



## 08 - Zylinder

- Grundsätzliche Informationen
- Zylinderfunktionsdiagramm
- Luftverbrauch
- Axiallast
- Eigenschaften der Endlagendämpfung
- Zug-/Druckkraft
- Federkräfte von einfachwirkenden Zylindern  
Deckelschrauben
- maximale Anzugsmomente

## Grundprinzip

### - Funktion

Zylinder sind zusammen mit einigen anderen Teilen diejenigen Komponenten eines automatischen Systems, die die pneumatische Energie in Arbeit umwandeln.

$$L = F \times s$$

(Arbeit=Kraft x Bewegung)

Die theoretische Kraft eines Zylinders ist direkt proportional zum Versorgungsdruck und zur Fläche, auf die er wirkt (Kolbenfläche).

$$F = P \times S$$

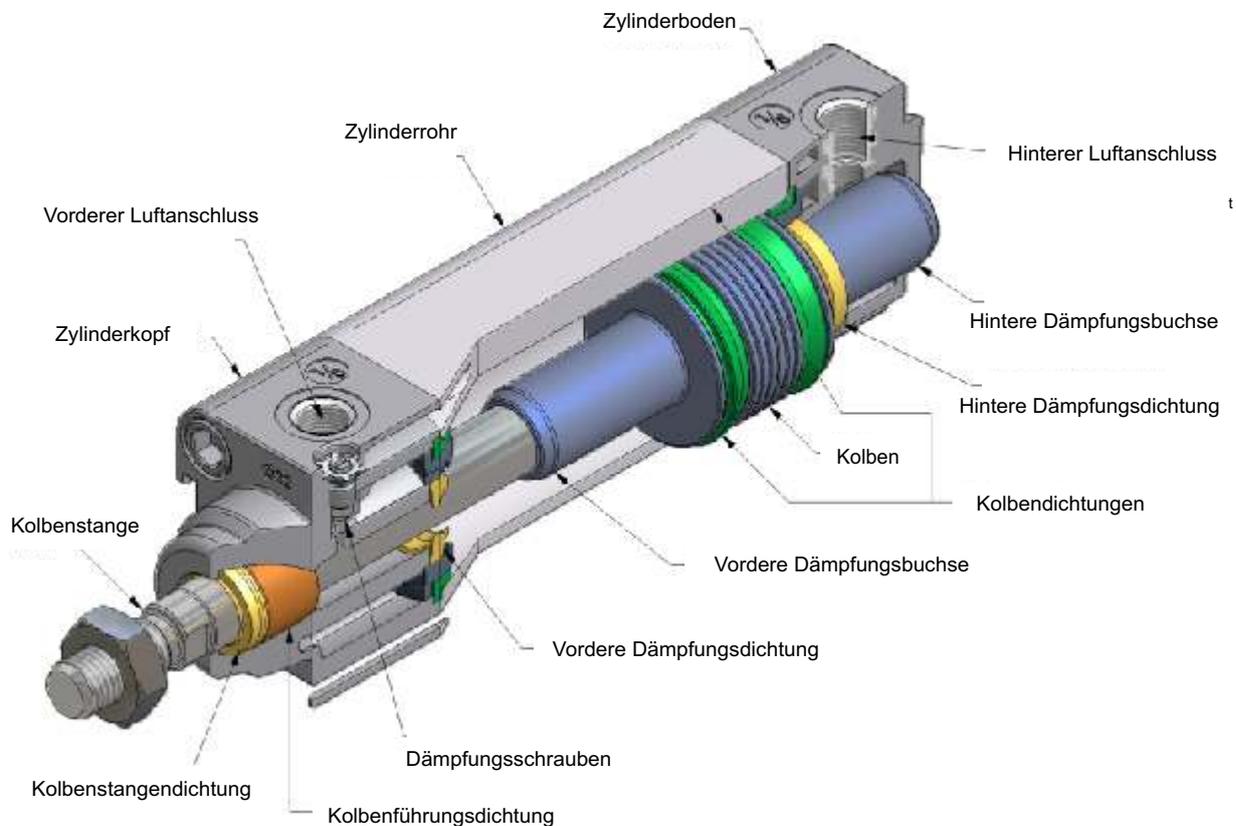
(Kraft=Druck x Fläche)

(Beim Einfahrhub wird die Fläche, auf die der Druck wirkt, durch die Fläche der Kolbenstange reduziert.)

