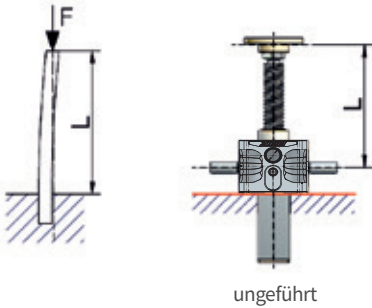




Kritische Knickkraft der Hubspindel

Euler 1



Formel:

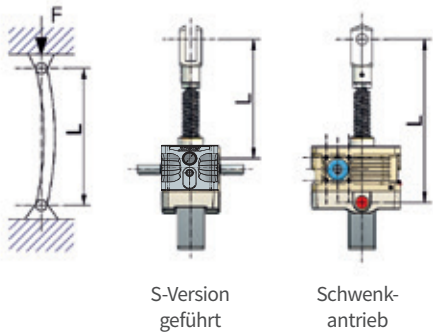
$$I = \frac{F \times v \times (L \times 2)^2}{\pi^2 \times E} \quad \text{dann } d = \sqrt[4]{\frac{I \times 64}{\pi}}$$

Beispiel:

$$I = \frac{45.000 \text{ N} \times 3 \times (1.320 \text{ mm} \times 2)^2}{\pi^2 \times 210.000 \text{ N/mm}^2} = 9,40896^{11} \text{ mm}^4 = 453.965,22 \text{ mm}^4$$

$$d = \sqrt[4]{\frac{453.965,22 \text{ mm}^4 \times 64}{\pi}} = 55,15 \text{ mm Mindest-Kerndurchmesser} = \text{Z-250 (Spindel-Kern}\varnothing = 59,6 \text{ mm)}$$

Euler 2



Formel:

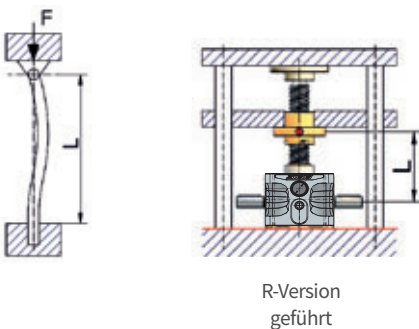
$$I = \frac{F \times v \times L^2}{\pi^2 \times E} \quad \text{dann } d = \sqrt[4]{\frac{I \times 64}{\pi}}$$

Beispiel:

$$I = \frac{45.000 \text{ N} \times 3 \times (1.320 \text{ mm})^2}{\pi^2 \times 210.000 \text{ N/mm}^2} = \frac{2,35224^{11} \text{ mm}^4}{2.072.616,924} = 113.491,305 \text{ mm}^4$$

$$d = \sqrt[4]{\frac{113.491,305 \text{ mm}^4 \times 64}{\pi}} = 38,99 \text{ mm Mindest-Kerndurchmesser} = \text{ZE-100 (Spindel-Kern}\varnothing = 43,6 \text{ mm)}$$

Euler 3



Formel:

$$I = \frac{F \times v \times (L \times 0,7)^2}{\pi^2 \times E} \quad \text{dann } d = \sqrt[4]{\frac{I \times 64}{\pi}}$$

Beispiel:

$$I = \frac{45.000 \text{ N} \times 3 \times (1.320 \text{ mm} \times 0,7)^2}{\pi^2 \times 210.000 \text{ N/mm}^2} = \frac{1,15259^{12} \text{ mm}^4}{2.072.616,924} = 55.610,7396 \text{ mm}^4$$

$$d = \sqrt[4]{\frac{55.610,739 \text{ mm}^4 \times 64}{\pi}} = 32,62 \text{ mm Mindest-Kerndurchmesser} = \text{ZE-50/Tr50 (Spindel-Kern}\varnothing = 39,8 \text{ mm)}$$

