

Inhaltsverzeichnis

1. Vorwort.....	2
1.1 Ziel des Tutorials	2
1.2 Software Version.....	2
1.3 Hinweise	2
2. MESYS Kugelgewindetriebe - Stärken und Möglichkeiten.....	2
3. Software Handbuch	2
3.1 Handbuch online.....	2
3.2 Handbuch als PDF	2
4. Berechnung von Kugelgewindetrieben	2
4.1 Generell	2
4.2 Menü-Funktionen	3
4.3 Einstellungen unter 'Allgemein'	3
4.3.1 Generell	3
4.3.1 Lastkollektiv verwenden	4
4.3.2 COa nach ISO 3408-5 berechnen	4
4.3.3 Ca nach ISO 3408-5 berechnen	4
4.3.4 Faktor für Zuverlässigkeit nach ISO 3408-5 berechnen.....	4
4.3.5 Zwei Druckwinkel eingeben	4
4.3.6 Zuverlässigkeit S	4
4.3.7 Skalierungsfaktor für Spannungen in 3D-Ansicht s	4
4.3.8 Startwinkel für ersten Gang Ψ_0	4
4.3.9 Art der Spielerzeugung	4
4.3.10 Axiale Dehnung der Welle und der Mutter.....	5
4.3.11 Elastische Aufweitung der Ringe	5
4.4 Einstellungen unter Geometrie.....	5
4.4.1 Generell	5
4.4.2 Eingabefelder	5
4.4.3 Eingabe der Geometrie.....	8
4.5 Eingabe der Belastung	8
4.5.1 Generell	8
4.5.2 Koordinatensystem.....	8
4.6 Berechnen	8
4.6.1 Berechnung eines Einzellastfalles	8
4.6.2 Berechnung mehrerer definierter Zustände – Lastkollektiv	9
5. Resultate.....	10
5.1 Aktuelle Resultateübersicht	10
5.1.1 Generell	10
5.1.2 Inhalte definieren.....	11
5.2 Protokolle	11
5.2.1 Hauptprotokoll	11
5.2.2 Resultate-Tabellen	11
5.3 Grafiken	11
6. Auslegung	12
6.1 Methodologie.....	12
6.2 Pressungsverteilung.....	12
6.3 Kugelvord- / -nachlauf	13
6.4 Pressung & Gleitgeschwindigkeit auf grösserer Halbachse	13
6.5 Kontaktabmessungen Ellipse	13
6.6 Optimierung	13
6.6.1 Generell	13
6.6.2 Parametervariation.....	13
6.6.3 Definition der Soll-Vorspannung auf der Basis einer Gesamtbewertung	15
6.6.4 Alternativer Ansatz	16

1. Vorwort

1.1 Ziel des Tutorials

Dieses Starter-Tutorial zu [MESYS Kugelgewindetriebe](#) zeigt die grundlegenden Funktionen der Software und vermittelt erste Eindrücke zur Leistungsfähigkeit der rechnerischen Auslegung von Kugelgewindetrieben. Es behandelt gezielt nur Themen und Einstellungen, die zur Einarbeitung in das Produkt und die Übungsinhalte notwendig sind.

Wenden Sie sich jederzeit ungehindert an [MESYS](#), sollten in der Verwendung der Software Fragen auftauchen.

1.2 Software Version

Dieses Tutorial wurde mit MESYS Kugelgewindetriebe Version 12-2024 erstellt.

1.3. Hinweise

-  Ein blauer Pfeil bedeutet eine Aufforderung an den Leser.
-  Ein grüner Pfeil bedeutet eine Schlussfolgerung oder Wirkung.

2. MESYS Kugelgewindetriebe - Stärken und Möglichkeiten

Um sich ein Bild von den Möglichkeiten des MESYS Kugelgewindetriebe Berechnungs-Moduls zu machen, laden wir Sie herzlich ein, die MESYS-Website an der spezifischen Adresse für [Kugelgewindetriebe](#) zu besuchen.

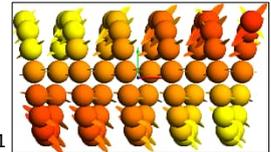


Bild 1

3. Software Handbuch

3.1 Handbuch online

Das [Software-Handbuch](#) ist über die Benutzeroberfläche abrufbar, indem das Menü 'Hilfe' unter dem Punkt 'Handbuch F1' angewählt wird:



Bild 2

Sie können das Software-Handbuch jederzeit auch lokal mit positionsspezifischen Inhalten direkt über Ihre Tastatur F1 öffnen.

3.2 Handbuch als PDF

Das Software-Handbuch finden Sie in den Hauptsprachen auch als PDF im MESYS-Installationsverzeichnis oder direkt auf der MESYS Website unter '[Downloads/Allgemeine Downloads](#)'.

4. Berechnung von Kugelgewindetrieben

4.1 Generell

Die Software MESYS Kugelgewindetriebe berechnet die Lastverteilung in einem Kugelgewindetrieb aufgrund von Axialbelastung, Radialbelastung und Kippmoment, sowie die Lebensdauer analog zu DIN 26281 aus der Lastverteilung.

-  Bitte starten Sie die Software MESYS Kugelgewindetriebe.

Nach dem Start präsentiert sich die Oberfläche der Software in 4 Registerkarten: 'Allgemein', 'Geometrie', 'Konfiguration' und 'Belastung'.

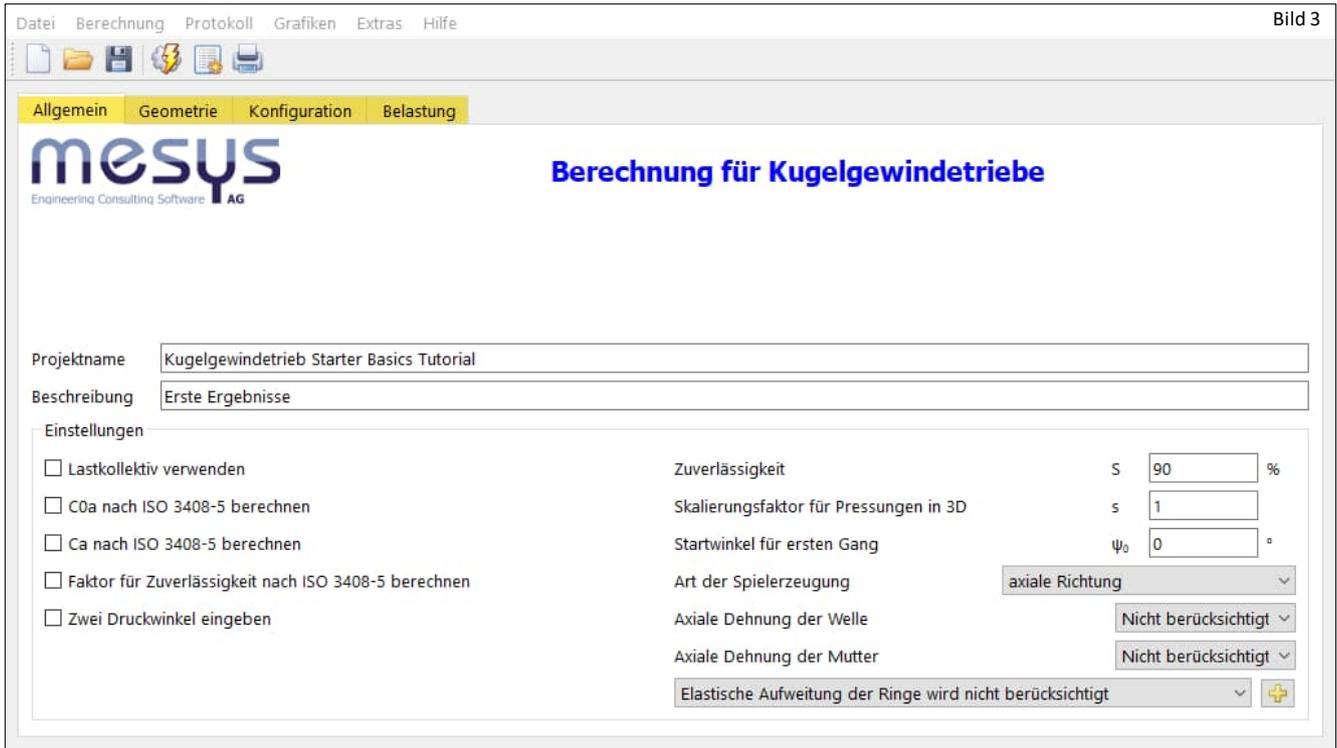


Bild 3

Auf den verschiedenen Reitern wird Ihnen eine Reihe an möglichen Einstellungen geboten. Im Rahmen dieses 'Starter Tutorial' ist es aufgrund des potentiellen Umfangs nicht möglich, im Detail auf alle Funktionen der Software einzugehen. Bitte konsultieren Sie für die entsprechenden Inhalte das Online-Handbuch im Abschnitt '[Eingabeparameter](#)' und den zugehörigen Unterkapiteln.

Wir möchten in der Folge dieses Tutorials im Rahmen eines imaginären Projektes, der Software einige Berechnungsaufgaben übertragen.

➡ Wählen Sie gemäss Bild 3 einen geeigneten Namen und eine Beschreibung für das Projekt.

Lassen Sie uns anhand eines hypothetischen Kugelgewindetriebes, in der Praxis oft verwendete Einstellungen näher betrachten. Gehen Sie davon aus, dass die standardmässigen Voreinstellungen beim Programmstart, für das schrittweise Herangehen einer übliche Kugelgewindetrieb-Berechnung, aufgrund der breiten Verwendung ein guter Einstieg darstellt.

4.2 Menü-Funktionen

Nicht alle Menüs bestehen aus selbsterklärenden Inhalten. Dieses Tutorial führt Sie im Rahmen der gestellten Aufgaben und in der Abwicklung des Eingabeprozesses über die entsprechenden Inhalte und Erklärungen.



Bild 4

4.3 Einstellungen unter 'Allgemein'

4.3.1 Generell

Dieses Tutorial gibt einen vereinfachten Überblick über die unter Reiter 'Allgemein' aufgeführten Einstellungen, die hier entweder genutzt werden oder für das Verständnis wichtig sind. Dabei konzentrieren wir uns auf die wesentlichen Punkte und bitten um Verständnis, wenn einige Funktionen nur an der Oberfläche erwähnt bleiben.

