

Technische Grundlagen zur Berechnung von Förderketten

1. Berechnungsfaktoren

Folgende Faktoren sind für die Berechnung einer Förderkette wichtig:

- | | | |
|-----|--|----------------------|
| 1.1 | Kettenbruchkraft F_B | [N] |
| 1.2 | Kettenzugkraft F_Z | [N] |
| 1.3 | Gelenkflächenpressung P_{BB} | [N/cm ²] |
| 1.4 | Kettengeschwindigkeit | [m/s] |
| 1.5 | Betriebsbedingungen, wie Umgebungstemperatur, Stoßbetrieb, Nachschmiermöglichkeit, Verschmutzung, durch abrasive oder schmierstoffbindende (Trockenlaufgefahr!) Stoffe, korrosive Einflüsse (Feuchte, Säure, Lauge). | |
| 1.6 | Sicherheitsfaktor k | [-] |

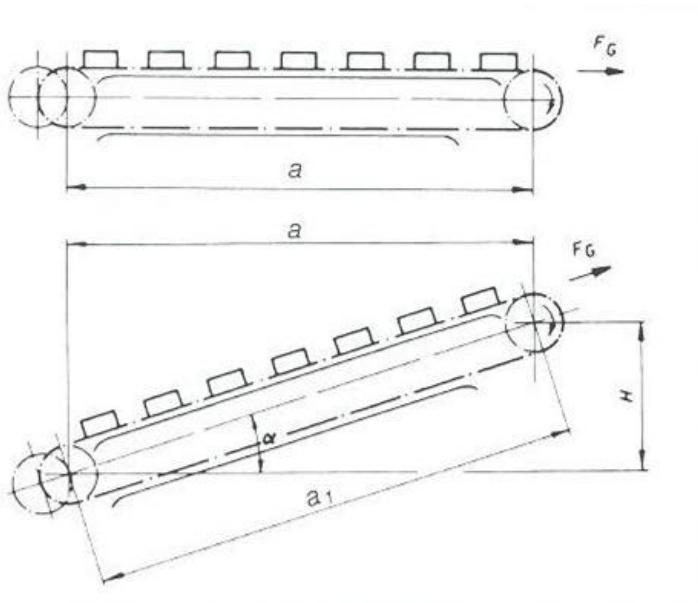
2. Zusammenstellung der wichtigsten Berechnungsfaktoren (Berechnungsgrößen/Einheiten)

a	=	Achsabstand waagrecht	[m]	ρ_{zul}	=	zulässige Gelenkflächenpressung	[N/cm ²]
a ₁	=	Achsabstand schräg	[m]	P	=	Antriebsleistung	[kW]
b ₁	=	Lichte Weite (Kette)	[mm]	s	=	Laschendicke	[mm]
d ₀	=	Hohlbolzeninnen-Ø	[mm]	y	=	Zähnezahlfaktor	[-]
D ₀	=	Teilkreis-Ø	[mm]	v	=	Kettengeschwindigkeit	[m/s]
d ₁	=	Bolzen-Ø	[mm]	Z	=	Zähnezahl des Kettenrades	[-]
d ₂	=	Buchsen-Außen-Ø	[mm]	Z ₁	=	Zähnezahl des kleinen Rades	[-]
d ₃	=	Schonrollen-Außen-Ø	[mm]	Z ₂	=	Zähnezahl des großen Rades	[-]
d ₄	=	Laufrollen-Außen-Ø	[mm]	α	=	Steigungswinkel Förderer	[°]
d ₅ /d ₆	=	Bundlaufrollen-Außen-Ø	[mm]	μ_1	=	Gleitreibungskoeffizient	[-]
f	=	Gelenkfläche	[cm ²]	μ_2	=	Rollwiderstandskoeffizient	[-]
F _B	=	Kettenbruchkraft	[N]	μ_3	=	Reibungskoeffizient Buchse/Laufrolle	[-]
F _G	=	Gesamtkettenzugkraft	[N]	μ_4	=	Reibungszahl der rollenden Reibung	[-]
F _R	=	Rollenbelastung	[N]	η	=	Antriebswirkungsgrad	[-]
F _Z	=	Kettenzugkraft pro Kettenstrang	[N]				
g	=	Laschenhöhe	[mm]				
G ₁	=	Gesamtgewicht der Förderketten mit Anbauteilen (Winkel usw.)	[kg]				
G ₂	=	Gewicht des Fördergutes	[kg]				
H	=	Steigungshöhe Förderer	[m]				
i _k	=	Anzahl der Kettenstränge	[-]				
k	=	Sicherheitsfaktor	[-]				
M _d	=	Drehmoment Antrieb	[Nm]				
n	=	Antriebsdrehzahl	[min ⁻¹]				
p	=	Kettenteilung	[mm]				
ρ_{BB}	=	Gelenkflächenpressung Bolzen/Buchse	[N/cm ²]				
ρ_{BL}	=	Gelenkflächenpressung Buchse/Laufrolle	[N/cm ²]				