Bei der Berechnung der tatsächlichen Kolbenkraft ist Folgendes zu beachten :

- Die Reibung der Dichtungen während des Betriebs.
  - Der Zylinder muss die durch die Dichtungen erzeugte statische Reibung überwinden, bevor er sich bewegen kann. Wenn sich der Kolben eine Zeit lang nicht bewegt, drückt die Kompression zwischen Dichtungen und Zylinderrohr das Schmierfett heraus. Wenn der Zylinder anschließend betätigt wird, kommt es zu einem Schmierfilmabriss, der die Losbrechreibung weiter erhöht.
- Daher ist die tatsächliche Kraft ungefähr 10 - 15 % geringer als die theoretische Kraft.

## Aufbau

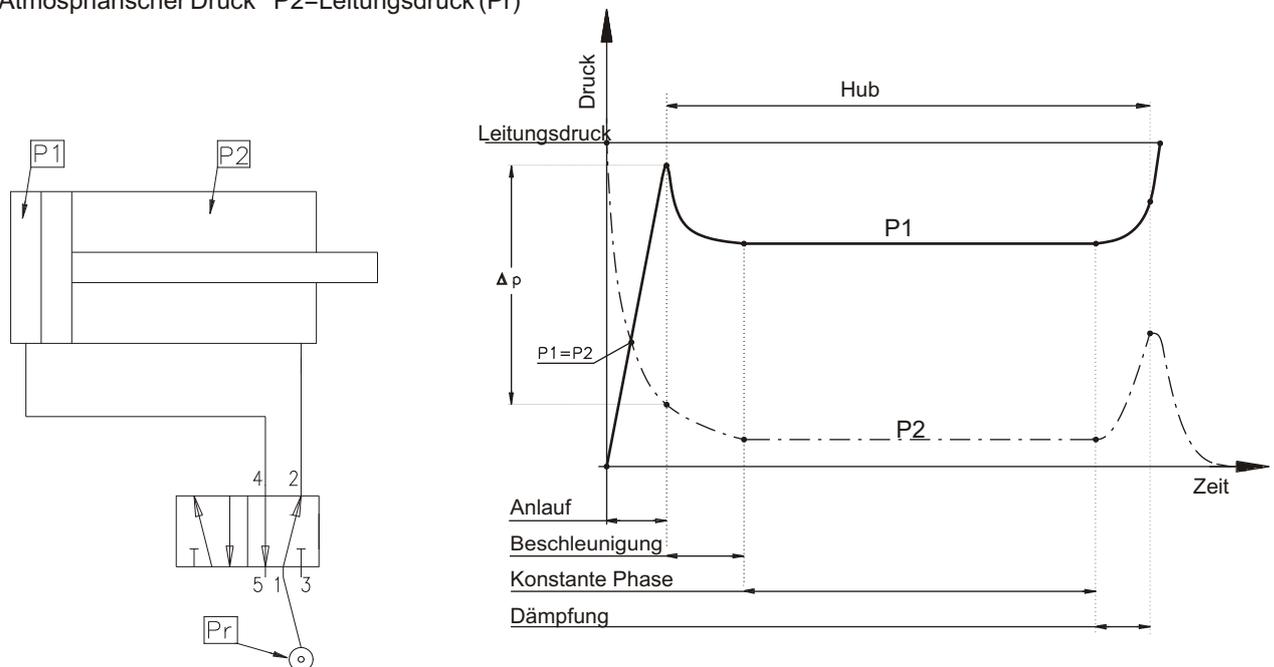


## ZYLINDERFUNKTIONSDIAGRAMM

Das Betriebsspiel eines Zylinders kann in 4 Phasen eingeteilt werden: Anlauf, Beschleunigung, konstante Phase und Dämpfung.

