungsanalyse zeigt eine zunehmende Amplitude als Reaktion auf ermüdungsbedingte Schäden.
2. *Gegenmaßnahme:* Reduzieren Sie die Betriebslast und verbessern Sie die Spannungsverteilung durch Anpassung der Vorspannung.
3. *Info:* Hier können wir Sie gerne mit einer neuen Auslegung bzw. Überholung des KGT unterstützen.

¹⁵ (Harris T. , 2001)

¹⁶ (Ioannides, 1985) (Morales-Espejel, 2018)

c. Thermische Ausdehnung und Hitzeschäden

i. Wärmestau:¹⁷

Überhöhte Drehzahlen, hohe Reibung oder unzureichende Kühlung können zu einer thermischen Ausdehnung des Kugelgewindetriebs führen. Diese Ausdehnung kann die Kugellaufbahnen verzerren, was zu Fehlausrichtung, Festsetzen (Fressen) oder übermäßigem Verschleiß und Vibrationen führt.

1. *Erkennen:* Achten Sie auf erhöhte Vibrationen oder Steifigkeit, insbesondere bei längerem Hochgeschwindigkeitsbetrieb.
2. *Gegenmaßnahme:* Installieren Sie Kühlsysteme und überwachen Sie die Temperaturen genau.
3. *Info:* Wir können KGTs mit Hohl-Spindel oder gekühlter Mutter für Sie herstellen, um besonderen Umgebungsbedingungen zu trotzen oder die Erwärmung im Allgemeinen auf einem Minimum zu halten. Sprechen Sie uns an.

KONTAKT/ ANFRAGE

Sie benötigen Unterstützung bei der Reparatur, Instandsetzung oder Überholung Ihres Kugelgewindetriebs (KGT)? Kontaktieren Sie uns wie folgt oder besuchen Sie unsere Webseite:

HESTEGO GmbH

Zeppelinstr. 44/1

73760 Ostfildern

[+49 711 459 98 775](tel:+4971145998775)

vertrieb@hestego.de

hestego-gmbh.de

¹⁷ (Yamaguchi, 2006)

Literaturverzeichnis

- Bhushan, B. (2002). *Introduction to Tribology*. Wiley-Blackwell.
- Celis, J. e. (2006). Tribocorrosion of materials: interplay between chemical, electrochemical, and mechanical reactivity of surfaces. *Wear*(261(9)), 937-946. doi:10.1016/j.wear.2006.03.034
- Gerberich, W. e. (2009). Wear mechanisms in sliding surfaces. *Journal of Tribology*, 131(4), 043401(131(4)), 043401. doi:10.1115/1.3151830
- Grönlund, R. e. (2013). The role of lubrication in the performance of ball screws. *Tribology Transactions*(56(6)), 976-985. doi:10.1080/10402004.2013.809453
- Haines, R. &. (1963). A study of plastic deformation in rolling element bearings. *Proceedings of the Institution of Mechanical Engineers*(177(1)), 1-15. doi:10.1243/PIME_PROC_1963_177_001_02
- Harris, T. &. (2007). *Rolling Bearing Analysis, Volume 1*. Wiley-Interscience.
- Harris, T. (2001). Misalignment effects on rolling element bearings and ball screws. *Journal of Engineering Tribology*(215(4)), 305-310. doi:10.1243/1350650011543481
- Hoo, J. J. (2005). Subsurface crack initiation and propagation in bearing steel under rolling contact fatigue. *Journal of Engineering Tribology*(219(4)), 311-318. doi:10.1243/135065005X32871
- Ioannides, E. &. (1985). A model for the prediction of rolling bearing life. *Journal of Tribology*(107(3)), 367-378. doi:10.1115/1.3261090
- Johnson, K. (1985). Contact mechanics and the role of surface contamination. *Proceedings of the Royal Society of London. Series A, Mathematical and Physical Sciences*,(230(1182)), 531-548. doi:10.1098/rspa.1985.0056
- Keer, L. &. (1983). Rolling contact fatigue and spalling of a bearing race. *Journal of Lubrication Technology*(105(2)), 198-205. doi:10.1115/1.3254555
- Martin, J. A. (1998). Mechanisms of pitting wear in rolling/sliding contacts. *Wear*(215(1)), 75-88. doi:10.1016/S0043-1648(98)00007-6
- Pape, F. (2007). Material and manufacturing influences on ball screw performance. *Procedia CIRP*(37), 323-328. doi:10.1016/j.procir.2007.05.033
- Pascovici, M. &. (2014). False brinelling in rolling bearings. *Tribology International*(80), 14-19. doi:10.1016/j.triboint.2014.06.010
- Stribeck, R. (1902). Die wesentlichen Eigenschaften der Gleit- und Rollenlager. *Zeitschrift des Vereines deutscher Ingenieure*.
- Vincent, L. &. (1997). Fretting Fatigue and Wear: Mechanisms and Performance. *ASTM Special Technical Publication*(1159), 42-53. doi:10.1520/STP1159-EB
- Yamaguchi, A. &. (2006). Thermal behavior of ball screws during high-speed operation. *International Journal of Machine Tools and Manufacture*.