3. Berechnungsformeln

3.1. Kettenzugkraft

3.1.1. Gleitende Reibung



Waagerechte Anordnung der Förderanlage

$$F_G = 9,81 \times \mu_1 (G_1 + G_2) \text{ [N]}$$

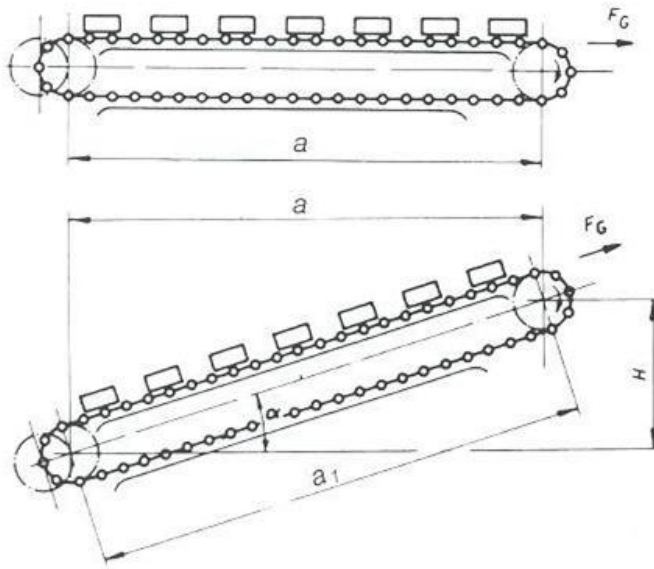
Schräge Anordnung der Förderanlage

$$F_G = 9,81 \times [\mu_1 (G_1 + G_2) \times \cos \alpha + G_2 \times \sin \alpha] \text{ [N]}$$

Anmerkung:

Für die Berechnung der Gesamt-Kettenzugkraft F_G ist das gesamte Eigengewicht G_1 der Ketten maßgebend. Dieses muss zunächst geschätzt werden. Sollte das Gewicht der errechneten Kette anschließend wesentlich vom geschätzten Gewicht abweichen, muss die Berechnung wiederholt werden.

3.1.2 Rollende Reibung



Waagerechte Anordnung der Förderanlage

$$F_G = 9,81 \times \mu_2 (G_1 + G_2) \text{ [N]}$$

Schräge Anordnung der Förderanlage

$$F_G = 9,81 \times [\mu_2 (G_1 + G_2) \times \cos \alpha + G_2 \times \sin \alpha] \text{ [N]}$$

3.1.3 Weitere Rechenschritte

Sind mehrere Kettenstränge in derselben Förderanlage, ermittelt man die Kettenzugkraft F_Z pro Kettenstrang mit folgender Formel:

$$F_Z = \frac{F_G}{i_K} \quad [\text{N}]$$

Die Gesamtkettenzugkraft F_G lässt sich auch über die bekannte Antriebsleistung P oder das erforderliche Drehmoment M_d wie folgt berechnen:

$$F_G = \frac{1000 \times P \times \eta}{v} = \frac{2000 \times M_d \times \eta}{D_0} \quad [\text{N}]$$

$$\eta \approx 0,8 \text{ bis } 0,9$$

Liegt nunmehr die Kettenzugkraft F_Z fest, kann die Mindestbruchkraft der Kette $F_B \text{ min}$ ermittelt werden.

$$F_B \text{ min} = F_Z \times k \leq F_B \quad [\text{N}]$$

Der Sicherheitsfaktor k wird in der Regel bei gleichmäßiger Zugbelastung mit 6 bis 7 angesetzt. Hierbei sollte die Zähnezahl der Kettenräder ≥ 8 sein. Mit dem Wert $F_B \text{ min}$ kann nunmehr die gewünschte Kette durch Vergleich mit den im Katalog oder auf dieser Webseite aufgeführten Bruchkräften ausgewählt werden.

3.2 Ermittlung der Gelenkflächenpressung

Nach der Auswahl einer entsprechenden Förderkette, ist die rechnerische Kontrolle der im Betriebszustand zu erwartenden Gelenkflächenpressung p_{BB} zwischen Bolzen und Buchsen zwingend notwendig.

Tabelle 1
Zulässige Gelenkflächenpressung p_{BB} (Bolzen / Buchse)

Werkstoffpaarung		zul. Gelenkfläche
Bolzen	Buchse	p_{BB} [N/cm ²]*
Einsatzstahl	Einsatzstahl	2500
Rostfreier Stahl	Rostfreier Stahl	1250

* Kettengeschwindigkeit bis 0,5 m/s und $Z \geq 10$, sowie guter Schmierung

Tabelle 2
Zulässige Gelenkflächenpressung p_{BL} (Buchse / Laufrolle)

Werkstoffpaarung		zul. Gelenkfläche
Buchse	Laufrolle	p_{BL} [N/cm ²]*
Einsatzstahl	Einsatzstahl	800
Rostfreier Stahl	Rostfreier Stahl	400

* Kettengeschwindigkeit bis 0,5 m/s und $Z \geq 10$, sowie guter Schmierung

Möchte man einen vorzeitigen Verschleiß der Kette durch erhöhte Abnutzung des Bolzens bzw. der Buchse und die damit auftretende Längenänderung der Kette vermeiden, so ist folgende Formel zu beachten:

$$p_{BB} = \frac{F_z \times 100}{d_1 \times (b_1 + 2 \times s)} \text{ [N/cm}^2\text{]}$$