	GSZ-2	ZE-5	ZE-10	ZE-25	ZE-35/50	ZE-50/Tr50	ZE-100	ZE-150	ZE-200	Z-250	Z-350	Z-500	Z-750	Z-1000
Trapezgewinde Tr Kern-Ø in mm (Minimum)	16x4	18x4	20x4	30x6	40x7	50x8	55x9	60x9	70x12	80x16	100x16	120x16	140x20	160x20
	10,9	12,9	14,9	22,1	31	39,8	43,6	48,6	55,2	59,6	80,6	99,6	115	135
Kugelgewinde KGT Ømm Kern-Ø in mm (Minimum*)	16	16	25	32	40	-	50	63	80	80	100	125	140	160
	12,9	12,9	21,5	27,3	34,1	-	43,6	51,8	67	67	87,4	107,8	117	132,8

*Je nach Steigerung kann der Kern-Ø auch größer sein. Den genauen Kern-Ø finden Sie auf den KGT-Seiten in Kapitel 2



Erläuterungen:

- I = Flächenmoment 2. Grades in mm⁴
- F = max. Belastung/Getriebe in N
- L = Freie Spindellänge in mm
- E = Elastizitätsmodul für Stahl (210.000N/mm²)
- v = Sicherheitsfaktor (normalerweise 3)
- d = Mindest-Kerndurchmesser der Spindel

Beispiel:

- F = 45.000N/Getriebe
- L = 1320 mm
- v = 3



Biegekritische Drehzahl bei R-Getrieben

Maximal zulässige Spindeldrehzahl

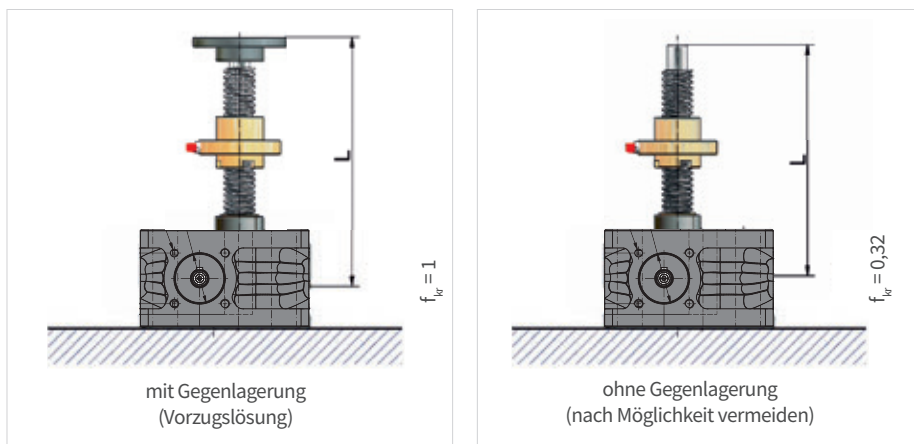
$$n_{zul} = 0,8 \times n_{kr} \times f_{kr}$$

n_{zul} maximale zulässige Spindeldrehzahl (rpm)

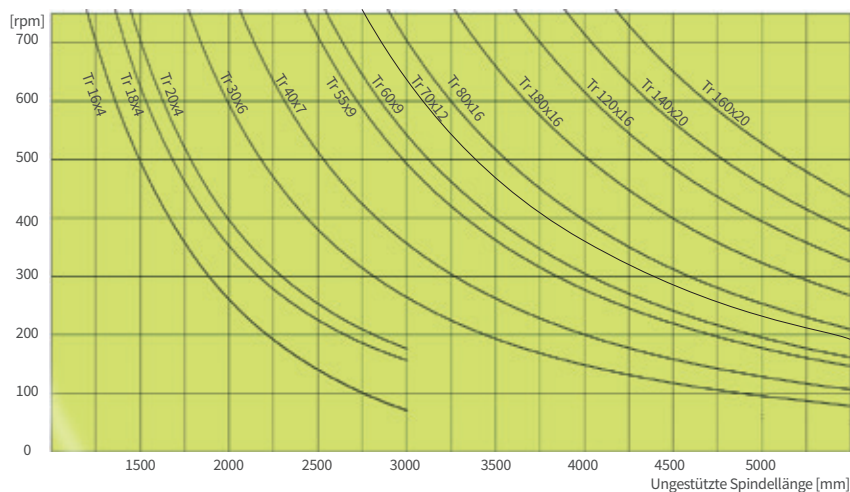
n_{kr} theoretische kritische Spindeldrehzahl (rpm) die zu Resonanzschwingungen führt (siehe Diagramm)

f_{kr} Korrekturfaktor, der die Art der Spindel-lagerung berücksichtigt

i Die Betriebsdrehzahl darf höchstens 80% der maximalen Drehzahl betragen



$$\text{Spindeldrehzahl} = \frac{\text{Eintriebsdrehzahl}}{i_{\text{Getriebe}}}$$



