Berechnung der nominellen Lebensdauer

Die Lebensdauer von gleichen Linearführungssystemen ist oftmals unterschiedlich, obwohl sie unter gleichen Bedingungen hergestellt und auch betrieben werden. Als Richtlinie wird die nominelle Lebensdauer wie folgt definiert: Die nominelle Lebensdauer (L_{10}) ist die Gesamtlaufstrecke einer einzelnen Linearführung oder einer genügend großen Gruppe gleicher und unter gleichen Bedingungen betriebenen Linearführungen, die ohne erste Anzeichen einer Materialermüdung an einer der beiden Laufbahnen oder an einem der Wälzkörper mit 90% Zuverlässigkeit erreicht oder überschritten wird.

Berechnung der nominellen Lebensdauer

Die nominelle Lebensdauer (L_{10}) ist anhand der dynamischen Tragzahl (C) und der berechneten Belastung (P_C) nach folgender Formel zu berechnen, wobei sie sich bei kugelgelagerten Linearführungen auf eine Laufstrecke von 50 km bezieht, während sie sich bei rollengelagerten Linearführungen auf 100 km bezieht.

- Kugelgelagerte Linearführung bezogen auf 50 km Laufstrecke

$$L_{10} = \left(\frac{C_{50}}{P_C}\right)^3 \times 50 \quad \cdots\cdots\cdots\cdots (1)$$

L_{10} : Nominelle Lebensdauer (km)
C : Dynamische Tragzahl (N)
P_C : Berechnete Belastung (N)

- Rollengelagerte Linearführung bezogen auf 100 km Laufstrecke

$$L_{10} = \left(\frac{C_{100}}{P_C}\right)^{\frac{10}{3}} \times 100 \quad \cdots\cdots\cdots\cdots (2)$$

*Diese Berechnungsformel für die nominelle Lebensdauer gilt für die Hublänge größer als die doppelte Wagenlänge.

Bei der Berechnung der nominellen Lebensdauer (L_{10}) ist der Bezug auf 50 km (C_{50}) oder 100 km (C_{100}) zu berücksichtigen. Je nach Bedarf wird die dynamische Tragzahl nach ISO 14728-1 wie folgt umgerechnet:

- Kugelgelagerte Linearführung

$$C_{100} = \frac{C_{50}}{1{,}26}$$

C_{50} : Dynamische Tragzahl mit Bezug auf 50 km
C_{100} : Dynamische Tragzahl mit Bezug auf 100 km

- Rollengelagerte Linearführung

$$C_{100} = \frac{C_{50}}{1{,}23}$$

Nach der Ermittlung der nominellen Lebensdauer (L_{10}) kann bei konstanter Hublänge und gleicher Anzahl der Zyklen pro Minute die nominelle Lebensdauer in Stunden nach folgender Formel berechnet werden.

$$L_{10h} = \frac{L_{10} \times 10^6}{2 \times \ell_s \times n_1 \times 60}$$

L_{10h} : nominelle Lebensdauer in Stunden (h)
ℓ_s : Hublänge (mm)
n_1 : Zyklenzahl pro Minute (min^{-1})

Berechnung der modifizierten nominellen Lebensdauer

In der Praxis werden Linearführungen Vibrationen und Stößen sowie schwankenden Belastungen ausgesetzt, welche schwierig zu erfassen sind. Zusätzlich nehmen die Oberflächenhärte der Laufbahnen, die Einsatztemperatur und die direkt hintereinander angeordneten Wagen einen entscheidenden Einfluss auf die Lebensdauer. Unter Berücksichtigung dieser Faktoren kann die modifizierte nominelle Lebensdauer (L_{10m}) nach den Formeln (3) und (4) berechnet werden.

- Modifikationsfaktor α

$$\alpha = \frac{f_H \cdot f_T \cdot f_C}{f_W}$$

α : Modifikationsfaktor
f_H : Härtefaktor (siehe Abb. 8 auf A1-68)
f_T : Temperaturfaktor (siehe Abb. 9 auf A1-68)
f_C : Kontaktfaktor (siehe Tab. 10 auf A1-68)
f_W : Belastungsfaktor (siehe Tab. 11 auf A1-69)

- Modifizierte nominelle Lebensdauer L_{10m}
  - Kugelgelagerte Linearführung

$$L_{10m} = \left(\alpha \times \frac{C_{50}}{P_C}\right)^3 \times 50 \quad \cdots\cdots\cdots\cdots (3)$$

  - Rollengelagerte Linearführung

$$L_{10m} = \left(\alpha \times \frac{C_{100}}{P_C}\right)^{\frac{10}{3}} \times 100 \quad \cdots\cdots\cdots\cdots (4)$$

L_{10m} : Modifizierte nominelle Lebensdauer (km)
C : Dynamische Tragzahl (N)
P_C : Berechnete Belastung (N)

[f_H: Härtefaktor]

Um das Erreichen der optimalen Tragzahl der Linearführung sicherzustellen, muss die Härte der Laufbahn zwischen 58 und 64 HRC betragen.

