

# [Technische Berechnungen] Berechnung der Lebensdauer von Linearsystemen, Teil 1

## Zulässige Last

•Dynamische Tragzahl (C)  
Die dynamische Tragzahl ist eine in eine konstante Richtung wirkende konstante Last, die jedes Linearsystem der gleichen Serie einen Weg von  $50 \times 10^3$  m unter gleichen Bedingungen zurücklegen lässt. Dabei dürfen nicht mehr als 10% Materialschäden durch Ermüdungserscheinungen aufgrund von Rollkontakten auftreten.

•Statische Tragzahl (Co)  
Die statische Tragzahl ist die auf die sich berührenden Teile ausgeübte maximale statische Last, bei der die Summe der plastischen Verformung von Lagerkugel und Lauffläche dem 0.0001-fachen des Øs des rollenden Elements entspricht.

•Zulässiges statisches Moment (Mr, My, Mr)  
Das zulässige statische Moment ist das kritische statische Lastmoment, das während der Einwirkung der Last auf das System entsteht. Es wird, wie die statische Tragzahl Co, auf Basis der permanenten Verformung bestimmt.

•Statischer Sicherheitsfaktor (fs)  
Die statischen Sicherheitsfaktoren sind in Tabelle 1 angegeben. Wenn ein Linearsystem stillsteht oder sich mit niedriger Geschwindigkeit bewegt, muss die statische Tragzahl (Co) entsprechend den Einsatzbedingungen durch (fs) dividiert werden.

**Tabelle 1: Statischer Sicherheitsfaktor (Untergrenze von fs)**

Einsatzbedingungen	Untergrenze von fs
Normale Betriebsbedingungen	1~2
Bei erforderlicher gleichmäßiger Bewegung	2~4
Unter Einwirkung von Vibrationen und Stößen	3~5

Zulässige Last (N)  $\leq$  Co/fs  
Zulässiges Moment (Nm)  $\leq$  (Mr, My, Mr)/fs

fs: Statischer Sicherheitsfaktor Co: Statische Tragzahl (N)

Mr, My, Mr: Zulässiges statisches Moment (Nm)

## Lebensdauer

Wenn auf ein Linearsystem eine Last einwirkt, bewegt sich das System in linearer Richtung vor und zurück. Bei diesem Vorgang werden die Lagerkugeln und die Laufflächen kontinuierlich belastet, was zu Schäden wie Abblätterungen aufgrund von Materialermüdung führt.

Die Lebensdauer eines Linearsystems wird als Gesamtwegstrecke berechnet, die das System bis zum ersten Auftreten von Abblätterungen zurücklegt.

•Nenn-Lebensdauer (L)  
Die Nenn-Lebensdauer ist die gesamte Wegstrecke, die jedes Linearsystem derselben Serie unter denselben Bedingungen zurücklegen kann, ohne dass es in 90% des Systems zu einer Abblätterung kommt.

Man errechnet die Nenn-Lebensdauer aus der dynamischen Tragzahl und den auf das Linearsystem einwirkenden verschiedenen Lasten wie folgt:

$$\text{Kugellager} \quad L = \left( \frac{C}{P} \right)^3 \cdot 50$$

$$\text{Rollenlager} \quad L = \left( \frac{C}{P} \right)^{10/3} \cdot 50$$

L: Nenn-Lebensdauer (km)

C: Dynamische Tragzahl (N)

P: Wirkende Last (N)

•Vor dem Einsatz eines Linearsystems müssen Sie zunächst die Last berechnen. Die Last ist auch in Hinblick auf Vibrationen und Stöße zu betrachten, die während des Betriebs auftreten können, sowie bezüglich deren Verteilung über das gesamte Linearsystem, da sich die Last in einer linearen Richtung vor- und zurückbewegt. Die Berechnungen sind nicht ganz einfach. Die Betriebstemperatur hat ebenfalls einen erheblichen Einfluss auf die Lebensdauer. Unter Berücksichtigung dieser Parameter kann die obige Formel wie folgt umgestellt werden:

$$\text{Kugellager} \quad L = \left( \frac{f_H \cdot f_T \cdot f_C}{f_W} \cdot \frac{C}{P} \right)^3 \cdot 50$$

$$\text{Rollenlager} \quad L = \left( \frac{f_H \cdot f_T \cdot f_C}{f_W} \cdot \frac{C}{P} \right)^{10/3} \cdot 50$$

L: L: Nenn-Lebensdauer (km)

f<sub>H</sub>: Härtekoefizient (siehe Abb. 1)

C: Dynamische Tragzahl (N)

f<sub>T</sub>: Temperaturkoefizient (siehe Abb. 2)