Bei R-Getrieben (mit rotierender Spindel) muss bei langen, schlanken Spindeln die maximal zulässige Spindeldrehzahl ermittelt werden. Dazu entnehmen Sie die theoretische kritische Drehzahl n_{kr} dem Diagramm. Berücksichtigen Sie bei der Ermittlung der ungestützten Spindellänge auch die Aufbaumaße durch Spindelabdeckungen etc. Zusammen mit dem Korrekturfaktor für die Spindel-lagerung errechnen Sie anhand der Formel die maximal zulässige Spindeldrehzahl.

Ist die errechnete maximal zulässige Spindel-drehzahl kleiner als die erforderliche, muss eine größere Spindel oder eine zweigängige Spindel mit halber Drehzahl eingesetzt werden. Diese ist dann ebenfalls zu prüfen. Bei der R-Version haben Sie die Möglichkeit eine „verstärkte Spindel“ (Spindel des nächst größeren Getriebes) ein-zusetzen. Beachten Sie bitte, dass bei Spindeln mit höherer Steigung auch ein höheres Antriebs-moment erforderlich wird.

ACHTUNG:
Lange, dünne Spindeln können trotz Einhaltung der biegekritischen Drehzahl quietschen! Rechnen Sie deshalb mit ausreichend Sicherheit.



Antriebsdrehmomentes [MG] eines Hubgetriebes

Durch die Erläuterungen ist die Ermittlung der erforderlichen Antriebsmomente möglich.

Bei Getrieben mit eingängiger Trapezgewindespindel kann auch einfach der Faktor auf der jeweiligen Getriebeseite mit der Last multipliziert werden.

Formel:

$$1) \text{ Antriebsmoment: } M_G = \frac{F \text{ [kN]} \times P \text{ [mm]}}{2 \times \pi \times \eta_{\text{Getriebe}} \times \eta_{\text{Spindel}} \times i}$$

$$2) \text{ Motorleistung: } P_M \text{ [kW]} = \frac{M_G \text{ [Nm]} \times n \text{ [min}^{-1}\text{]}}{9550}$$

3) Sicherheitsfaktor:

Der errechnete Wert sollte mit einem Sicherheitsfaktor von 1,3 bis 1,5 multipliziert werden. Bei kleinen Baugrößen, geringen Drehzahlen und vor allem niedrigen Temperaturen wird mit einem Sicherheitsfaktor bis zu 2 gerechnet.

Mindestlast:

Bei geringen dynamischen Lasten kommen die Leerlaufverluste proportional stärker zum Tragen. Berechnen Sie deshalb den Antrieb mit mindestens 15% der Getriebe-Nennlast, auch wenn die effektive Last geringer ist (z.B. ZE-50 mit mindestens 7,5 kN).

Beispiel:

$$1) M_G = \frac{12 \text{ kN} \times 6 \text{ mm}}{2 \times \pi \times 0,87 \times 0,39 \times 6} = \mathbf{5,63}$$

$$2) P_M = \frac{5,63 \text{ Nm} \times 1500 \text{ min}^{-1}}{9550} = \mathbf{0,88 \text{ kW}}$$

3) Beispiel:

$$0,88 \text{ kW} \times 1,5 = 1,32 \text{ kW} \quad \longrightarrow \quad \text{Motor } 1,5 \text{ kW}$$



Erläuterungen:

M_G	erforderliches Antriebsdrehmoment [Nm] für ein Getriebe
F	Hublast (dynamisch) [kN]
η_{Getriebe}	Wirkungsgrad des Hubgetriebes (ohne Spindel)
η_{Spindel}	Wirkungsgrad der Spindel
P	Spindelsteigung [mm]
i	Übersetzung des Hubgetriebes
P_M	Antriebsleistung Motor

Beispiel:

ZE-25-SN

$F = 12 \text{ kN}$ (Hublast dynamisch)