➡ Belassen Sie vorerst alle Einstellungen so wie sie bei Programmstart standardmässig geschaltet sind.

4.3.1 Lastkollektiv verwenden

 Lastkollektiv verwenden

Eine weitere Methode zur Analyse des Anwendungsverhaltens besteht darin, verschiedene Bedingungen oder Lastzustände zu berücksichtigen. Wenn das Kontrollkästchen für 'Lastkollektiv verwenden' aktiviert ist, wird die Eingabemaske unter dem Reiter 'Belastung' als Eingabe-Tabelle dargestellt. Siehe dazu auch Kapitel [4.6.2](#).

4.3.2 COa nach ISO 3408-5 berechnen

Ist diese Option aktiviert, wird die statische Tragzahl gemäss ISO 3408-5 (2006) berechnet; Materialeigenschaften wie E-Modul haben dabei keinen Einfluss.

 COa nach ISO 3408-5 berechnen

Ist die Option deaktiviert, erfolgt die Berechnung ebenfalls nach ISO 3408-5 (2006), jedoch mit Material- / Pressungsfaktor f_0 nach ISO/TR 10657 (2021) anstelle von Bauartfaktor k_0 .

4.3.3 Ca nach ISO 3408-5 berechnen

Ist diese Option aktiv, wird die dynamische Tragzahl mit dem Exponenten 0,86 gemäss Gleichung 8 in ISO 3408-5:2006 berechnet.

Ist sie deaktiviert, wird der Exponent 0,7 verwendet, wie in ISO 281:2007, ISO/TR 1281-1:2008 oder Lundberg et al. (1947).

 Ca nach ISO 3408-5 berechnen

4.3.4 Faktor für Zuverlässigkeit nach ISO 3408-5 berechnen

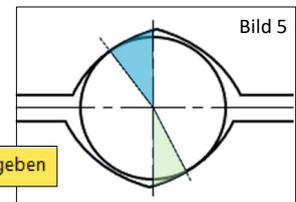
Ist die Option aktiviert, wird der Zuverlässigkeitsfaktor nach der zweiparametrischen Weibull-Verteilung gemäss ISO 3408-5:2006 berechnet.

 Faktor für Zuverlässigkeit nach ISO 3408-5 berechnen

Ist die Option deaktiviert, wird die dreiparametrische Weibull-Verteilung gemäss ISO 281:2007 und ISO/TR 1281-1:2008 verwendet.

4.3.5 Zwei Druckwinkel eingeben

Es können ein oder zwei Kontaktwinkel definiert werden. Unterschiedliche Winkel können für Spindel und Mutter verwendet werden. Der Kontaktwinkel wird über den radialen Kontakt der Kugel zur Spindel oder Mutter bestimmt.


 Zwei Druckwinkel eingeben

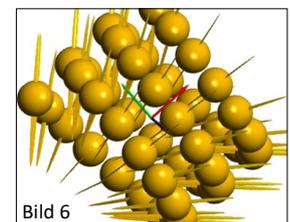
4.3.6 Zuverlässigkeit S

Standardmässig wird die Lagerlebensdauer für eine Zuverlässigkeit von 90 % berechnet. Die gewünschte Zuverlässigkeit kann hier zwischen 90 % und <100 % eingestellt werden.

 %

4.3.7 Skalierungsfaktor für Spannungen in 3D-Ansicht s

Die Spannungsverteilung wird für eine Pressungsverteilung von 4000MPa in der 3D-Ansicht auf $s \cdot D_w$ (Kugeldurchmesser) skaliert (Bild 6).



4.3.8 Startwinkel für ersten Gang Ψ_0

Der Startwinkel definiert die Winkellage des linken Endes des ersten Ganges. Bei einem Winkel von 0° liegt der Start auf der y-Achse. Der Winkel definiert die Position der Mitte der Lücke vor der ersten Kugel.

 °

4.3.9 Art der Spielerzeugung

Der nominelle Druckwinkel, Kugeldurchmesser und die Laufbahnradien bestimmen die Lage der Krümmungsmittelpunkte ohne Spiel.

- axiale Richtung
- axiale Richtung
- radiale Richtung
- in Richtung des Druckwinkels
- Reduktion des Kugeldurchmessers

Vier Möglichkeiten zur Erzeugung von Lagerluft stehen zur Verfügung:

- Axiales Verschieben der Krümmungsmittelpunkte (nur bei gotischen Profilen mit Kontaktwinkel > 0 ; begrenzte max. Radialluft).
- Radiales Verschieben der Krümmungsmittelpunkte.
- Verschieben der Krümmungsmittelpunkte in Richtung des Druckwinkels (nicht bei Kontaktwinkel = 0).
- Reduktion des Kugeldurchmessers (verringert leicht die Tragzahlen).

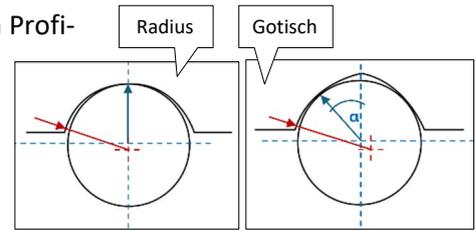
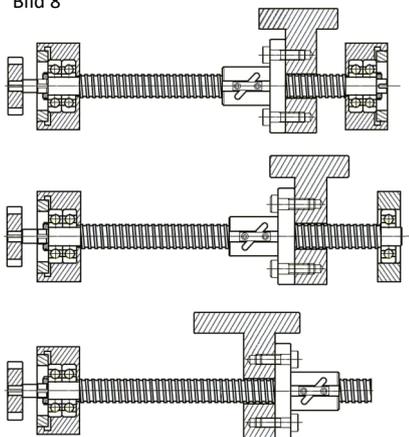


Bild 7

4.3.10 Axiale Dehnung der Welle und der Mutter

Für die axiale Längenänderung von Kugelgewindetrieb und Mutter stehen drei Optionen zur Verfügung: 'Nicht berücksichtigt', 'Links eingespannt', 'Rechts eingespannt'. Wird die Last einseitig eingeleitet, dehnt sich die Spindel axial aus oder staucht sich infolge axialer Spannungen. 'Fest nach links' bedeutet, die Last wird links eingeleitet und die Spannung nimmt nach rechts ab.

Bild 8



Stützen

Fest – Fest

Axiale Dehnung der Welle	Nicht berücksichtigt
Axiale Dehnung der Mutter	Rechts eingespannt

Fest – Los

Axiale Dehnung der Welle	Links eingespannt
Axiale Dehnung der Mutter	Rechts eingespannt

Fest - Frei

Axiale Dehnung der Welle	Links eingespannt
Axiale Dehnung der Mutter	Links eingespannt

4.3.11 Elastische Aufweitung der Ringe

Radialkräfte können zu elastischer Dehnung/Kompression führen. Die Berechnung erfolgt nach der Theorie des dickwandigen Rohres mit konstantem Druck auf Innen- oder Aussenseite, basierend auf minimaler oder mittlerer Kugelkontaktkraft. Bei dieser Option wird der Zustand über die Mutterlänge als konstant betrachtet und ist daher ungeeignet bei Vorhandensein von reinen Kippmomenten.

Elastische Aufweitung der Ringe wird nicht berücksichtigt
 Elastische Aufweitung der Ringe auf Basis der minimalen Radialkraft
 Elastische Aufweitung der Ringe auf Basis der mittleren Radialkraft

Bild 9

4.4 Einstellungen unter Geometrie

4.4.1 Generell

Unter diesem Reiter wird die Geometrie des Kugelgewindetriebs definiert.

4.4.2 Eingabefelder

Anzahl Gänge / Windungen

Hier werden Kugelbahnen und deren Länge bestimmt.

Steigung Ph / Steigungswinkel ϕ / Richtung

Axialer Weg der Mutter pro Umdrehung, alternativ Eingabe über Winkel. Richtung: rechts oder links.

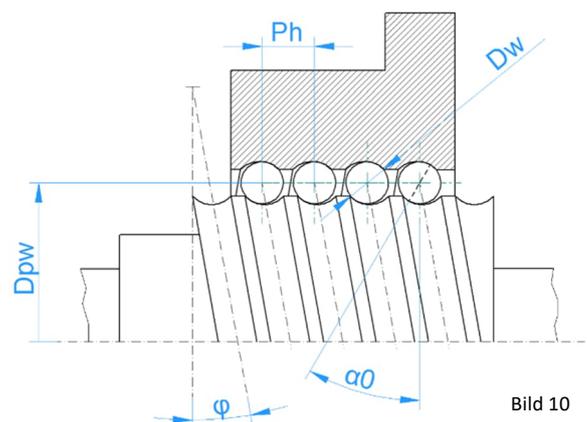


Bild 10

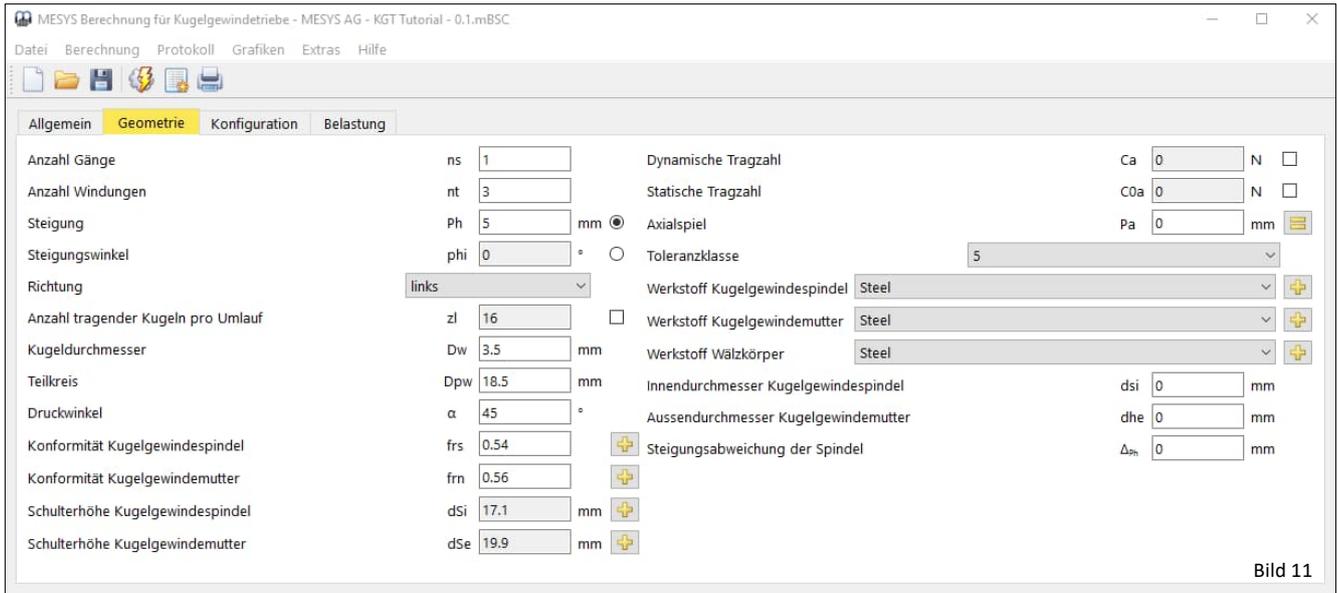


Bild 11

Anzahl tragender Kugeln

Wird üblicherweise automatisch nach ISO 3408-5, 2006 berechnet und kann etwa unter Verwendung von Abstandshalter überschrieben werden.