Das folgende Diagramm zeigt einen Zylinder in Ruhestellung (Kolbenstange EINGEFAHREN), der an ein 5/2-Wegeventil angeschlossen ist (auch in Ruhestellung, Anschluss 1 mit Anschluss 2 verbunden):

$P_1$ =Atmosphärischer Druck  $P_2$ =Leitungsdruck ( $P_r$ )



### Anlauf:

- Bei Betätigung des 5/2-Wegeventils wird Anschluss 1 mit Anschluss 4 verbunden und beaufschlagt die hintere Zylinderkammer mit Druck; unter diesen Bedingungen steigt  $P_1$ , während die vordere Kammer über Anschluss 3 entlüftet (Anschluss 2 mit Anschluss 3 verbunden), sodass  $P_2$  sinkt.

- Theoretisch könnte sich, wenn  $P_1$  den gleichen Wert wie  $P_2$  erreicht, der Zylinder in Bewegung setzen; in der Praxis muss er jedoch noch die Reibung und die anstehende Last überwinden. Wenn  $\Delta p$  zwischen den zwei Drücken die Reibung überwindet, setzt sich der Zylinder in Bewegung.

### Beschleunigung:

Die maximale Geschwindigkeit wird bei ca. 15-30 % des Hubs erreicht und ist umgekehrt proportional zum Entlüftungskammervolumen und somit zum Hub; daher ist bei Zylindern mit gleicher Bohrung die Beschleunigung umso größer, je kürzer der Hub ist.

### Konstante Phase:

Die Translationsgeschwindigkeit ist nicht immer konstant und wird von zahlreichen Faktoren wie Reibung, Last, Befestigungsposition, Ventildurchflussmenge usw. beeinflusst. Die Zylindergeschwindigkeit kann durch Regulierung der Durchflussmenge gesteuert werden; dabei ist stets zu beachten, dass ein Ventil mit möglichst großer Durchflussmenge verwendet werden sollte (siehe Kapitel 9, Größenbestimmung und Wahl von Zylinder und Ventil), da die regulierte Geschwindigkeit niedriger ist als die über das Ventil mögliche Maximalgeschwindigkeit.

### Dämpfung:

Dies ist die letzte Phase des Hubs, wenn der Entlüftungsstrom der vorderen Kammer reguliert wird. Unter diesen Bedingungen steigt  $P_2$  und wirkt  $P_1$  entgegen, sodass die Geschwindigkeit bis zum Ende des Hubs reduziert wird; gleichzeitig erreicht  $P_1$  den von der Druckluftversorgung abhängigen Maximalwert und  $P_2$  entspricht dem atmosphärischen Druck.

## LUFTVERBRAUCH DER ZYLINDER

Der Luftverbrauch entspricht dem Luftvolumen, das der Zylinder während eines kompletten Betriebsspiels (Aus- und Einfahrhub) bei einem bestimmten Druck verbraucht.

$$\text{Verbrauch} = P_a \times C \times (A+b)$$

- P<sub>a</sub>**= Absoluter Druck (bar)
- C**= Zylinderhub (dm)
- A**= siehe Tab. 1 (dm<sup>2</sup>)
- b**= siehe Tab. 2 (dm<sup>2</sup>)

Der Luftverbrauch wird normalerweise in Normallitern (NI) gemessen, was dem Volumen entspricht, das eine bestimmte Menge (Masse) Gas bei atmosphärischem Druck einnehmen würde.

### Rechenbeispiel

Zylinder ISO 15552 - Serie 1319:  
 Speisedruck 6 bar (P<sub>a</sub>=7 bar)  
 Hub 50mm (C=0,5 dm)  
 Ø 63 (A=0,31157 dm<sup>2</sup>)  
 Kolbenstange Ø=20 mm (b=0,28017 dm<sup>2</sup>)

**Verbrauch** = 7 (bar) x 0,5 (dm) x (0,31157+0,28017) = **2,072 NI**

(Um den Luftverbrauch für eine bestimmte Anzahl von Betriebsspielen zu messen, reicht es aus, den obigen Wert mit der Anzahl der Betriebsspiele zu multiplizieren.)