$\eta_{\text{Getriebe}} = 0,87$ $\eta_{\text{Spindel}} = 0,39$

$i = 6$ $P = 6$

Wirkungsgrade der Hubgetriebe η_{Getriebe} (ohne Spindel)

i	rpm	GSZ-2	ZE-5	ZE-10	ZE-25	ZE-35	ZE-50	ZE-100	ZE-150	ZE-200	Z-250	Z-350	Z-500	Z-750	Z-1000
N	3000	0,87	0,81	0,83	0,87	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
N	1500	0,87	0,82	0,84	0,87	0,87	0,87	0,88	0,89	0,90	0,91	-	-	-	-
N	1000	0,86	0,82	0,82	0,86	0,87	0,86	0,87	0,89	0,90	0,90	0,91	0,92	0,88	0,90
N	750	0,86	0,82	0,84	0,85	0,86	0,85	0,87	0,88	0,90	0,90	0,91	0,92	0,88	0,90
N	500	0,85	0,82	0,84	0,83	0,85	0,84	0,85	0,87	0,90	0,89	0,9	0,92	0,87	0,89
N	100	0,74	0,77	0,79	0,78	0,78	0,78	0,78	0,8	0,85	0,83	0,86	0,87	0,81	0,84
L	3000	0,78	0,74	0,78	0,76	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
L	1500	0,77	0,70	0,74	0,72	0,64	0,66	0,67	0,67	0,77	0,78	-	-	-	-
L	1000	0,75	0,67	0,72	0,7	0,64	0,66	0,65	0,66	0,77	0,77	0,78	0,76	0,67	0,76
L	750	0,74	0,65	0,7	0,68	0,64	0,66	0,65	0,65	0,77	0,76	0,78	0,75	0,66	0,76
L	500	0,71	0,62	0,67	0,65	0,63	0,65	0,65	0,63	0,76	0,75	0,77	0,73	0,65	0,75
L	100	0,54	0,53	0,59	0,54	0,52	0,55	0,57	0,53	0,67	0,65	0,67	0,61	0,58	0,66

Wirkungsgrade der Spindel η_{Spindel}

berechnet mit Reibungskoeffizient mit $\mu = 0,11$

Tr-Spindel eingängig	16x4	18x4	20x4	30x6	40x7	50x8	55x9	60x9	70x12	80x16	100x16	120x16	140x20	160x20	Kugelgewindespindel
Wirkungsgrad	0,45	0,42	0,39	0,39	0,35	0,33	0,34	0,32	0,35	0,39	0,33	0,29	0,30	0,27	
Tr-Spindel zweigängig	16x8P4	18x8P4	20x8P4	30x12P6	40x14P7	50x16P8	55x18P9	60x18P9	70x24P12	80x32P16	100x32P16	120x32P16	140x40P20	160x40P20	0,9
Wirkungsgrad	0,62	0,59	0,56	0,56	0,53	0,50	0,51	0,48	0,52	0,56	0,50	0,45	0,47	0,44	



Maximale Drehmomente

Maximales Eintriebsdrehmoment

Um eine optimale Lebensdauer zu erreichen, dürfen nebenstehende Werte nicht überschritten werden. Bei geringen Betriebsstunden sind höhere Werte nach Rücksprache möglich.

max. Eintriebsdrehmomente MR [Nm]

i	rpm	GSZ-2	ZE-5	ZE-10	ZE-25	ZE-35	ZE-50	ZE-50/Tr50	ZE-100	ZE-150	ZE-200	Z-250	Z-350	Z-500	Z-750	Z-1000
N	3000	1,2	4	11	17	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
N	1500	1,4	4,7	13,5	18	19,8	31,5	31,5	53,4	75,1	155	152	-	-	-	-
N	1000	1,5	5,6	14	22	20,8	36,8	36,8	60,8	77,7	155	152	265	408	480	680
N	500	1,6	6,1	16,7	28	24,8	46,5	46,5	75,3	95	156	160	350	500	640	960
L	3000	0,5	1,4	5,7	8,5	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
L	1500	0,5	1,5	7,5	10	9	10,4	10,4	13,5	20,7	61	41,4	-	-	-	-
L	1000	0,5	1,8	8,7	11	9,7	14,9	14,9	15,4	23,7	61	47,4	100	170	210	450
L	500	0,6	2,2	10,7	14	11,1	19,2	19,2	18,9	29,4	62	63,5	112	220	240	580