Kugeldurchmesser

Dw, Basisgrösse für Tragzahl und Kontaktsteifigkeit.

Teilkreis-Durchmesser

Durchmesser Wälzkörperbahn Dpw, Grundlage für Druckwinkel und Geometrie (Bild 10).

Druckwinkel

Optional innen und aussen, bei $\alpha > 0^\circ$ gotische Profilierung, bei 0° Vollradius (Bild rechts).

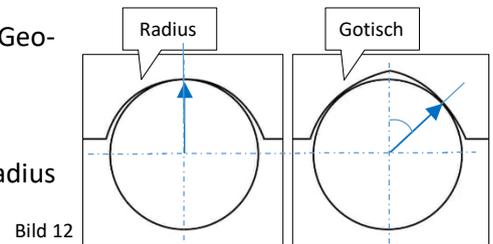


Bild 12

Konformität

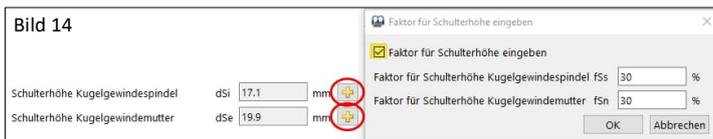
Verhältnis Laufbahn Krümmungsradius/Kugeldurchmesser; muss $> 0,5$ liegen



Bild 13

Schulterhöhen

Der Schulterdurchmesser dS bestimmt die seitliche Abstützung der Laufbahn.



Alternativ kann die Schulterhöhe als Prozentsatz des Kugeldurchmessers (typisch 10–40 %) angegeben werden.

Die Software prüft, ob die Kontaktellipse innerhalb der Schulter liegt – ansonsten die berechneten Pressungen ungültig sind.

Tragzahlen

Können eingegeben oder von der Software berechnet werden. Dynamische Tragzahl für Lebensdauer (ISO 3408-5), statische nach ISO 76 / ISO 3408-5.



Bild 15

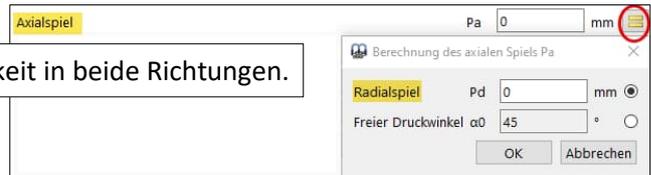
Siehe Optionen gemäss [Kap. 4.3.2](#).

Bild 16

Axialspiel / Vorspannung

Das Axialspiel ist die Differenz der axialen Verschiebbarkeit in beide Richtungen.

Bei gotischem Profil kann das Spiel auch negativ sein (Vorspannung), bei Vollradius-Profil muss es positiv sein.



➔ Eine Vorspannung wird durch Eingabe eines negativen Werts für Pa definiert.

Über die  - Schaltfläche (Bild 16) kann alternativ ein positives Radialspiel eingegeben oder ein freier Druckwinkel für Vollradiusprofile verwendet werden.

Toleranzklasse

Die Toleranzklassen nehmen Bezug auf JIS B 1192-1997, ISO 3408-3:2006 and DIN 69051-3 und fließen in Berechnung der Tragzahlen ein.

Werkstoff

Hier können die Werkstoffe für Spindel, Mutter und Kugeln definiert werden. Über die  - Schaltflächen lassen sich zusätzlich Härte und Wärmebehandlung festlegen. Der Werkstoff der Kugeln beeinflusst lediglich die Kontaktsteifigkeit in der Lastverteilung, wird jedoch bei der Lebensdauerberechnung nicht berücksichtigt.

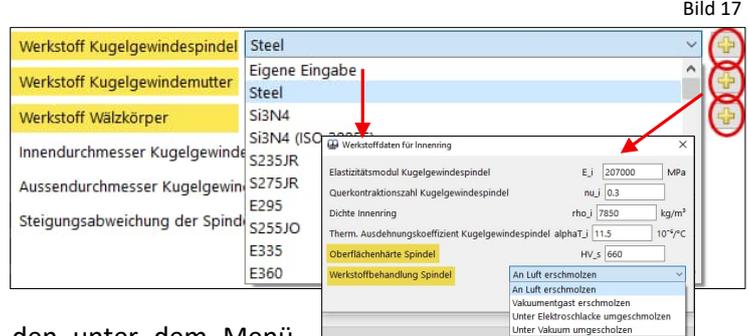


Bild 17

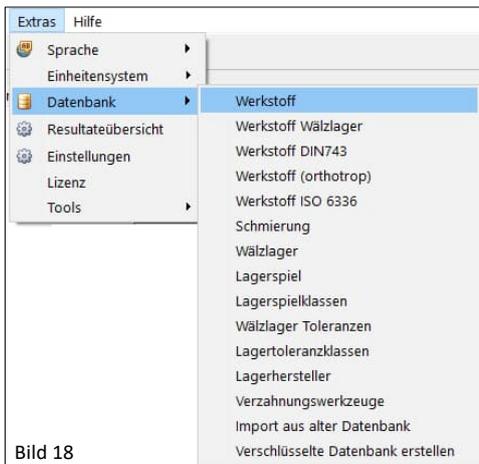


Bild 18

Nebst den unter dem Menü

Extras auffindbaren Links zu etwa Werkstoff-Datenbanken, können auch eigene Datenbankeinträge, beispielsweise zu Material eingetragen, Import aus bestehender Datenbank oder ein verschlüsselter Export von Daten angestossen werden.

Innendurchmesser Kugelgewindespindel

Wird verwendet, wenn eine axiale oder radiale Ausdehnung zu berücksichtigen ist.



Bild 19

Aussendurchmesser Kugelgewindemutter

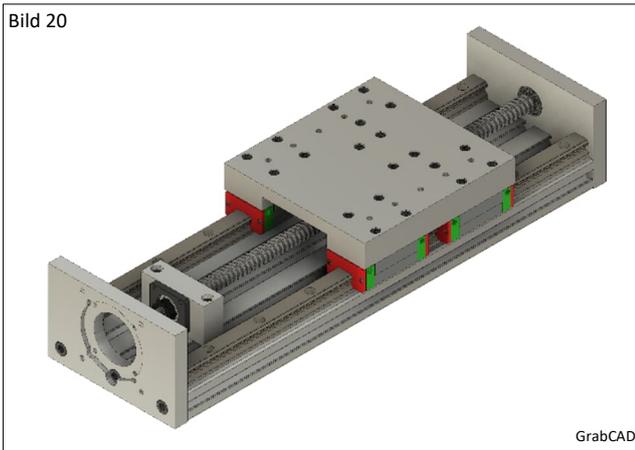
Wird verwendet, wenn eine axiale oder radiale Ausdehnung zu berücksichtigen ist. Bei Eingabewert = 0, wird ein Durchmesser von $D_{pw} + 20 \cdot D_w$ zugrunde gelegt.

Steigungsabweichung der Spindel

Optionale Eingabe, die sich auf die Lastverteilung auswirkt.



4.4.3 Eingabe der Geometrie



Ein imaginärer Positionierantrieb für den Einsatz in Werkzeugmaschinen soll analysiert werden. Folgende Angaben liegen vor:

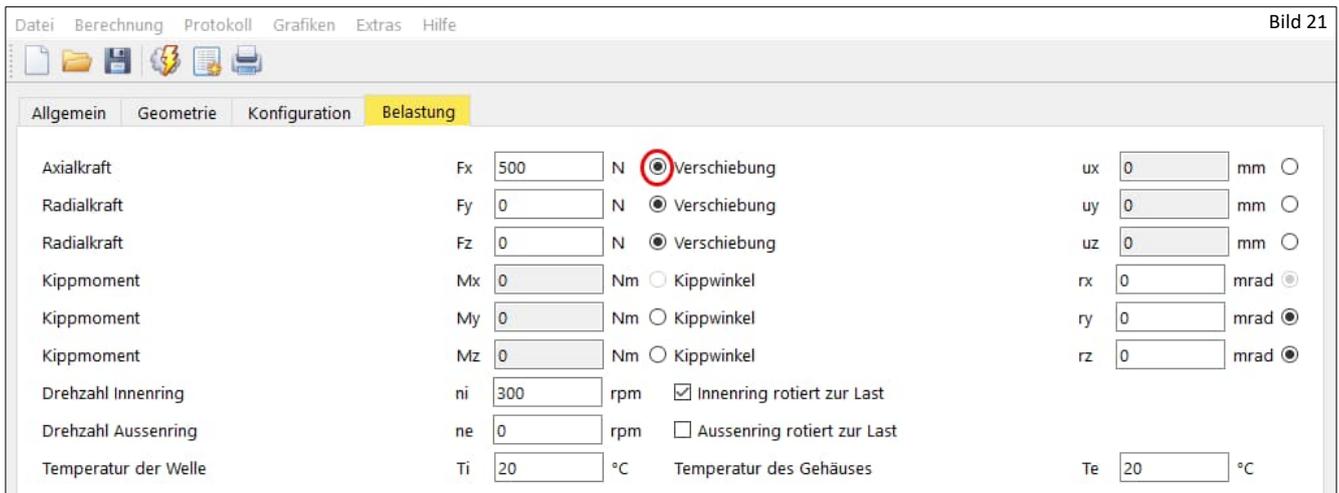
Anzahl Gänge:	1	
Anzahl Windungen:	3	
Steigung:	5	mm
Kugeldurchmesser:	3.5	mm
Teilkreis:	18.5	mm
Druckwinkel:	45	°
Konformität Spindel:	0.54	
Konformität Mutter:	0.56	
Axialspiel:	0	mm

➡ Bitte geben Sie diese Daten unter dem Reiter 'Geometrie' entsprechend ein (Bild 11).