Kolbenoberfläche		Flächendifferenz Kolben / Kolbenstange Ø	
Ø Zylinder	A	Ø Zylinder Ø Kolbenst.	b
Ø 8	0,00502 dm <sup>2</sup>	Ø 8 - Ø 4	0,00377 dm <sup>2</sup>
Ø 10	0,00785 dm <sup>2</sup>	Ø 10 - Ø 4	0,00659 dm <sup>2</sup>
Ø 12	0,01130 dm <sup>2</sup>	Ø 12 - Ø 6	0,00848 dm <sup>2</sup>
Ø 16	0,02010 dm <sup>2</sup>	Ø 16 - Ø 6	0,01727 dm <sup>2</sup>
Ø 20	0,03140 dm <sup>2</sup>	Ø 20 - Ø 8	0,02638 dm <sup>2</sup>
Ø 25	0,04906 dm <sup>2</sup>	Ø 25 - Ø 10	0,04121 dm <sup>2</sup>
Ø 32	0,08038 dm <sup>2</sup>	Ø 32 - Ø 12	0,06908 dm <sup>2</sup>
Ø 40	0,12560 dm <sup>2</sup>	Ø 40 - Ø 14	0,11021 dm <sup>2</sup>
Ø 50	0,19625 dm <sup>2</sup>	Ø 40 - Ø 16	0,10550 dm <sup>2</sup>
Ø 63	0,31157 dm <sup>2</sup>	Ø 40 - Ø 18	0,10017 dm <sup>2</sup>
Ø 80	0,50240 dm <sup>2</sup>	Ø 50 - Ø 14	0,18086 dm <sup>2</sup>
Ø100	0,78500 dm <sup>2</sup>	Ø 50 - Ø 18	0,17082 dm <sup>2</sup>
Ø125	1,22656 dm <sup>2</sup>	Ø 50 - Ø 20	0,16485 dm <sup>2</sup>
Ø160	2,00960 dm <sup>2</sup>	Ø 63 - Ø 20	0,28017 dm <sup>2</sup>
Ø200	3,14000 dm <sup>2</sup>	Ø 63 - Ø 22	0,27357 dm <sup>2</sup>
		Ø 80 - Ø 22	0,46441 dm <sup>2</sup>
		Ø 80 - Ø 25	0,45334 dm <sup>2</sup>
		Ø100 - Ø 25	0,73594 dm <sup>2</sup>
		Ø100 - Ø 30	0,71435 dm <sup>2</sup>
		Ø125 - Ø 30	1,15591 dm <sup>2</sup>
		Ø125 - Ø 32	1,14618 dm <sup>2</sup>
		Ø160 - Ø 40	1,88400 dm <sup>2</sup>
		Ø200 - Ø 40	3,01440 dm <sup>2</sup>