Grenzwerte sind mechanisch - thermische Faktoren je nach Einschaltdauer berücksichtigen

Maximales Durchtriebsdrehmoment

Bei mehreren Getrieben in Reihe kann das Durchtriebsdrehmoment wesentlich höher sein als das maximale Eintriebsdrehmoment. Es wird nur die Welle auf Torsion beansprucht und nicht die Verzahnung.

max. Durchtriebsdrehmoment Schneckenwelle [Nm]

GSZ-2	ZE-5	ZE-10	ZE-25	ZE-35	ZE-50	ZE-50/Tr50	ZE-100	ZE-150	ZE-200	Z-250	Z-350	Z-500	Z-750	Z-1000
9	39	57	108	130	260	260	540	540	700	770	1800	1940	4570	4570



Antriebsmoment für Hubanlagen

– genäherte Berechnung

Ermittlungen

Das erforderliche Antriebsdrehmoment einer Hubanlage resultiert aus der Summe der Momente der einzelnen Hubgetriebe und erhöht sich infolge der Reibungsverluste der Übertragungsbauteile wie Kupplungen, Verbindungswellen, Kegelradgetriebe usw.

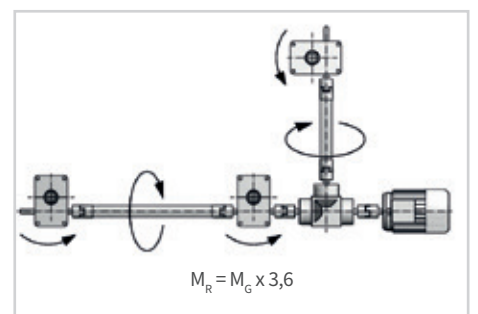
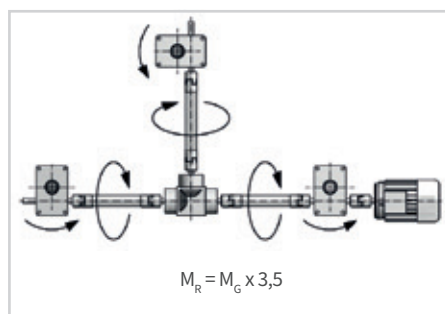
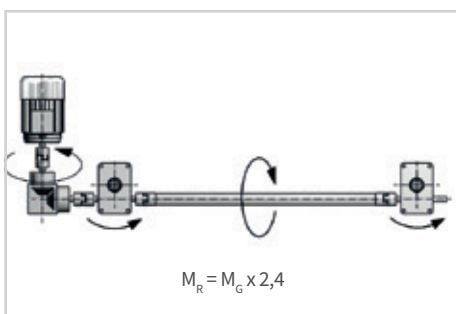
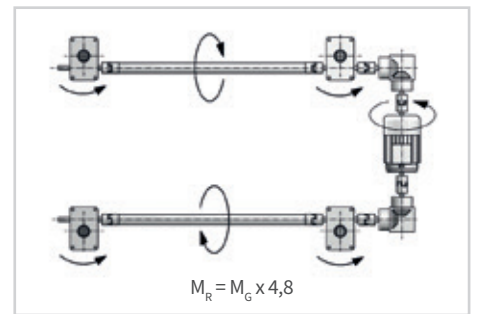
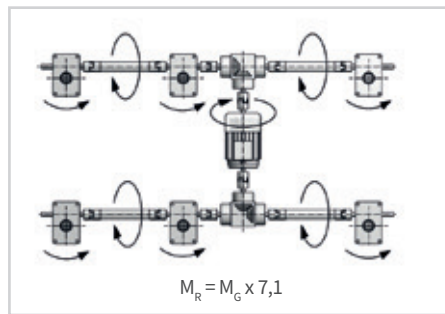
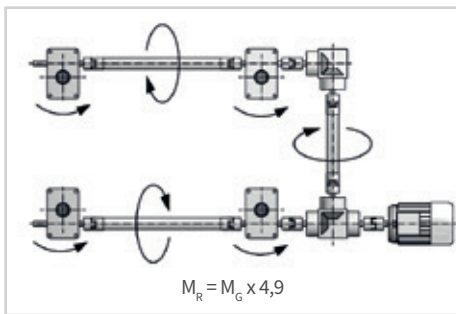
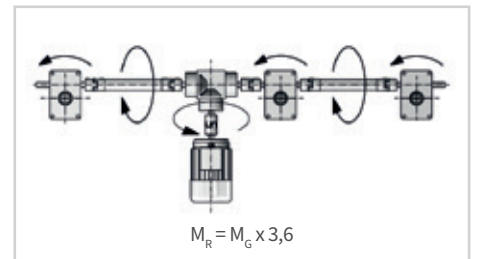
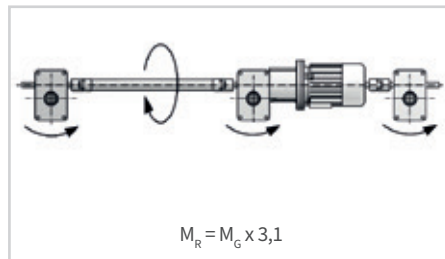
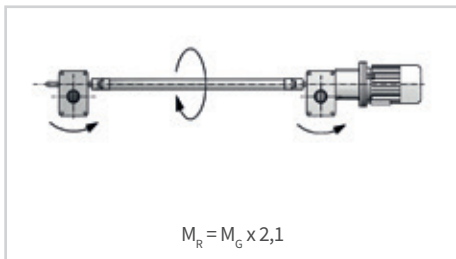
Zur Vereinfachung der Berechnung nennen wir nachfolgende Faktoren für die Ermittlung des Antriebsmomentes für die häufigsten Anwendungen.