P: Wirkende Last (N)

f<sub>C</sub>: Kontaktkoefizient (siehe Tabelle 3)

f<sub>W</sub>: Lastkoefizient (siehe Tabelle 4)

Mithilfe des zurückgelegten Weges in einer bestimmten Zeit kann die Lebensdauer in Stunden errechnet werden. Die Ergebnisse lassen sich mit folgender Formel berechnen, wobei die Länge des Verfahrensweges und die Anzahl der Verfahrenszyklen als konstant angenommen werden.

$$L_h = \frac{L \cdot 10^3}{2 \cdot \ell_s \cdot n_1 \cdot 60}$$

L<sub>h</sub>: Lebensdauer in Stunden

ℓ<sub>s</sub>: Länge des Verfahrensweges (m)

L: L: Nenn-Lebensdauer (km)

n<sub>1</sub>: Anzahl der Hin- und Herbewegungen pro Minute (cpm)

## Reibungswiderstand und erforderliche Schubkraft

Mithilfe der folgenden Formel kann der Reibungswiderstand (erforderliche Schubkraft) aus der Last und dem systemspezifischen Dichtungswiderstand ermittelt werden:

$$F = \mu \cdot W + f$$

F: Reibungswiderstand (N)

μ: Dynamischer Reibungskoeffizient

W: Gewicht der Last

f: Dichtungswiderstand (2N~5N)

**Tabelle 2: Vergleich der dynamischen Reibungskoeffizienten**

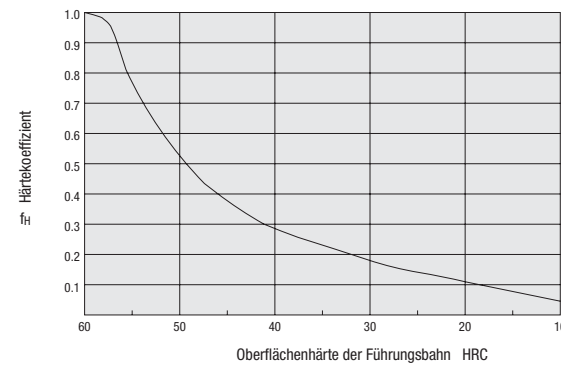
Ausführung	Dynamischer Reibungskoeffizient (μ)
Miniatur-Profilschienenführungen	0.004~0.006
Profilschienenführungen mit mittlerer Traglast	0.002~0.003
Kreuzrollenführungen	0.001~0.003
Kreuzrollentische	0.001~0.003
Linearlager	0.002~0.003
Linearkugellager	0.0006~0.0012

## Härtekoefizient (f<sub>H</sub>)

Bei Linearsystemen muss die Welle so hart sein, dass sie dem Kontakt mit den Kugellagern widerstehen kann. Bei unzureichender Härte reduziert sich unter Umständen die zulässige Last, was zu einer kürzeren Lebensdauer führt.

Kompensieren Sie die Nenn-Lebensdauer mit dem Härtekoefizienten.

**Abbildung 1: Härtekoefizienten**



## Kontaktkoefizient (f<sub>C</sub>)

Im Allgemeinen werden an einer Welle zwei oder mehr Linearsysteme verwendet. Je nach Bearbeitungsgenauigkeit kann die auf die einzelnen Systeme einwirkende Last variieren. In diesem Fall ändert sich die auf die einzelnen Linearsysteme einwirkende Last in Abhängigkeit von der Bearbeitungsgenauigkeit. Aus diesem Grund kann die Last nicht als gleichmäßig verteilt angenommen werden. Daraus folgt, dass sich die zulässige Last pro Linearsystem in Abhängigkeit von der Anzahl der Linearsysteme auf einer Achse ändert. Kompensieren Sie die Nenn-Lebensdauer mit dem Kontaktkoefizienten aus Tabelle 2.

## Lastkoefizient (f<sub>W</sub>)

Bei der Berechnung der auf ein Linearsystem einwirkenden Last müssen genaue Werte für Materialgewicht, Trägheitskraft aufgrund von Betriebsgeschwindigkeit, Lastmoment, verschiedene zeitliche Veränderungen usw. verwendet werden. Genaue Berechnungen der Hin- und Herbewegungen sind jedoch schwierig, da neben der normalen Wiederholung von Start- und Stoppvorgängen auch andere Faktoren wie Vibrationen und Stöße berücksichtigt

## Linearlager

Die Nenn-Lebensdauer lässt sich aus der dynamischen Tragzahl und der auf das Linearlager einwirkenden Last wie folgt berechnen:

$$L = \left( \frac{f_H \cdot f_T \cdot f_C}{f_W} \cdot \frac{C}{P} \right)^3 \cdot 50$$