4.5 Eingabe der Belastung

4.5.1 Generell

Für jede Koordinatenrichtung kann wahlweise eine Kraft oder eine Verschiebung eingegeben werden. Momente sind nur in Richtungen Y und Z möglich, da das Drehmoment um die Achse mit der Axialkraft verknüpft ist. Der Rotationswinkel rx beeinflusst nur die axiale Verschiebung.



➡ Vergeben Sie eine Axialkraft von 500 N und eine Drehzahl von 300 rpm gemäss Bild oben.

4.5.2 Koordinatensystem

Die x-Achse entspricht der axialen Richtung, die y-Achse zeigt nach oben zum Spalt vor der ersten Kugel. Der Startwinkel Ψ ist positiv um die x-Achse und beginnt bei null auf der y-Achse; der Startwinkel kann in den Einstellungen geändert werden.

Momente sind positiv um ihre jeweilige Achse. Lasten wirken auf den Innenring, d. h. eine positive Last in y-Richtung belastet die oberen Wälzkörper.

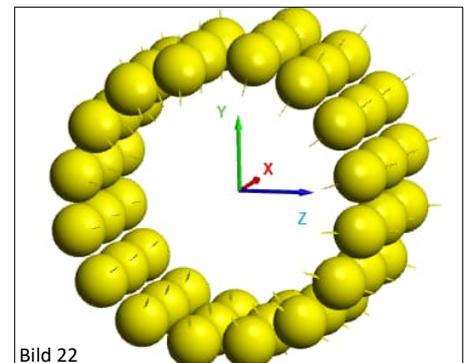


Bild 22

4.6 Berechnen

4.6.1 Berechnung eines Einzellastfalles

Der Berechnungsschritt wird über den Punkt 'Berechnen' (Bild 23), über F5 oder dann über die entsprechende Ikone unter dem Menü-Band gestartet.



Bild 23

➡ Bitte aktivieren Sie den Berechnungsvorgang. 

➡ Damit erhalten wir als Reaktion des axialen Versatzes der Windungen und des aktuellen Startwinkels für den ersten Gang Ψ_0 von 0° , ein Kippmoment um Y (Bild 24).

Axialkraft	Fx	500	N	<input checked="" type="radio"/> Verschiebung	ux	0.00307129	mm	<input type="radio"/>
Radialkraft	Fy	0	N	<input checked="" type="radio"/> Verschiebung	uy	0	mm	<input type="radio"/>
Radialkraft	Fz	0	N	<input checked="" type="radio"/> Verschiebung	uz	0	mm	<input type="radio"/>
Kippmoment	Mx	-0.397887	Nm	<input type="radio"/> Kippwinkel	rx	0	mrاد	<input checked="" type="radio"/>
Kippmoment	My	0.397026	Nm	<input type="radio"/> Kippwinkel	ry	0	mrاد	<input checked="" type="radio"/>
Kippmoment	Mz	-0.0344511	Nm	<input type="radio"/> Kippwinkel	rz	0	mrاد	<input checked="" type="radio"/>

Startwinkel für ersten Gang
 Ψ_0 0 °

Bild 24

➡ Definieren Sie unter Reiter 'Allgemein' den Startwinkel für ersten Gang auf 90° .

➡ Damit wird ein selbiges Kippmoment um Z generiert:

Axialkraft	Fx	500	N	<input checked="" type="radio"/> Verschiebung	ux	0.00307129	mm	<input type="radio"/>
Radialkraft	Fy	0	N	<input checked="" type="radio"/> Verschiebung	uy	0	mm	<input type="radio"/>
Radialkraft	Fz	0	N	<input checked="" type="radio"/> Verschiebung	uz	0	mm	<input type="radio"/>
Kippmoment	Mx	-0.397887	Nm	<input type="radio"/> Kippwinkel	rx	0	mrاد	<input checked="" type="radio"/>
Kippmoment	My	0.0344511	Nm	<input type="radio"/> Kippwinkel	ry	0	mrاد	<input checked="" type="radio"/>
Kippmoment	Mz	0.397026	Nm	<input type="radio"/> Kippwinkel	rz	0	mrاد	<input checked="" type="radio"/>

Startwinkel für ersten Gang
 Ψ_0 90 °

Bild 25

➡ Definieren Sie unter Reiter 'Allgemein' den Startwinkel für ersten Gang wieder auf 0° .

An diesem Punkt angelangt, möchten wir ein ersten substantiellen Belastungszustand eingeben und in der Folge untersuchen.

➡ Geben Sie bitte folgende Belastungen ein:

Fx = 750 N

Fy = -250 N

Mz = 7 Nm

➡ Starten Sie die Berechnung.



Bild 26

Axialkraft	Fx	750	N	<input checked="" type="radio"/> Verschiebung	ux	0.00395655	mm	<input type="radio"/>
Radialkraft	Fy	-250	N	<input checked="" type="radio"/> Verschiebung	uy	0.00217706	mm	<input type="radio"/>
Radialkraft	Fz	0	N	<input checked="" type="radio"/> Verschiebung	uz	-8.06379e-05	mm	<input type="radio"/>
Kippmoment	Mx	-0.596831	Nm	<input type="radio"/> Kippwinkel	rx	0	mrاد	<input checked="" type="radio"/>
Kippmoment	My	0.87243	Nm	<input type="radio"/> Kippwinkel	ry	0	mrاد	<input checked="" type="radio"/>
Kippmoment	Mz	7	Nm	<input checked="" type="radio"/> Kippwinkel	rz	0.576454	mrاد	<input type="radio"/>
Drehzahl Innenring	ni	300	rpm	<input checked="" type="checkbox"/> Innenring rotiert zur Last				

➡ Die Ausgabe der Resultate erfolgt direkt in der Maske für die Eingabe der Belastungen.

4.6.2. Berechnung mehrerer definierter Zustände – Lastkollektiv

Wenn im Reiter Allgemein die Berechnung mit Lastkollektiv aktiviert ist (siehe [Kap. 4.3.1](#)), wird anstelle eines Einzellastfalls das gesamte Kollektiv berechnet. Für jedes Element können Last oder Verschiebung, Drehzahl und Temperatur eingegeben werden. Über das Kontextmenü (rechte Maustaste) wählen Sie, ob Kräfte/Momente oder Verschiebungen/Drehungen verwendet werden (Bild 27).

Zeilen lassen sich mit der  -Schaltfläche hinzufügen oder mittels  löschen;  löscht alle Eingaben. Mit der Import-Schaltfläche  kann ein Lastkollektiv aus einer Datei eingelesen werden (Spalten und Einheiten müssen übereinstimmen). Ebenso ist ein Export über die Schaltfläche  möglich.

Datei Berechnung Protokoll Grafiken Extras Hilfe Bild 27

Allgemein Geometrie Konfiguration **Belastung**

	Häufigkeit	Fx [N]	Fy [N]	Fz [N]	rx [mrad]	ry [mrad]	Mz [Nm]	ni [rpm]	ne [rpm]	Ti [°C]	Te [°C]
1	0.3	750	-250	0	0	0	7	300	0	20	20
2	0.3	700	-225	0	0	0	6	400	0	20	20
3	0.4	650	-200	0	0	0	5	500	0	20	20

- Fx eingeben
- Fy eingeben
- Fz eingeben
- My eingeben
- Mz eingeben

Aktivieren Sie unter dem Reiter 'Allgemein' die Option 'Lastkollektiv verwenden'.
 Geben Sie das Lastkollektiv wie oben gezeigt ein.
 Starten Sie die Berechnung.

Innenring rotiert zur Last Aussenring rotiert zur Last Resultate für Nr 1

Wie beim Einzellastfall kann eingestellt werden, ob sich der Ring relativ zur Last dreht. Die Lastverteilung wird für jedes Element berechnet, die Ergebnisse zeigen die Lebensdauer des gesamten Kollektivs sowie die minimale statische Sicherheit. Elemente aus dem Graphik-Menü erscheinen nur für das auf dieser Seite gewählte Element.

5. Resultate

5.1 Aktuelle Resultateübersicht

5.1.1 Generell

In der Resultateübersicht am unteren Rand der Benutzeroberfläche werden die wesentlichen Resultate dargestellt, die sich nach Eingaben aus [Kap. 4.6.2](#) mit Lastkollektiv wie folgt ergeben:

Resultateübersicht						
Referenzlebensdauer	L10rh	12210.1	h	Referenzlebensdauer	L10r	300.368
Maximale Pressung	pmax	2169.8	MPa	Statischer Sicherheitsfaktor	S0eff	7.2281
Abstand zwischen den Wälzkörpern	δRE	0.122675	mm	Axiale Steifigkeit	cxx	0 N/mm

Bild 28


 Vergleichen Sie die Systemlebensdauer L10rh in der Resultateübersicht mit der Einzellastfall-Berechnung aus [Kap. 4.6.1](#):

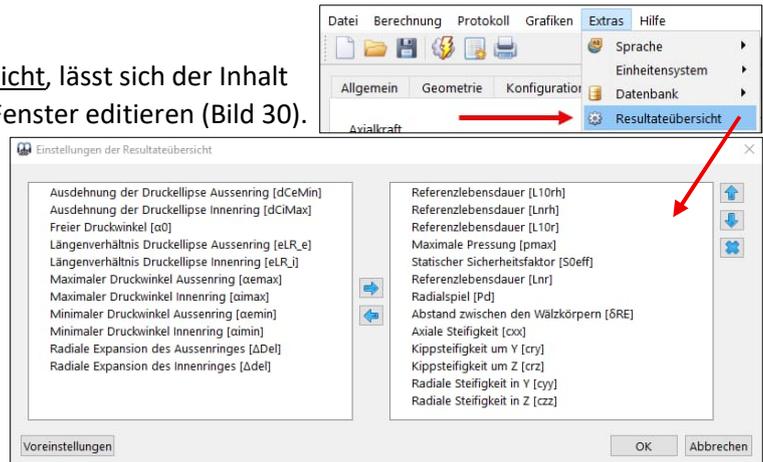
Resultateübersicht						
Referenzlebensdauer	L10rh	10744.8	h	Referenzlebensdauer	L10r	193.407
Maximale Pressung	pmax	2169.8	MPa	Statischer Sicherheitsfaktor	S0eff	7.2281
Abstand zwischen den Wälzkörpern	δRE	0.122675	mm	Axiale Steifigkeit	cxx	323552 N/mm

Bild 29

5.1.2 Inhalte definieren

Mittels dem Menüpunkt Extras/Resultateübersicht, lässt sich der Inhalt der Benutzeroberfläche befindliche Resultate-Fenster editieren (Bild 30).