M_R – Gesamtantriebsdrehmoment für ganze Anlage

M_G – Antriebsdrehmoment für ein einzelnes Getriebe

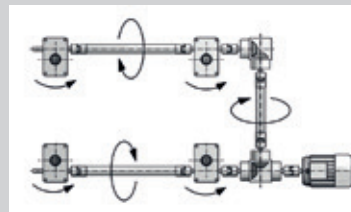
M_A – Anlaufmoment max. $1,5 \times M_R$



Achtung

Der errechnete Wert sollte mit einem Sicherheitsfaktor von 1,3 bis 1,5 multipliziert werden. Bei kleinen Baugrößen, geringen Drehzahlen und vor allem niedrigen Temperaturen wird mit einem Sicherheitsfaktor bis zu 2 gerechnet.

Beispiel (12 kN pro Getriebe)



$$M_R = M_G \times 4,9 = 5,63 \text{ Nm} \times 4,9 = 27,59 \text{ Nm}$$

$$\rightarrow \times \text{Sicherheit } 1,5 = 41,38 \text{ Nm}$$

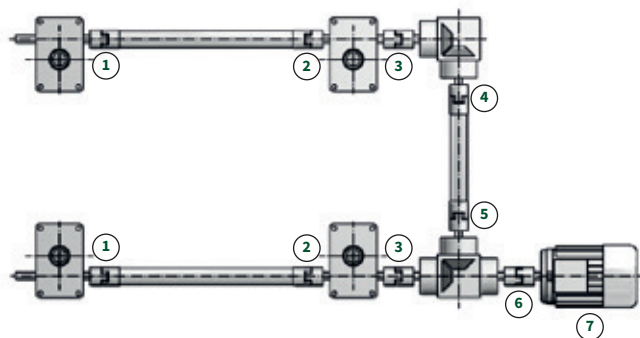
$$M_A = M_R \times 1,5 = 41,38 \text{ Nm} \times 1,5 = 62,07 \text{ Nm}$$



Antriebsmoment für Hubanlagen

- genaue Berechnung

In der folgenden Beispielrechnung werden die Wirkungsgrade von Verbindungswellen (η 0,95) und Kegelradgetrieben (η 0,9) mit eingerechnet.