Liegt die Härte unter dem angegebenen Mindestwert, ist für die Berechnung der statischen Sicherheit und der modifizierten nominellen Lebensdauer ein aus Abb. 8 gewählter Härtefaktor (f_H) zu berücksichtigen.

Da die Linearführung eine ausreichende Härte besitzt, ist der Wert f_H für die Linearführung normalerweise 1,0, wenn nicht anderweitig angegeben.

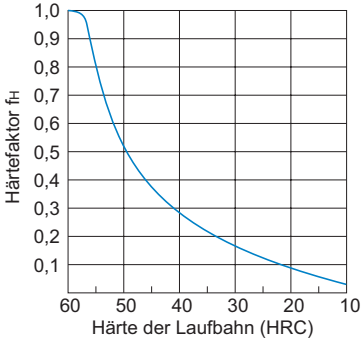


Abb. 8 Härtefaktor (f_H)

[f_T:Temperaturfaktor]

Wird eine Linearführung Temperaturen von über 100°C ausgesetzt, ist für die Berechnung der statischen Sicherheit und der modifizierten nominellen Lebensdauer ein aus Abb. 9 gewählter Temperaturfaktor (f_T) zu berücksichtigen.

Außerdem sollten nur Linearführungen speziell für hohe Temperaturbereiche ausgewählt werden.

Hinweis: Linearführungen, die nicht temperaturbeständig ausgeführt sind, sollten bei 80 °C oder weniger eingesetzt werden. Wenden Sie sich für Anwendungen über 80 °C bitte an THK.

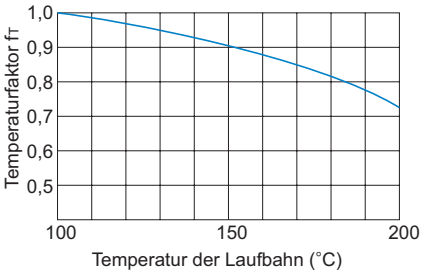


Abb. 9 Temperaturfaktor (f_T)

[f_C: Kontaktfaktor]

Wenn mehrere Führungswagen in einem Linearsystem auf engem Raum eingesetzt werden, ist eine gleichmäßige Lastverteilung von Momenten, Abweichungen der Montagefläche u.a. nur schwer zu erreichen. Werden zwei oder mehr Wagen auf engem Raum eingesetzt, ist für die Berechnung der statischen Sicherheit und der modifizierten nominellen Lebensdauer ein aus Tab. 10 gewählter Kontaktfaktor (f_C) zu berücksichtigen.

Hinweis: Bei erwarteter ungleicher Lastverteilung in großen Maschinen ist der jeweilige Kontaktfaktor aus Tab. 10 zu berücksichtigen.

Tab. 10 Kontaktfaktor (f_C)

Anzahl der eng zusammengesetzt verwendeten Führungswagen	Kontaktfaktor f_C
2	0,81
3	0,72
4	0,66
5	0,61
min. 6	0,6
Normalbetrieb	1

[f_w: Belastungsfaktor]

Im Allgemeinen verursachen Maschinen mit oszillierenden Bewegungen beim Betrieb Schwingungen oder Stöße. Es ist äußerst schwierig, im Hochgeschwindigkeitsbetrieb bei wiederholtem Anfahren und Anhalten erzeugte Schwingungen und Stoßbelastungen genau zu bestimmen. Wenn die Auswirkungen von Geschwindigkeit und Schwingungen als bedeutend eingestuft werden, ist für die Berechnung der modifizierten nominellen Lebensdauer ein aus Tab. 11 gewählter Belastungsfaktor f_w, der empirisch ermittelte Daten enthält, zu berücksichtigen.

Tab. 11 Belastungsfaktor (f_w)

Schwingungen/ Stöße	Geschwindigkeit (V)	f_w
schwach	sehr langsam V≦0,25 m/s	1 bis 1,2
leicht	langsam 0,25 < V≦1 m/s	1,2 bis 1,5
mittel	mittel 1 < V≦2 m/s	1,5 bis 2
stark	hoch V > 2 m/s	2 bis 3,5