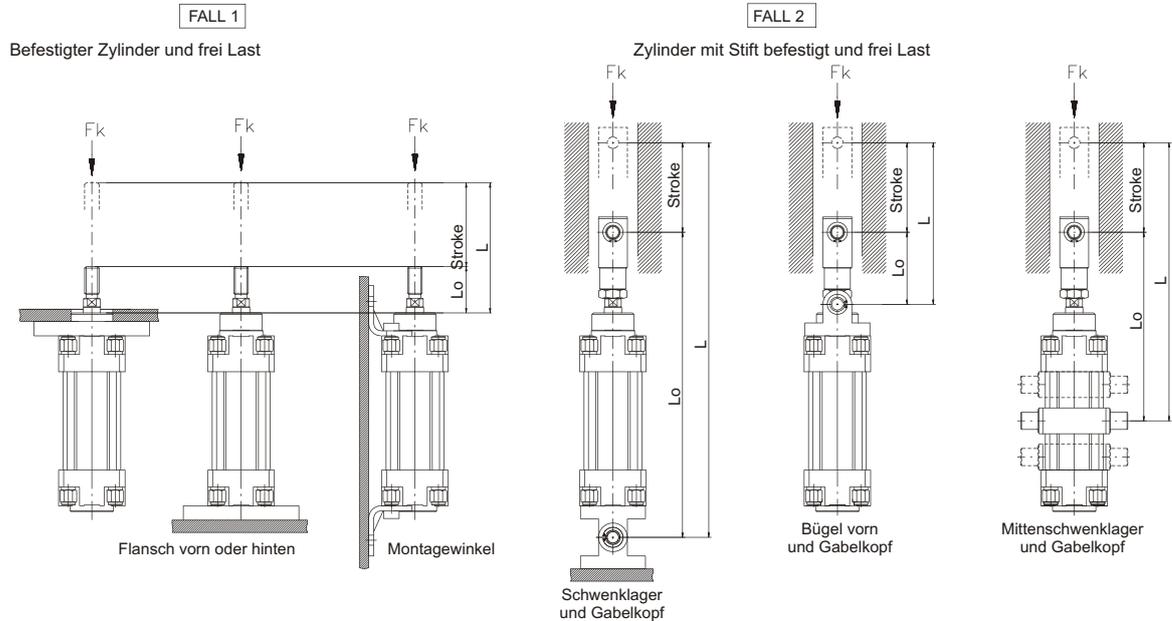
Tab.1

Tab.2



## Zulässige Axiallast (Summe von Biege- und Drucklast)

Hierbei handelt es sich um die Maximallast, mit der die Kolbenstangenspitze beansprucht werden kann. Oberhalb dieses Wertes kann sich die Kolbenstange verbiegen. Der Wert hängt von verschiedenen Faktoren ab, z. B. Lastgröße, Kolbenstangendurchmesser, der Abstand, in dem die Last angelegt wird (Biege- und Druckdistanz  $L$ ) und die Bedingungen, unter denen die Last angelegt wird (Zylinderbefestigungen). Unter den möglichen Bedingungen sind die drei folgenden am häufigsten zu finden.



Die maximale Axiallast kann auf zwei Arten ermittelt werden: Empirisch (siehe Gleichungen) oder anhand des folgenden Diagramms, das die ungünstigsten Bedingungen beschreibt (Fall 1 und 2). Bei allen anderen Montagevarianten ist die mögliche Axiallast höher.

$$F_k = \frac{\pi^3 \times E \times d^4}{64 \times L^2 \times C} \quad (\text{N})$$

$$d = \sqrt[4]{\frac{F_k \times 64 \times L^2 \times C}{\pi^3 \times E}} \quad (\text{cm})$$

$$L = \sqrt[4]{\frac{\pi^3 \times E \times d^4}{F_k \times 64 \times C}} \quad (\text{cm})$$

### Beispiel: Prüfung der Axiallast

Zylinder  $\varnothing 80$  mm  
 Kolbenstangendurchmesser  $\varnothing 20$  mm  
 Hub 600 mm  
 Befestigung FALL 2 Mittenschwenklager:  $L_0 = 290$  mm  
 Last 2000 N  
 $L$  (Abstand) =  $29 + 60 = 89$  cm  
 $F_k = (\pi^3 \times 2,1 \times 10^7 \times 2^4) : (64 \times 89^2 \times 5) = 4104$  N  
 (Oberhalb der angelegten 2000 N)

Das gleiche Ergebnis liefert das Diagramm: Verfolgt man Linie mit der zulässigen Biege- und Druckdistanz in Bezug auf 900 mm bis zum Kreuzungspunkt mit der 20-mm- $\varnothing$ -Linie, sind 4000 N abzulesen.