Beispiel:

- 1) $MG = \frac{12\text{kN} \times 6\text{mm}}{2 \times \pi \times 0,87 \times 0,39 \times 6} = \mathbf{5,63}$

- 2) $\frac{5,63 \text{ Nm}}{0,95} = \mathbf{5,93 \text{ Nm}}$
(Wirkungsgrad der Verbindungswelle)

- 3) $5,63 \text{ Nm} + 5,93 \text{ Nm} = \mathbf{11,56 \text{ Nm}}$

- 4) $\frac{11,56 \text{ Nm}}{0,9} = \mathbf{12,84 \text{ Nm}}$
(Wirkungsgrad der Kegelradgetriebe)

- 5) $\frac{12,84 \text{ Nm}}{0,95} = \mathbf{13,52 \text{ Nm}}$

- 6) $(11,56 \text{ Nm} + 13,52 \text{ Nm})/0,9 = \mathbf{27,87 \text{ Nm}}$

- 7) $27,87 \text{ Nm} \times 1,5 = \mathbf{41,8 \text{ Nm}}$

Motorwahl: 132M-P4-7,5 kW (50 Nm)
(Motoren siehe Kapitel 3)

Achtung

Der errechnete Wert sollte mit einem Sicherheitsfaktor von 1,3 bis 1,5 multipliziert werden. Bei kleinen Baugrößen, geringen Drehzahlen und vor allem niedrigen Temperaturen wird mit einem Sicherheitsfaktor bis zu 2 gerechnet.

Formel Getriebe:

$$\text{Antriebsmoment: } M_G = \frac{F \text{ [kN]} \times P \text{ [mm]}}{2 \times \pi \times \eta_{\text{Getriebe}} \times \eta_{\text{Spindel}} \times i}$$

Wirkungsgrade:

Verbindungswellen: η 0,95
Kegelradgetriebe: η 0,90

Z-25-SN

F = 12 kN (Hublast dynamisch pro Getriebe)

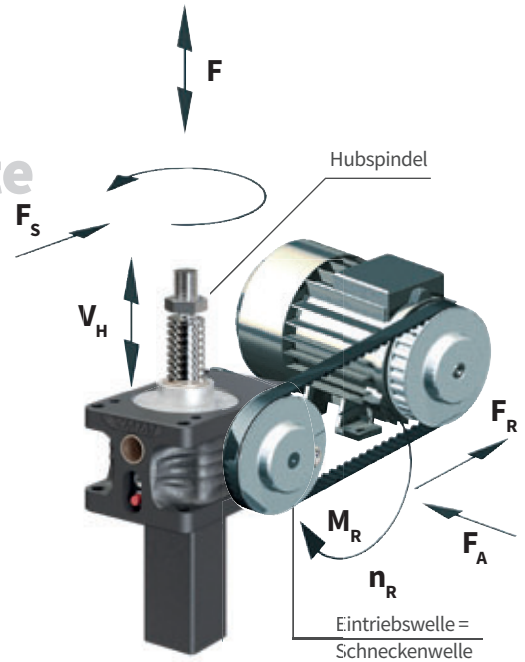
$\eta_{\text{Getriebe}} = 0,87$ $\eta_{\text{Spindel}} = 0,39$
i = 6 P = 6

$11,56 \text{ Nm} \times 1,5 = 17,34 \text{ Nm}$
(KSZ-H-25-L ist okay - siehe Kapitel 5)

41,8 Nm
(KSZ-H-35-T wird benötigt - siehe Kapitel 5)



Maximale Kräfte / Momente



Seitenkräfte auf die Hubspindel

Die maximal zulässigen Seitenkräfte ersehen Sie aus nebenstehender Tabelle. Grundsätzlich sind Seitenkräfte durch Führungen aufzunehmen. Die Führungsbuchse im Getriebe hat nur eine sekundäre Führungsfunktion. Die tatsächlich wirkenden maximalen Seitenkräfte müssen unterhalb der Tabellenwerte liegen!