Bild 30



5.2 Protokolle

5.2.1 Hauptprotokoll

Protokolle sind in verschiedenen Ausführungen verfügbar.

Ein Haupt-Protokoll als PDF oder DOCX mit Standard-Inhalt sowie mittels 'Protokoll Optionen' zu steuerbaren weiteren Inhalten sind über Menü 'Protokoll' abrufbar.

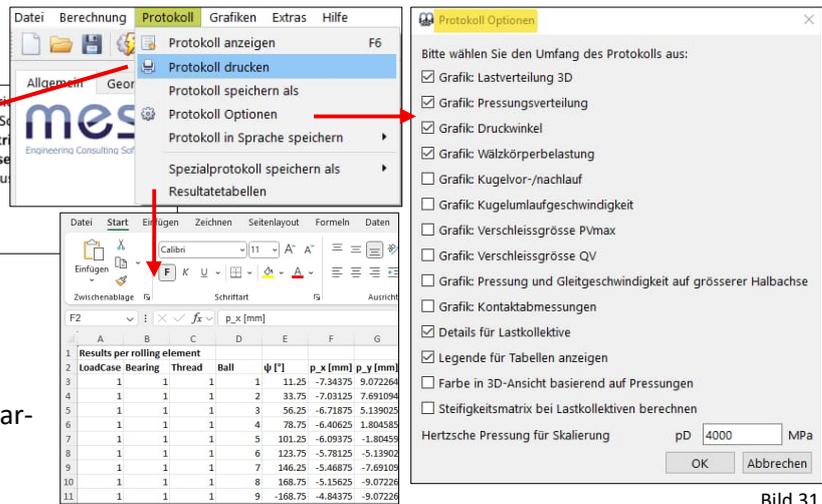


Bild 31

5.2.2 Resultate-Tabellen

Resultate-Tabellen können zur Weiterverarbeitung im XLSX-Format geöffnet werden.

Results per rolling element						
LoadCase	Bearing	Thread	Ball	ψ [°]	p_x [mm]	p_y [mm]
1	1	1	1	1	11.25	-7.94375
2	1	1	1	2	33.75	-7.68125
3	1	1	1	3	56.25	-6.71875
4	1	1	1	4	78.75	-6.40625
5	1	1	1	5	101.25	-6.09375
6	1	1	1	6	123.75	-5.78125
7	1	1	1	7	146.25	-5.46875
8	1	1	1	8	168.75	-5.15625
9	1	1	1	9	191.25	-4.84375

5.3 Grafiken

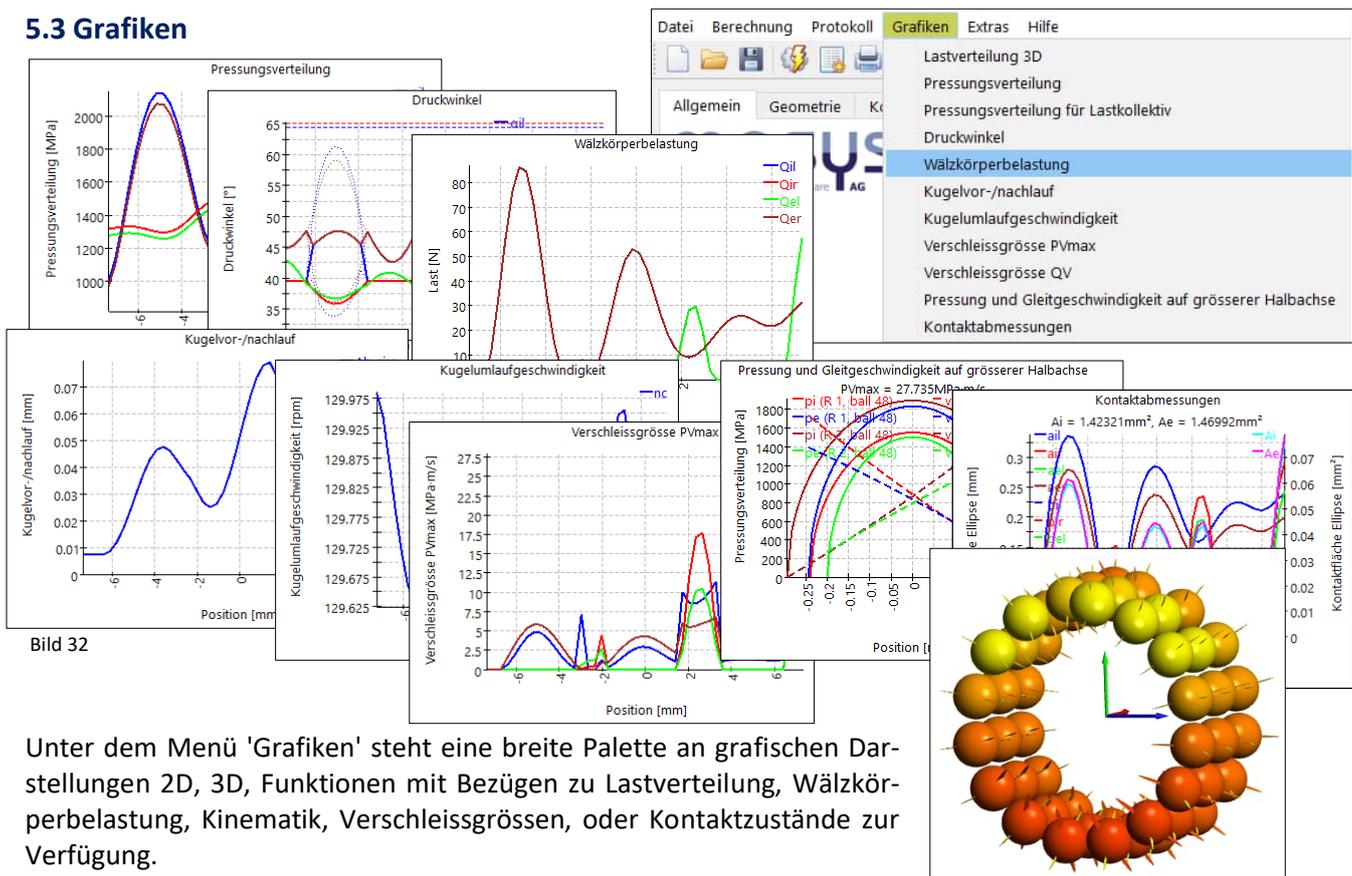


Bild 32

Unter dem Menü 'Grafiken' steht eine breite Palette an grafischen Darstellungen 2D, 3D, Funktionen mit Bezügen zu Lastverteilung, Wälzkörperbelastung, Kinematik, Verschleissgrössen, oder Kontaktzustände zur Verfügung.

Die Grafiken können mit aktuellen Ausgaben an die Hauptprogramm-Oberfläche angedockt werden und sind nach jeder Berechnung automatisch aktualisiert.

The screenshot shows the MESYS software interface with several panels:

- Belastung (Load) Panel:** Contains input fields for forces (Fx, Fy, Fz), moments (Mx, My, Mz), and speeds (ni, ne). It also has radio buttons for 'Verschiebung' (displacement) and 'Kippwinkel' (tilt angle).
- Resultateübersicht (Results Overview) Panel:** Lists key parameters like 'Referenzlebensdauer' (reference life), 'Maximale Pressung' (maximum pressure), and 'Statischer Sicherheitsfaktor' (static safety factor).
- Graphs:**
 - Verschleissgrösse PVmax:** A line graph showing wear magnitude over position.
 - Druckwinkel (Pressure Angle):** A line graph showing pressure angle over position.
 - Wälzkörperbelastung (Rolling Element Load):** A line graph showing load on individual balls over position.
 - Kugelvorn-/nachlauf (Ball Lead/Lag):** A line graph showing ball lead/lag over position.

A blue arrow points to a text box: "Die Darstellungen können mit drag & drop in die Benutzeroberfläche unter die Menüleiste oder wie hier abgebildet in die Resultate-Übersicht gezogen werden." (The displays can be dragged & dropped into the user interface under the menu bar or, as shown here, into the results overview.)

Bild 33

Bitte editieren Sie die Protokoll-Optionen und drucken Sie das Protokoll aus.

6. Auslegung

6.1 Methodologie

Die erfolgreiche Auslegung eines Kugelgewindetriebes folgt einer bewährten Methodologie. Die MESYS Berechnung für Kugelgewindetriebe bietet hierbei entscheidende Unterstützung und übernimmt einen Grossteil der notwendigen Aufgaben. Im Folgenden möchten wir gemeinsam einige der hilfreichsten Schritte für den unter [Kap. 4.6.1](#) betrachteten Einzellastfall durchgehen.

6.2 Pressungsverteilung

Die über das 'Grafiken' Menü aktivierte Diagramm der Pressungsverteilung zeigt die Kontaktpressung, welche für jede Kugel und alle vier möglichen Kontaktstellen berechnet wird. In unserem betrachteten Einzellastfall aus Kap. 4.6.1 zeigt die innere Laufbahn rechts (pir) und die äussere Laufbahn links (pel) abschnittsweise 0 MPa (Bild 34). Das Diagramm zeigt also insbesondere durch pir (rot) und pel (grün) 2-Punkt (MPa = 0) sowie 4-Punkt Kontaktzustände.