Die Gelenkflächenpressung zwischen Buchse und Laufrolle wird wie folgt ermittelt:

$$p_{BL} = \frac{F_R \times 100}{d_2 \times (b_1 - 3)} \text{ [N/cm}^2\text{]}$$

Hierbei ist F_R die Belastung der einzelnen Rolle durch das anteilige Kettengewicht sowie dem anteiligen Lastgewicht (Achtung: 1kg Gewicht \approx 10 N Kraftanteil)

3.3 Kettengeschwindigkeit und Zähnezahzahl der Kettenräder

Bei der Konstruktion von Förderanlagen sollen vorzugsweise Kettenräder mit $Z \geq 8$ verwendet werden. Bei Geschwindigkeiten über 0,6 m/s sollen nur Kettenräder mit $Z \geq 10$ verwendet werden.

Mit kleiner werdender Zähnezahzahl steigt infolge der Polygonwirkung die Ungleichförmigkeit der Kettengeschwindigkeit an. Dies mindert die Standzeit einer Kette

3.4 Reibungskoeffizient

3.4.1. Gleitende Reibung der Kette auf Unterlage

Tabelle 3
Gleitreibungskoeffizient μ_1 zwischen Kette und Gleitschiene

Werkstoff Gleitschiene	unterbrochener Betrieb Gute Schmierung	Dauerbetrieb Gute Schmierung
Stahl	μ_1 ca. 0,3	μ_1 ca. 0,25
Kunststoff ¹⁾	μ_1 ca. 0,2	μ_1 ca. 0,2

1) z.B.: Polyamid bzw. Niederdruckpolyethylen

3.4.2. Rollende Reibung der Kette auf Unterlage

Hier spricht man vom Rollwiderstandskoeffizient μ_2 der Laufrolle. Eine rollende Reibung liegt im Betriebszustand immer dann vor, wenn die Ketten mit Laufrollen (z.B.: Form B nach DIN 8166 bzw. 8169) ausgestattet sind.

Für ein korrektes Abrollen der Laufrolle ist es wichtig, dass das Verhältnis Außendurchmesser Laufrolle zu Außendurchmesser Buchse mindestens 2,5 beträgt.

für die rechnerische Auslegung der Förderkette mit Laufrollen kann für μ_2 ca. 0,2 (Laufrolle und Buchse aus Stahl) angesetzt werden. Die Kettenzugkraft F_Z ergibt sich dann entsprechend der Berechnungsformeln von 3.1.

Für die genauere Berechnung gilt folgender Zusammenhang:

a) Laufrolle Form B:

$$\mu_2 = \frac{2 \times \mu_4 + d_2 \times \mu_3}{d_4}$$

b) Bundlaufrolle Form D bzw. F:

$$\mu_2 = \frac{2 \times \mu_4 + d_2 \times \mu_3}{d_5}$$

$\mu_4 \approx 0,6$ (Stahlrolle und Stahlführung)

μ_3 kann entsprechend nachfolgender Tabelle angesetzt werden:

Tabelle 4
Reibungskoeffizient μ_3 zwischen Buchse und Rolle

Werkstoffpaarung		μ_3 ohne Schmierung	μ_3 mit Schmierung
Rolle	Buchse		
Stahl	Stahl	0,25	0,20
Rolle mit Bronzebuchse	Stahl	0,18	0,13
Kunststoff PA	Stahl	0,15	0,10
Rolle mit Wälzlager	Stahl	-	0,02

Zu beachten ist, dass beim Anfahren einer Anlage der Reibungskoeffizient μ_3 zwischen Buchse und Rolle um ca. 1,5-fache bis 3-fache höher liegt. (Übergang von haftender zur rollenden Reibung).

Entsprechend hoch ist dann kurzfristig die Kettenzugkraft F_Z .

3.5. Schmierung von Förderketten

Die Förderkette ist ein wichtiges Maschinenelement und benötigt Spezialschmierstoffe, damit sie zuverlässig, effektiv und wirtschaftlich ist.

In der Regel erhalten die Ketten nach der Montage und Kontrolle eine Konservierung als Rostschutz. Vor der Inbetriebnahme muss jede Gelenkstelle mit einem geeigneten Schmierstoff geschmiert werden. Die Schmierung richtet sich nach dem Einsatzfall. Sie ist von der Kettengeschwindigkeit und den Umgebungseinflüssen (Temperatur, Feuchte), abhängig.

Neben Schmierstoffen wie Öl oder Fett werden für spezielle Einsatzgebiete auch Trockenschmierstoffe eingesetzt.

In Zusammenhang mit den einschlägigen Schmierstoff-Herstellern beraten wir Sie gerne auf Wunsch.

Insbesondere verweisen wir auf die ausführliche Broschüre "Die Schmierung der Ketten". Herausgeber ist die Klüber Lubrication München KG, Geisenhausenerstr. 7, 81379 München. (<http://www.klueber.com>).