### Beispiel: Bestimmung des Kolbenstangendurchmessers

$E$  = Elastizitätskonstante des Kolbenstangenmaterials ( $\text{N}/\text{cm}^2$ )  
 (Stahl =  $2,1 \times 10^7 \text{ N}/\text{cm}^2$ )

$d$  = Kolbenstangendurchmesser (cm)

$L$  = Biege- und Druckdistanz (cm)

$C$  = Sicherheitsfaktor (von 2,5 bis 5)

Unter Annahme der gleichen Bedingungen wie im obigen Fall soll der Kolbenstangendurchmesser ermittelt werden, der mit 4000 N belastet werden kann.

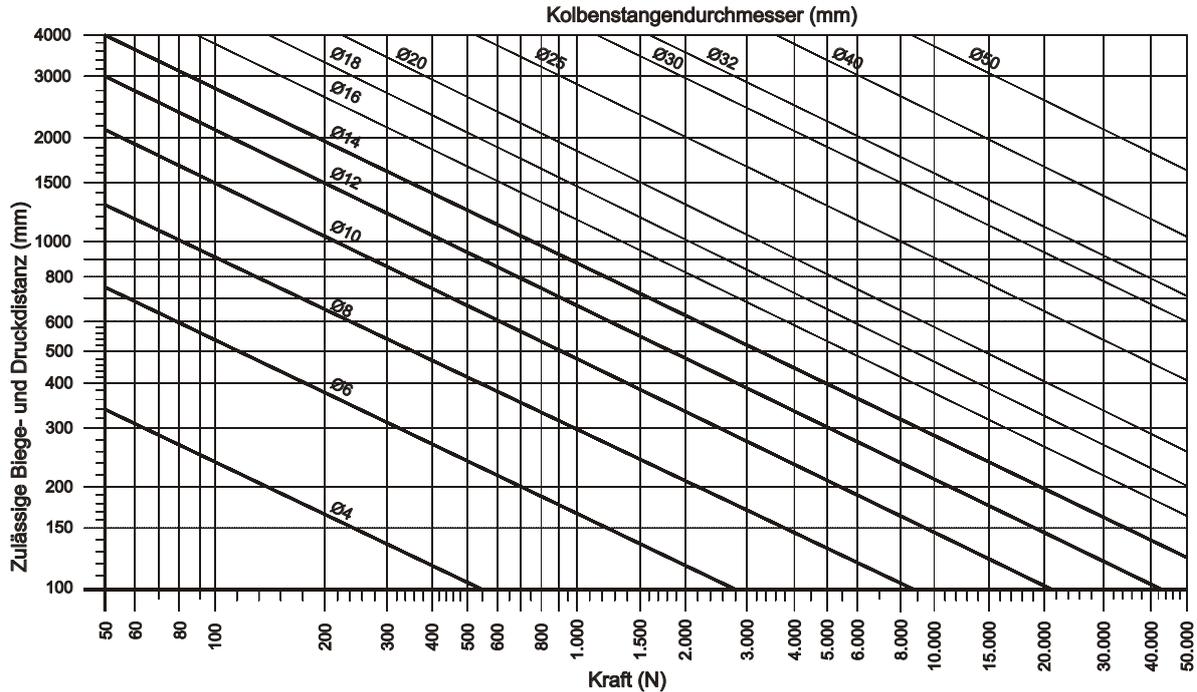
$$d = \sqrt[4]{(4000 \times 64 \times 89^2 \times 5) / (\pi^3 \times 2,1 \times 10^7)} = 2 \text{ cm}$$

Der zu wählende Durchmesser ist der nächst höhere:  $\varnothing 25$  mm

Auch hier kann zur Größenbestimmung das folgende Diagramm herangezogen werden: Verfolgt man die Linie mit der zulässigen Biege- und Druckdistanz in Bezug auf 900 mm bis zum Kreuzungspunkt mit der 4000 N-Maximallast sind  $\varnothing 20$  mm abzulesen.

Mit der dritten Gleichung oder unter Verwendung des Diagramms kann die Biege- und Druckdistanz berechnet werden.