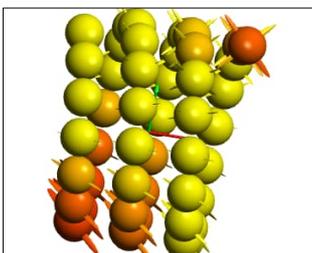


Bild 35: 2-Punkt und 4-Punkt Kontaktzustände

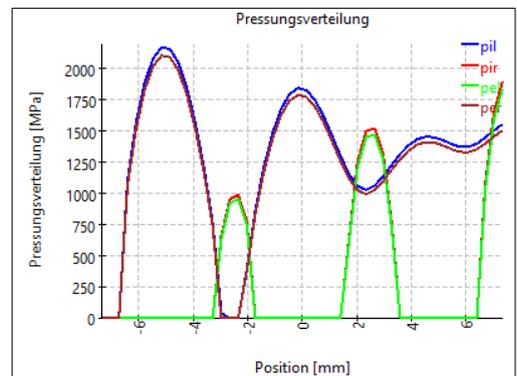


Bild 34

Bild 36

6.3 Kugelvord- / nachlauf

Das im Menü Grafiken aktivierte Diagramm zum Kugelvord- und -Nachlauf basiert auf der Annahme, dass die Umlaufgeschwindigkeit jeder Kugel innerhalb eines Abschnitts konstant ist. Aufgrund unterschiedlicher Kontaktwinkel variiert die Umlaufgeschwindigkeit jedoch zwischen den einzelnen Wälzkörpern (Bild 36).

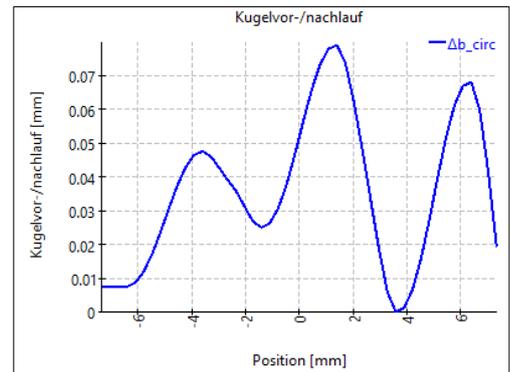
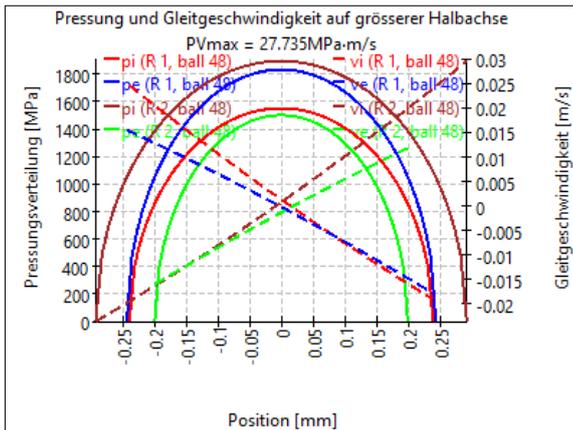
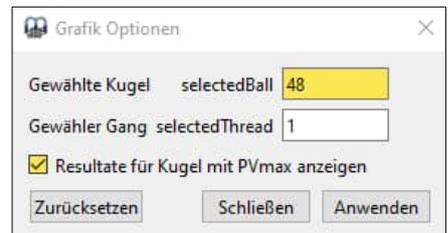


Bild 37



6.4 Pressung & Gleitgeschwindigkeit auf grösserer Halbachse

Dieses ebenso im Menü Grafiken aktivierte Diagramm bringt die Verläufe von Pressung und Gleitgeschwindigkeit in Bezug zueinander, indem für die gewählte Kugel, entlang der grossen Achse der Kontaktellipse die aktuellen Werte dargestellt werden (Bild 37).



Über die Grafikoptionen kann eine andere Kugel oder diejenige mit dem aktuell höchsten PV-Wert ausgewählt werden (Bild 38).

Bild 38

6.5 Kontaktmessungen Ellipse

Das via Menü Grafiken aktivierbare Diagramm zeigt die Halbachsen der Druckellipsen über die Position, wobei mit den gestrichelten Linien die kürzere Halbachse gezeigt wird.

- ➔ Die numerischen Werte sind über die Resultatetabellen ([Kap. 5.2.2](#)) abrufbar.
- ➔ Die gestrichelten Linien 'bi' / 'be' entsprechen den kleinen Halbachsen.
- ➔ Die Werte Ai / Ae unter dem Diagrammtitel entsprechen den Flächensummen über die Mutterlänge.

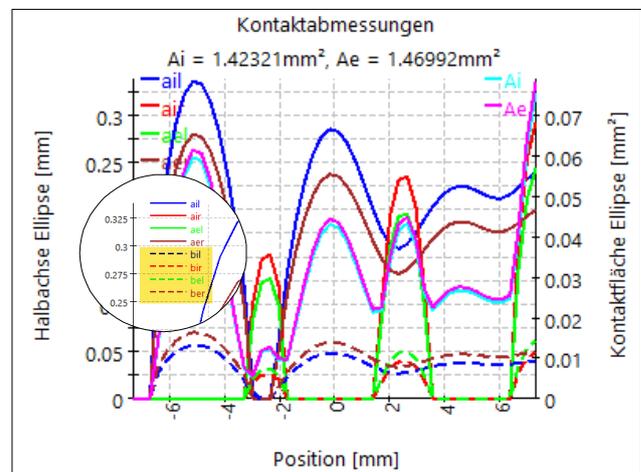


Bild 39

6.6 Optimierung

6.6.1 Generell

Auf der Suche nach einem steiferen System könnte beispielsweise eine Vergabe von axialer Vorspannung ein praktikabler Ansatz darstellen. Um einen Anhaltspunkt für einen geeigneten Vorspannwert zu erhalten, empfiehlt sich eine Untersuchung über die Parametervariation.

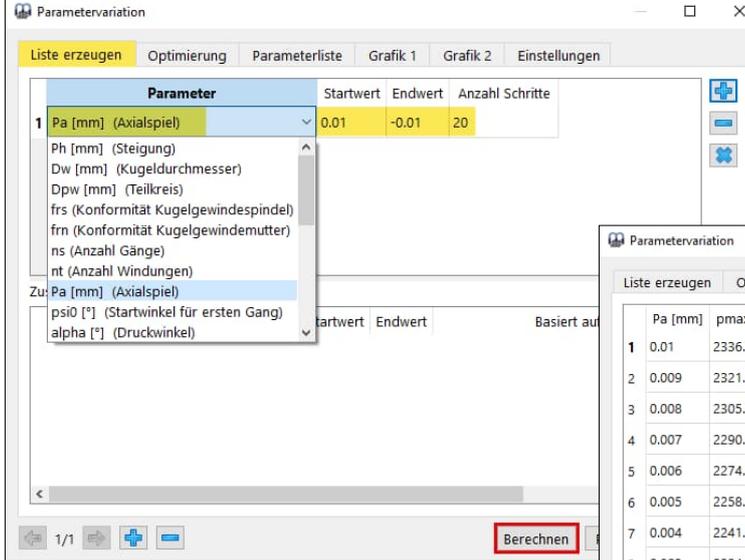
6.6.2 Parametervariation

Über den Menüpunkt 'Berechnung'/'Parametervariation' wird ein Dialog für Parametervariationen angezeigt (Bild 40). Er ermöglicht es dem Anwender, Parameterstudien durchzuführen, deren Ergebnisse in exportierbare Tabellen und Grafiken dargestellt werden.



Bild 40

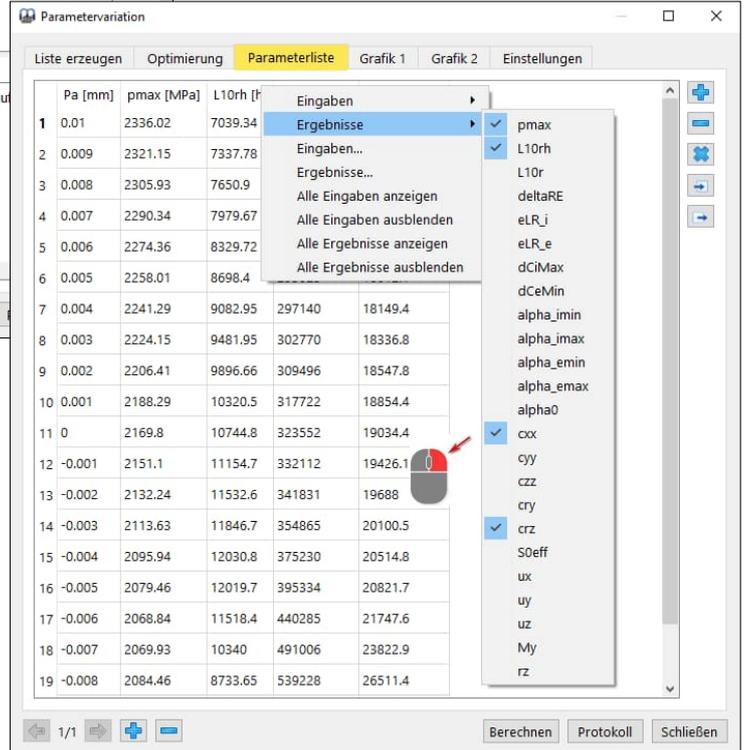
Optional kann im Dialog der Parametervariation über den Reiter 'Optimierung' ein Optimierungsschritt unter Einhaltung von Bedingungen zur Maximierung oder Minimierung der gewünschten Resultate verwendet werden. Sehen Sie für weiterführende Informationen zu Parametervariation die entsprechenden Einträge im [Handbuch](#).



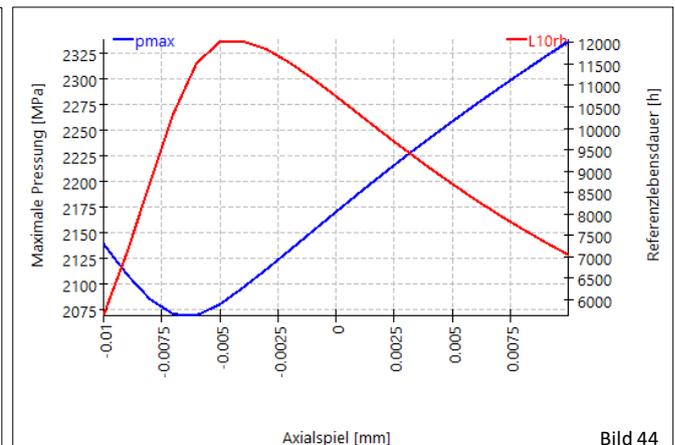
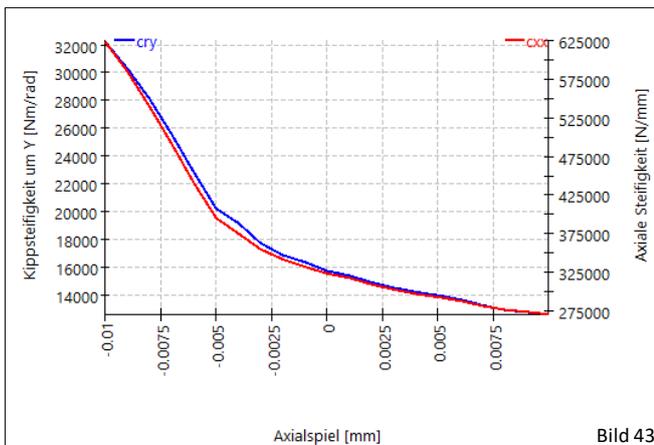
Bitte vergeben Sie dem Wert Pa eine Varianz von 0.01 bis -0.01 mm unter 20 Schritten, wie im Bild links gezeigt.