L: L: Nenn-Lebensdauer (km) f<sub>H</sub>: Härtekoefizient (siehe Abb. 1)

C: Dynamische Tragzahl (N) f<sub>T</sub>: Temperaturkoefizient (siehe Abb. 2)

P: Wirkende Last (N) f<sub>C</sub>: Kontaktkoefizient (siehe Tabelle 3)

f<sub>W</sub>: Lastkoefizient (siehe Tabelle 4)

Mithilfe des zurückgelegten Weges in einer bestimmten Zeit kann die Lebensdauer in Stunden errechnet werden. Die Ergebnisse lassen sich mit folgender Formel berechnen, wobei die Länge des Verfahrensweges und die Anzahl der Verfahrenszyklen als konstant angenommen werden.

$$L_h = \frac{L \cdot 10^3}{2 \cdot \ell_s \cdot n_1 \cdot 60}$$

L<sub>h</sub>: Lebensdauer in Stunden ℓ<sub>s</sub>: Länge des Verfahrensweges (m)

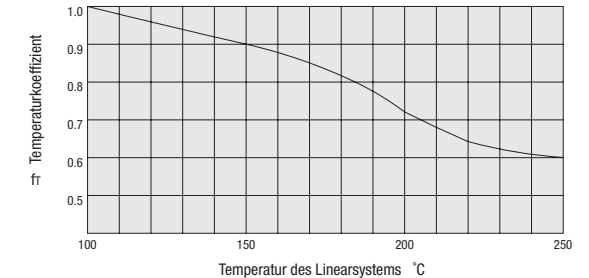
L: Nenn-Lebensdauer (km)

n<sub>1</sub>: Anzahl der Hin- und Herbewegungen pro Minute (cpm)

## Temperaturkoefizient (f<sub>T</sub>)

Wenn die Temperatur in einem Linearsystem die Temperatur von 100°C überschreitet, verschlechtert sich die Härte des Systems und der Welle. Dadurch verringert sich die zulässige Last gegenüber der Nutzung des Systems bei Umgebungstemperatur und die Lebensdauer wird unter Umständen reduziert. Kompensieren Sie die Nenn-Lebensdauer mit dem Temperaturkoefizienten.

**Abbildung 2: Temperaturkoefizient**



**Tabelle 3: Kontaktkoefizienten**

Anzahl der Lager pro Welle	Kontaktkoefizient f <sub>C</sub>
1	1.00
2	0.81
3	0.72
4	0.66
5	0.61

**Tabelle 4: Lastkoefizienten**

Einsatzbedingungen	f <sub>W</sub>
Niedrige Geschwindigkeit ohne von außen einwirkende Vibrationen oder Stöße (max. 15m/min)	1.0~1.5
Mittlere Geschwindigkeit ohne von außen einwirkende Vibrationen oder Stöße von erheblicher Stärke (max. 60m/min)	1.5~2.0
Hohe Geschwindigkeit ohne von außen einwirkende Vibrationen oder Stöße (über 60m/min)	2.0~3.5

## Linearkugellager

Die Nenn-Lebensdauer lässt sich aus der dynamischen Tragzahl und der auf das Linearkugellager einwirkenden Last wie folgt berechnen:

$$L = \left( \frac{f_H \cdot f_T \cdot f_C}{f_W} \cdot \frac{C}{P} \right)^3 \cdot 50$$

L: L: Nenn-Lebensdauer (km) f<sub>H</sub>: Härtekoefizient (siehe Abb. 1)

C: Dynamische Tragzahl (N) f<sub>T</sub>: Temperaturkoefizient (siehe Abb. 2)

P: Wirkende Last (N) f<sub>C</sub>: Kontaktkoefizient (siehe Tabelle 3)

f<sub>W</sub>: Lastkoefizient (siehe Tabelle 4)

Lebensdauer in Stunden

•Drehbewegung und Hin- und Herbewegung

$$L_h = \frac{10^6 \cdot L}{60 \sqrt{(dm \cdot n)^2 + (10 \cdot S \cdot n_1)^2} / dm}$$

•Hin- und Herbewegung

$$L_h = \frac{10^6 \cdot L}{600 \cdot S \cdot n_1 / (\pi \cdot dm)}$$

L<sub>h</sub>: Lebensdauer in Stunden S: Verfahrenslänge (mm)

n: Umdrehungen pro Minute (1/min)

n<sub>1</sub>: Anzahl der Hin- und Herbewegungen pro Minute (cpm)

dm: Flanken-Ø der Kugel (mm)=1.15dr

•Zulässige Werte bei Drehbewegung sowie Hin- und Herbewegung

$$DN \geq dm \cdot n + 10 \cdot S \cdot n_1$$