ACHTUNG: NUR STATISCH ZULÄSSIG!

maximale Seitenkraft F_s [N] (nur statisch)

ausgefahrene Spindellänge in mm

ZE/Z	100	200	300	400	500	600	700	800	900	1000	1200	1500	2000	2500	3000
5	360	160	100	70	55	45	38	32	28	25	20	18	12	-	-
10	600	280	180	130	100	80	70	60	50	47	40	30	20	15	-
25	900	470	300	240	180	150	130	110	100	90	70	60	45	35	30
35	1300	700	450	360	270	220	190	160	150	130	100	90	60	50	40
50	3000	2000	1300	900	700	600	500	420	380	330	280	230	160	130	100
100	5000	4000	3000	2300	1800	1500	1300	1100	950	850	700	600	400	350	250
150	5500	5000	3900	2800	2300	1800	1500	1300	1200	1000	850	750	500	400	350
200	7500	7200	5400	4000	3200	2500	2100	1800	1700	1500	1200	1050	700	600	500
250	9000	9000	6500	4900	3800	3000	2500	2200	2000	1900	1450	1250	900	760	660
350	15000	13000	12000	10000	8800	7000	6000	5500	4800	4300	3500	3000	2000	1600	1400
500	29000	29000	29000	29000	24000	20000	17000	15000	15000	14000	12000	9000	7000	5600	4900
750	34800	34800	34800	34800	34800	28800	24000	20400	18000	16800	14400	10800	8400	6720	5880
1000	46000	46000	39000	36000	320000	30000	25000	290000	25000	23500	20000	17000	12000	10000	8000

Radialbelastung der Eintriebswelle

Bei Verwendung von Ketten- oder Riementrieben dürfen nebenstehende Radialkräfte nicht überschritten werden.

maximale Radialbelastung der Eintriebswelle F_R [N]

	ZE-5	ZE-10	ZE-25	ZE-35	ZE-50	ZE-100	ZE-150	ZE-200	Z-250	Z-350	Z-500	Z-750	Z-1000
FR max.	110	190	260	260	420	650	670	1000	1100	1400	2600	3000	3400

Belastungsdefinitionen:

- F - Hublast Zug und/oder Druck
- F_s - Seitenbelastung der Spindel
- v_H - Verfahrgeschwindigkeit der Spindel (oder Mutter bei R-Version)
- F_A - Axialbelastung der Eintriebswelle
- F_R - Radialbelastung der Eintriebswelle
- M_R - Eintriebsdrehmoment
- n_R - Eintriebsdrehzahl



Längenermittlung - Spindel und Schutzrohr

Zeitgewinn

Mit dem ZIMM Online Konfigurator können Sie die erforderliche Spindel- und Schutzrohrverlängerung einfach und bequem ermitteln. Damit errechnen Sie schnell die Einbaumaße Ihres Hubgetriebes.

Grundsätzlich

Je nach verwendeter Version und Systembauteilen wird die Spindel (und das Schutzrohr bei S-Version) verlängert. Diese Aufmaße sind mindestens erforderlich. Für spezielle Einbausituationen erstellen Sie eine Zeichnung oder kontaktieren Sie unsere Projekttechniker.

Hub + Basislänge (+ diverse Verlängerungen für Varianten/Systembauteile)

Beispiel S:

ZE-25-SN, Hub 250 mm:

- Faltenbalg ZE-25-FB-300 (ZD=70mm)
- Befestigungsflansch BF (daher Faltenbalg ohne Befestigungsring)
- Verdrehsicherung VS
- Endschalter ESSET

Spindellänge Tr:

250 Hub	+	180 Basislänge	+	44 Faltenbalg (70 - 26 = 44)	+	45 Endschalter + Verdrehsicherung	=	519 mm Spindellänge
------------	---	-------------------	---	------------------------------------	---	---	---	--------------------------------

Spindellänge SRO:

250 Hub	+	53 Basislänge	+	72 Endschalter + Verdrehsicherung	=	375 mm Schutzrohrlänge
------------	---	------------------	---	---	---	-----------------------------------

Beispiel R:

ZE-25-RN, Hub 250 mm:

- Spindel mit Zapfen (Gegenlagerplatte GLP)
- Faltenbalg ZE-25-FB-300 (ZD=70mm) unten und oben
- Duplexmutter DM

Spindellänge Tr:

250 Hub	+	189 Basislänge	+	60 Faltenbalg ge- triebeseitig (70 - 10 = 60)	+	55 2. Faltenbalg (70 - 15 = 55)	+	50 Duplexmutter	=	554 mm Spindellänge
------------	---	-------------------	---	--	---	---------------------------------------	---	--------------------	---	--------------------------------

Die Längenermittlung für Verbindungswellen finden Sie in Kapitel 4.