Starten Sie die Berechnung über die vorgesehene Schaltfläche.

- ➔ Aktivieren Sie in der Parameterliste die gewünschten Werte über das Kontextmenü (Bild 42).
- ➔ Stellen Sie über Grafik 1 & 2 die Beziehungen cxx & crz über Axialspiel, sowie pmax & L10rh über Axialspiel dar (Bild 43 / 44).



Pa [mm]	pmax [MPa]	L10rh [h]
1 0.01	2336.02	7039.34
2 0.009	2321.15	7337.78
3 0.008	2305.93	7650.9
4 0.007	2290.34	7979.67
5 0.006	2274.36	8329.72
6 0.005	2258.01	8698.4
7 0.004	2241.29	9082.95
8 0.003	2224.15	9481.95
9 0.002	2206.41	9896.66
10 0.001	2188.29	10320.5
11 0	2169.8	10744.8
12 -0.001	2151.1	11154.7
13 -0.002	2132.24	11532.6
14 -0.003	2113.63	11846.7
15 -0.004	2095.94	12030.8
16 -0.005	2079.46	12019.7
17 -0.006	2068.84	11518.4
18 -0.007	2069.93	10340
19 -0.008	2084.46	8733.65



- ➔ Es ist ersichtlich, dass eine Zunahme der axialen Vorspannung der Steifigkeit klar zuträglich ist und die Lebensdauer ein Optimum bei 4 µm axialer Vorspannung erhält.
- ➔ Es gilt zu beachten, dass Vorspannung in ihrer Wirkung aber auch Verschleisskenngrößen PVmax und QV erhöhen. Bei hochdrehenden Anwendungen ist daher eine geeignete Abstimmung zu finden.

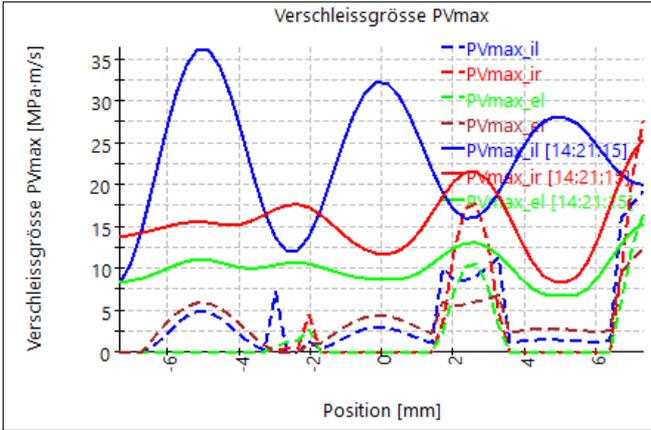


Bild 45: Einzellastfall; PVmax bei Pa = -0.01 mm (Vorspannung)
 Gestrichelt: ohne Vorspannung

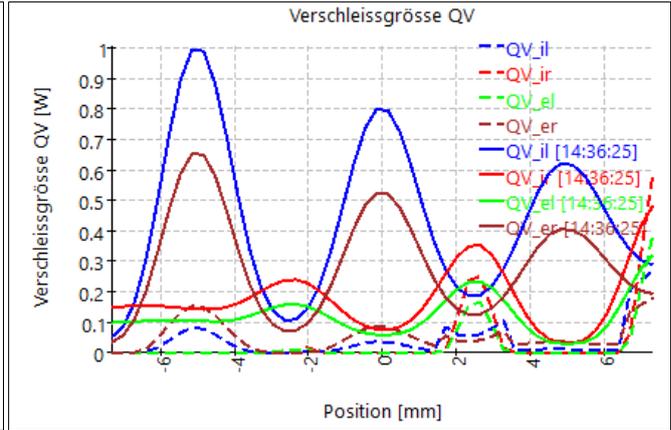


Bild 46: Einzellastfall; QV bei Pa = -0.01 mm (Vorspannung)
 Gestrichelt: ohne Vorspannung

6.6.3 Definition der Soll-Vorspannung auf der Basis einer Gesamtbewertung

Für eine abschliessende Bewertung soll auf der Basis der gegebenen grafischen Resultate eine übergreifende Einstellung für unseren Einzellastfall gesucht werden.

Pressungsverteilung (Kap. 6.2):

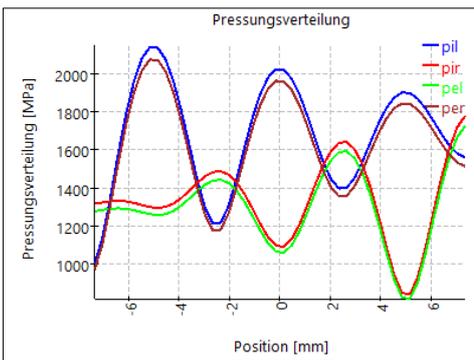


Bild 47

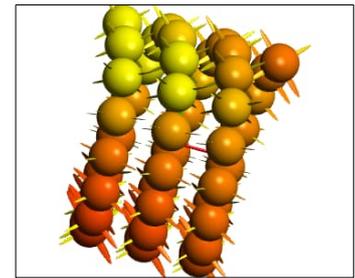


Pa von -0.01 mm erzeugt einen 4-Punkt Kontakt über die ganze Mutterlänge (Bild 47 / 48).



Eine entsprechende Steifigkeitszunahme sollte den in Funktion der anvisierten Drehzahlen resultierenden Verschleissgrössen gegenübergestellt und bewertet werden.

Bild 48: Reiner 4-Punkt Kontaktzustand



Kugelvorn- / -nachlauf (Kap. 6.3):



Dieser Parameter der Kinematik kann mit einem Pa von -0.01 mm von vormals 0.07 mm auf 0.0225 reduziert werden.

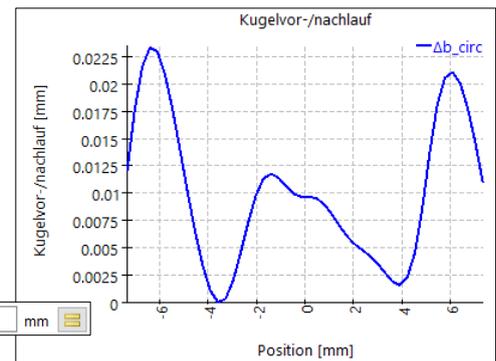
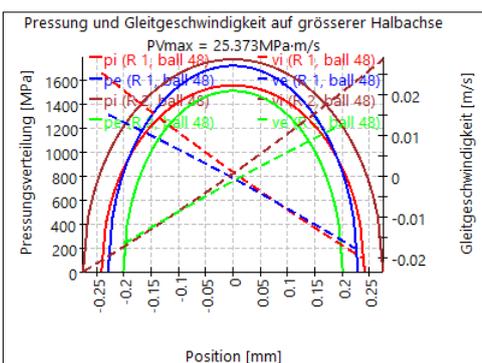


Bild 49

Pressung & Gleitgeschwindigkeit auf grösserer Halbachse (Kap. 6.4):

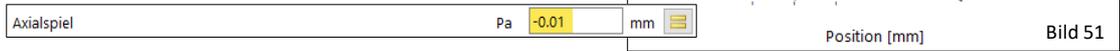


PVmax kann an Kugel 48 mit einem Pa von -0.01 mm auf 25.373 MPa·m/s gesenkt werden. Diese Wirkung hält einer Gesamtbewertung der Anwendung selbstverständlich nicht stand.

Bild 50

Kontaktabmessungen Ellipse (Kap. 6.5):

Die Halbachsen der Kontaktellipsen und entsprechend die Kontaktflächen weisen unter Vorspannung Kongruenz mit der Pressungsverteilung auf.



6.6.4 Alternativer Ansatz

Mittels einem Alternativen Ansatz über eine vorgespannte Doppelmutter (Bild 53), soll die Kippsteifigkeit um Y optimiert werden.

Dazu soll die Anzahl Windungen pro Seite auf 2 reduziert werden:

Bild 52

Allgemein	Geometrie	Konfiguration	Belastung
Anzahl Gänge	ns	1	
Anzahl Windungen	nt	2	
Steigung	Ph	5	mm

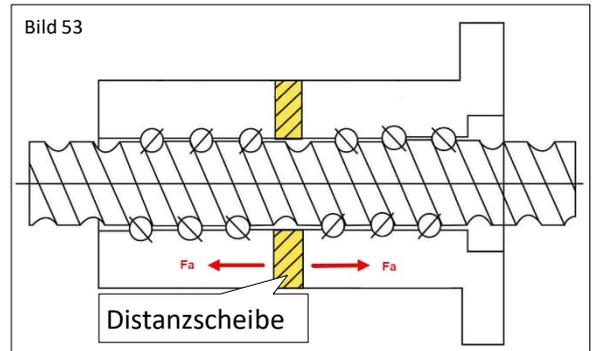
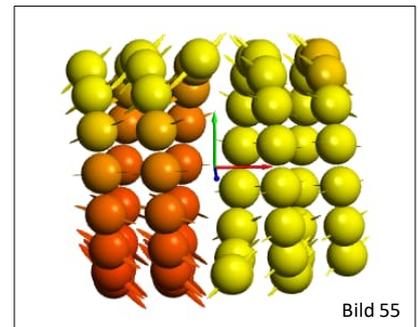


Bild 54

Allgemein	Geometrie	Konfiguration	Bela
<input checked="" type="checkbox"/> Mehrere Kugelgewindemuttern berücksichtigen			
Position [mm]	Versatz [mm]		
1 -6	0		
2 6	0		

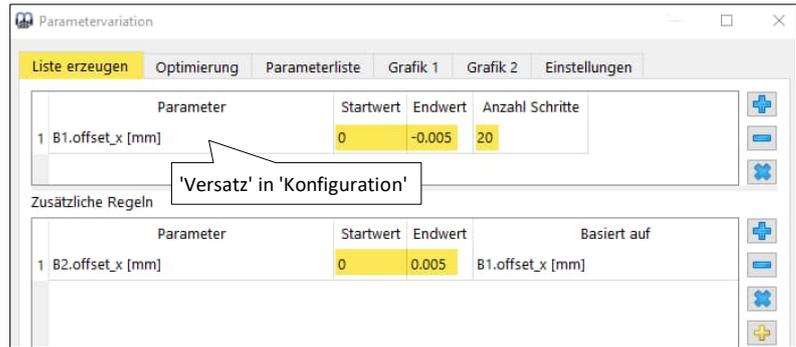
Fügen Sie unter dem Reiter 'Konfiguration' 2 Zeilen mittels der + - Schaltfläche ein und vergeben Sie je eine Distanz von 6 mm vom Koordinatenursprung (Bild 54).