Axiallastdiagramm

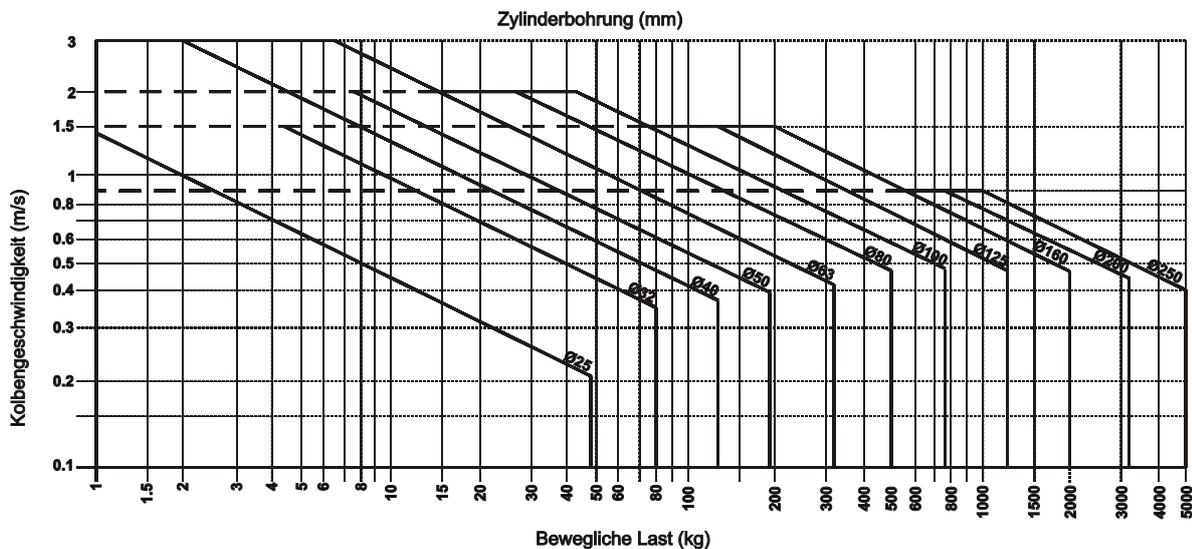


## ENDLAGEN-DÄMPFungsvermögen

Die Endlagendämpfung hat die Aufgabe, die durch die Bewegung der Last erzeugte kinetische Energie zu reduzieren und einen überharten Aufprall des Kolbens am Zylinderboden zu verhindern, der andernfalls eine Funktionsstörung zur Folge haben könnte.

Die Verwendung von Zylindern ohne Endlagendämpfung bei Hochgeschwindigkeitssystemen wird nicht empfohlen, sofern kein externe Verzögerungsvorrichtungen (Dämpfer) eingesetzt werden.

Die maximale Last, die gedämpft werden kann, hängt von der Geschwindigkeit des Kolbens und dem Dämpfungsvermögen des Zylinders ab. Die folgende Tabelle zeigt die Werte für Zylinder der Serie ISO 15552 für den Ausfahrhub und einen Speisedruck von 6 bar. Die zulässigen Werte für jeden Durchmesser stehen jeweils unter der Größenlinie.



## Theoretische Kraft -Druckkraft- (N)-Kolbenstange fährt aus

Bohrung (mm)	Druckfläche (mm <sup>2</sup> )	Speisedruck (bar)									
		1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
Ø6	28	2,5	5,5	9	11	13,5	16,5	19	22	24,5	27,5
Ø8	50	4,5	9,5	14,5	19,5	24,5	29,5	34	39	44	49
Ø10	79	7,5	15	23	30,5	38	46	53,5	61,5	69	76,5
Ø12	113	11	22	33	44	55	66	77	88	99	110
Ø16	201	19	39	59	78	98	118	137	157	177	197
Ø20	314	30	61	92	123	153	184	215	246	277	307
Ø25	491	45	95	144	192	240	288	336	384	433	481
Ø32	804	76	157	236	315	394	472	551	630	708	788
Ø40	1.256	129	246	369	492	615	739	862	985	1.108	1.231
Ø50	1.963	192	384	577	769	962	1.154	1.347	1.538	1.732	1.924
Ø63	3.116	305	611	910	1.222	1.527	1.833	2.138	2.444	2.749	3.055
Ø80	5.024	492	985	1.478	1.970	2.463	2.956	3.448	3.941	4.434	4.926
Ø100	7.850	769	1.539	2.309	3.079	3.849	4.618	5.388	6.158	6.928	7.698
Ø125	12.266	1.202	2.405	3.606	4.811	6.014	7.217	8.419	9.622	10.825	12.028
Ø160	20.096	1.970	3.941	5.912	7.882	9.853	11.824	13.795	15.765	17.736	19.707
Ø200	31.400	3.079	6.158	9.237	12.317	15.396	18.475	21.555	24.634	27.713	30.792
Ø250	49.063	4.811	9.622	14.434	19.245	24.056	28.868	33.679	38.491	43.302	48.113

Die folgende Gleichung wird verwendet, um die beim Einfahrhub (Kolbenstange fährt in den Zylinder zurück) erzeugte Kraft zu berechnen: **F=(Zylinderfläche - Kolbenstangenfläche) x Druck** (Fläche in cm<sup>2</sup> und Druck in bar)

Um die tatsächliche Zylinderkraft zu ermitteln, muss der theoretische Wert um 10-15% reduziert werden

## Einfachwirkende Zylinderfedern - Anfangs- und Endlastkenndaten

### Mikrozylinder ISO 6431 - Serie 1260

	Vordere Feder	Hintere Feder	Bohrung						
			Ø12	Ø16	Ø20	Ø25	Ø32	Ø40	Ø50
Anfangslast (N) Externe Feder			9,9	10,8	10,8	7,9	19,7	39,3	39,3
Endlast (N) Komprimierte Last			26,5	22,6	22,6	49,1	53,0	106,0	106,0

(Hub 0-40 mm)

### Mikrozylinder ISO 6431 - Serie 1280 "MIR"

	Vordere Feder	Hintere Feder	Bohrung						
			Ø8	Ø10	Ø12	Ø16	Ø20	Ø25	Ø32
Anfangslast (N) Externe Feder			2,2	2,2	4,0	7,5	11,0	16,5	23,0
Endlast (N) Komprimierte Last			4,2	4,2	8,7	21,0	22,0	30,7	52,5

(Hub 0-50 mm)

### Zylinder ISO 15552 - Serie 1319-20-21

	Vordere Feder	Hintere Feder	Bohrung					
			Ø32	Ø40	Ø50	Ø63	Ø80	Ø100
Anfangslast (N) Externe Feder			17,2	24,6	51,0	51,0	98,1	98,1
Endlast (N) Komprimierte Last			41,7	83,4	114,8	114,8	194,2	194,2

(Hub 0-50 mm)

### Kurzhub-Kompaktzylinder

	Vordere Feder	Hintere Feder	Bohrung							
			Ø20	Ø25	Ø32	Ø40	Ø50	Ø63	Ø80	Ø100
Anfangslast (N) Externe Feder			7,9	9,9	34,4	34,4	50,1	54,0	117,7	108,9
Endlast (N) Komprimierte Last			27,5	26,5	59,9	63,8	79,5	85,4	157,0	134,4

(Hub 0-10 mm)

### "Europa" Kompaktzylinder

	Vordere Feder	Hintere Feder	Bohrung									
			Ø12	Ø16	Ø20	Ø25	Ø32	Ø40	Ø50	Ø63	Ø80	Ø100
Anfangslast (N) Externe Feder			3,9	4,4	4,9	9,8	12,3	16,7	27,5	37,3	59,4	101,3
Endlast (N) Komprimierte Last			9,3	17,7	18,1	25,5	34,3	44,1	51,0	63,8	99,4	141,9

### Empfohlene Anzugsmomente für Zylindermuttern

Bohrung	Anzugs- moment (Nm)
Ø32	8
Ø40	8
Ø50	16
Ø63	16
Ø80	22
Ø100	22
Ø125	30
Ø160	85
Ø200	85