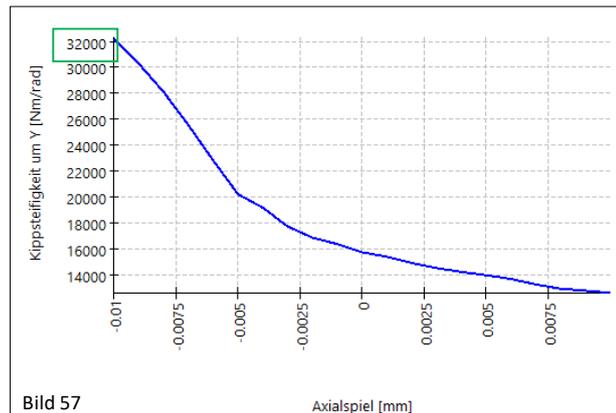
Überprüfen Sie das Layout über Menü Grafiken/Lastverteilung 3D (Bild 55).

Bitte starten Sie die Parametervariation.

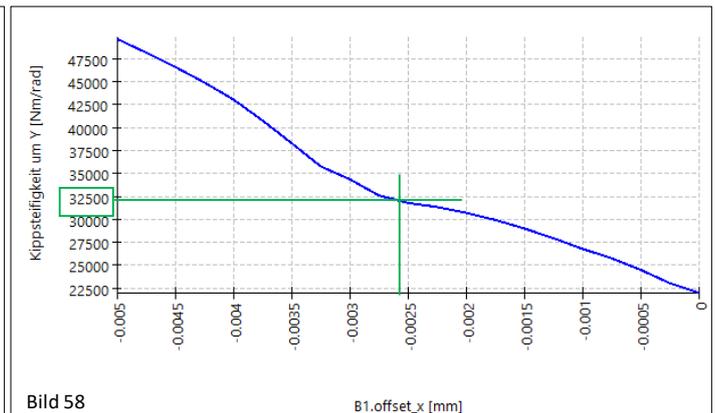
Mit Hilfe der Parametervariation lässt sich zeigen, dass bei gleichen Belastungen wie in Kap. 4.6.1 für den Einzellastfall bereits mit rund 50 % geringerem Vorspannweg eine gleichwertige Kippsteifigkeit in Y erreicht werden kann (Bild 57 / 58).

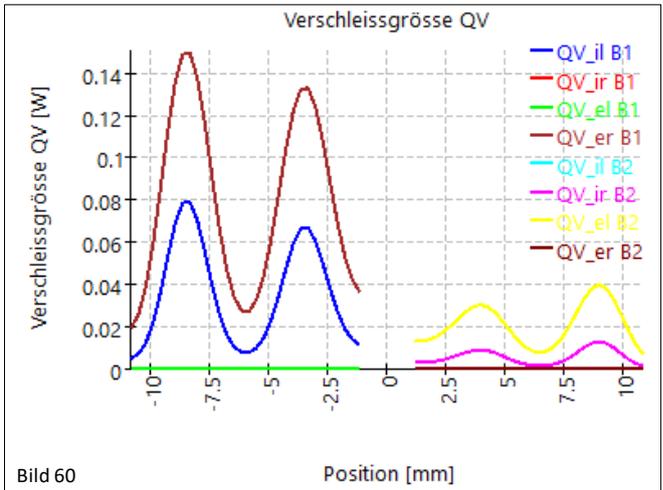
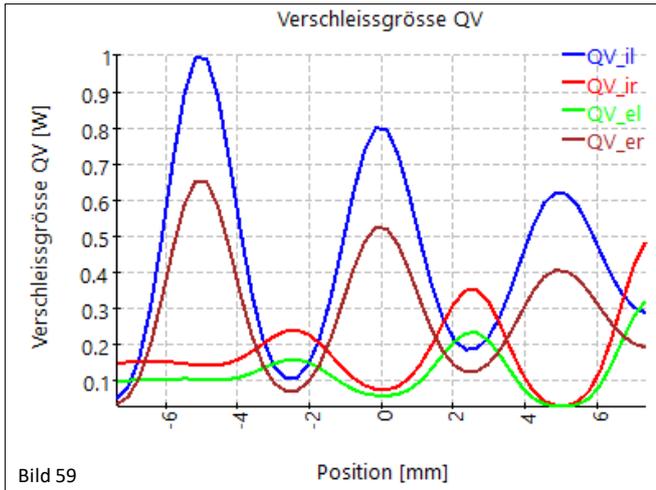


Einzelmutter, 3 Windungen:

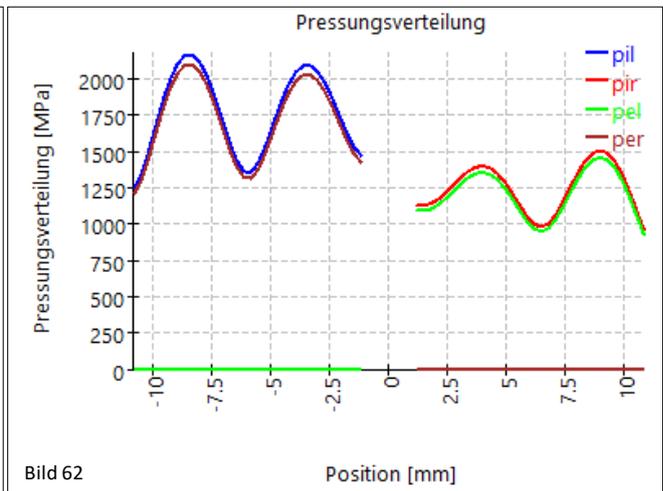
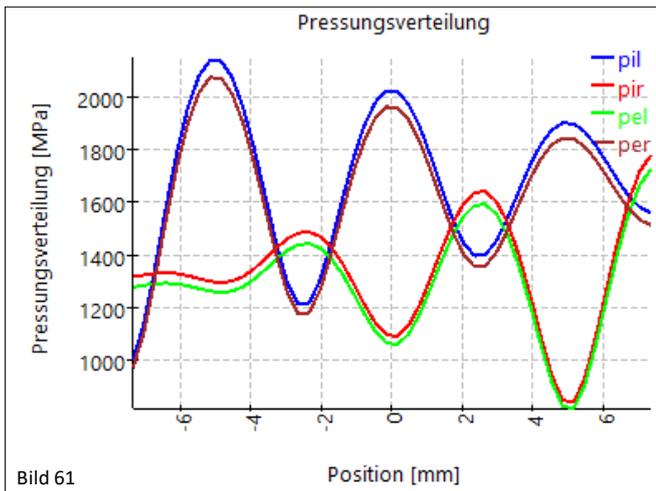


Doppelmutter, je 2 Windungen:

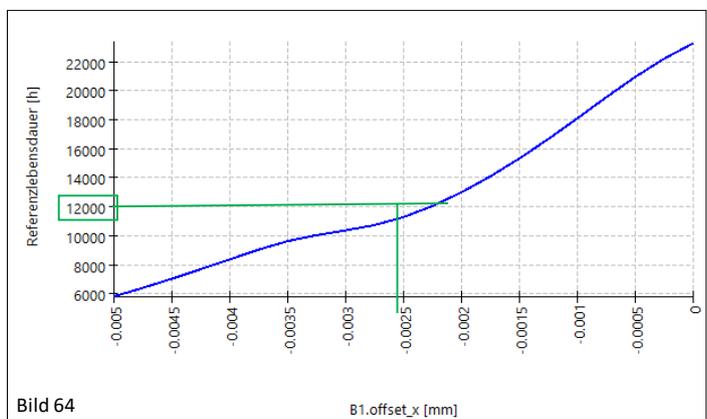
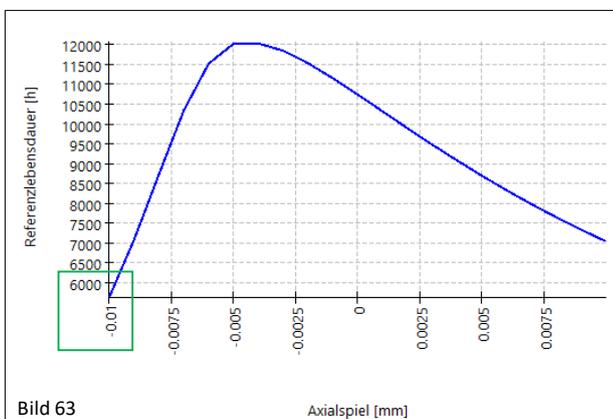




➔ Die Reduktion des max. Wertes für Verschleissgrösse QV beträgt unter Einsatz der gespannten Doppelmutter für QV_il 92 % und für QV_er 77 % gegenüber der gespannten Einzelmutter.



➔ Von einem reinen Betrieb unter 4-Punkte Kontakt (Bild 61) bei der gespannten Einzelmutter, kann unter Einsatz einer gespannten Doppelmutter über die gesamte Länge mit verschleissoptimalem 2-Punkt Kontakt gefahren werden (Bild 62).



➔ Der Einsatz einer gespannten Doppelmutter zeigt eine potenzielle Lebensdauer-Zunahme um 100 % gegenüber einer rein steifigkeitsoptimierten vorgespannten Einzelmutter selber Steifigkeit (Bild 63 / 64).

MESYS wünscht Ihnen eine lehrreiche und gewinnbringende Erfahrung mit unseren Tutorials. Bitte wenden Sie sich ungehindert bei Unklarheiten, Anregungen oder Fragen, an info@mesys.ch.