

DIN 631-1



ICS 21.100.20

Einsprüche bis 2024-09-26
Vorgesehen als Ersatz für
DIN 631:2020-03

Entwurf**Wälzlager –
Prüfbedingungen zur versuchstechnischen Verifikation der dynamischen
Tragzahl von Profilschienenführungen mit kompakten Kugel- oder
Rollenumlaufwagen**

Rolling bearings –

Testing conditions for the experimental verification of the dynamic load rating of ball
carriage or roller carriage profiled rail guides

Roulements –

Condition d'essai à la vérification expérimental de la charge dynamique de base des
roulements linéaire à recirculation de billes ou de rouleaux composé de guidage sur rail
profilé avec chariot

Anwendungswarnvermerk

Dieser Entwurf mit Erscheinungsdatum 2024-07-26 wird der Öffentlichkeit zur Prüfung und Stellungnahme vorgelegt.

Weil das beabsichtigte Dokument von der vorliegenden Fassung abweichen kann, ist die Anwendung dieses Entwurfs besonders zu vereinbaren.

Stellungnahmen werden erbeten

- vorzugsweise online im Norm-Entwurfs-Portal von DIN unter www.din.de/go/entwuerfe bzw. für Norm-Entwürfe der DKE auch im Norm-Entwurfs-Portal der DKE unter www.entwuerfe.normenbibliothek.de, sofern dort wiedergegeben;
- oder als Datei per E-Mail an nawgl@din.de möglichst in Form einer Tabelle. Die Vorlage dieser Tabelle kann im Internet unter www.din.de/go/stellungnahmen-norm-entwuerfe oder für Stellungnahmen zu Norm-Entwürfen der DKE unter www.dke.de/stellungnahme abgerufen werden;
- oder in Papierform an den DIN-Normenausschuss Wälz- und Gleitlager (NAWGL), 10772 Berlin oder Am DIN-Platz, Burggrafenstr. 6, 10787 Berlin.

Es wird gebeten, mit den Kommentaren zu diesem Entwurf jegliche relevanten Patentrechte, die bekannt sind, mitzuteilen und unterstützende Dokumentationen zur Verfügung zu stellen.

Gesamtumfang 30 Seiten

DIN-Normenausschuss Wälz- und Gleitlager (NAWGL)

Anwendungsbeginn

Anwendungsbeginn dieser Norm ist [JJJJ]-MM-TT].

Inhalt

	Seite
Vorwort	4
1 Anwendungsbereich	5
2 Normative Verweisungen	5
3 Begriffe und Symbole	5
4 Tragfähigkeit und nominelle Lebensdauer	6
5 Kurzbeschreibung	8
6 Definition der Parameter	8
6.1 Prüflingsdimension	8
6.2 Ausführung des Wagens	8
6.3 Vorspannung	8
6.4 Genauigkeit	8
6.5 Prüflast F	9
6.6 Toleranz der Prüflast	9
6.7 Belastungsrichtung	9
6.8 Geschwindigkeit und Beschleunigung	10
6.9 Hublänge	10
6.10 Schmierung	11
6.11 Schmiermengen	11
6.12 Ausfallkriterium	12
6.13 Detektion und Überwachung	13
6.14 Anzahl der Prüflinge	13
7 Angabe der Ergebnisse einschließlich Berechnungsverfahren	13
7.1 Vorgehensweise	13
7.1.1 Software-gestützte Auswertung	13
7.1.2 Manuelle Auswertung	14
7.2 Beschreibung der Vorgehensweise bei manueller Auswertung anhand eines Beispiels . .	14
7.2.1 Allgemeines	14
7.2.2 Ermittlung der Einzellaufzeiten x_j aus einem Lebensdauerversuch	14
7.2.3 Sortierung der Einzellaufzeiten x_j der Größe nach aufsteigend	14
7.2.4 Berechnung der individuellen Ausfallwahrscheinlichkeit $G_{n;j}$	15
7.2.5 Schätzung des Formparameters β und des Skalenparameters θ der Verteilungsfunktion $G(x)$	16
7.2.6 Berechnung des oberen und unteren Vertrauensbereiches für den Formparameter β . .	17
7.2.7 Bestimmung des Vertrauensbereiches für den Wert $G(x)$ bei vorgegebenem Merkmalswert x	18
7.2.8 Eintrag der Werte in das Wahrscheinlichkeitsnetz und Bestimmung der experimentellen Lebensdauer B_{10} , ($G(x) = 10\%$)	19
7.2.9 Bestätigung der dynamischen Tragzahl	22
Anhang A (normativ) Hilfsfaktoren	24
Literaturhinweise	30

Bilder

Bild 1 — Schematische Darstellung Profilschienenführung	7
Bild 2 — Belastungsrichtung	10
Bild 3 — Geschwindigkeit und Beschleunigung	10

Bild 4 — Tragkörperlänge	11
Bild 5 — Hublänge	11
Bild 6 — Darstellung Schadensdurchmesser	13
Bild 7 — Wahrscheinlichkeitsnetz zur Ablesung der experimentellen Lebensdauer B_{10}, ($G(x) = 10\%$)	21
Bild A.1 — Wahrscheinlichkeitsnetz — Vorlage	29

Tabellen

Tabelle 1 — Mindestschmiermengen	11
Tabelle 2 — Beispiel-Berechnung der individuellen Ausfallwahrscheinlichkeit	15
Tabelle 3 — Werte für obere und untere Vertrauensgrenze	20
Tabelle A.1 — Hilfsfaktoren K_n	24
Tabelle A.2 — f_2 und $H(f_2)$ als Funktionen von v	25
Tabelle A.3 — Quantile $X_{f_2,p}^2$ der X_2-Verteilung	27
Tabelle A.4 — Ausgewählte Quantile der standardisierten Normalverteilung	28

Vorwort

Dieses Dokument wurde vom Arbeitsausschuss NA 118-01-11 AA „Linear-Wälzlager einschließlich Teile und Zubehör“ im DIN-Normenausschuss Wälz- und Gleitlager (NAWGL) erarbeitet.

Zur Lagerung von linearen Achsen steht dem Konstrukteur eine Vielzahl von Konstruktionsprinzipien zur Verfügung. Diese reichen von der einfachen Gleitführung über Hydrostatik, Aerostatik, Magnettechnologie bis hin zur linearen Wälzführung. Eine der bedeutendsten linearen Wälzführungen ist die Profilschienenführung, die heute einen Entwicklungsstand erreicht hat, der sie vergleichbar zu rotativen Wälzlagern als Hochleistungs-komponente im allgemeinen Maschinenbau unverzichtbar macht.

Tragfähigkeit, Steifigkeit, Gebrauchsdauer, Genauigkeit, Dynamik, Dämpfungsverhalten, Bauraum und Reibung charakterisieren aus technischer Sicht lineare Führungskomponenten.

Die Tragfähigkeit einer Wälzführung wird durch Angabe der dynamischen Tragzahl beschrieben, die als Basis zur Berechnung der nominellen Lebensdauer herangezogen wird.

Damit sich die Berechnungsverfahren zur Ermittlung der dynamischen Tragzahl der einzelnen Hersteller nicht zu stark voneinander unterscheiden, haben sich alle Hersteller auf ein international gültiges Berechnungsverfahren geeinigt, das in DIN ISO 14728-1 beschrieben ist.

In aufwändigen Versuchsreihen kann die dynamische Tragzahl von Profilschienenführungen überprüft bzw. verifiziert werden. Allerdings sind die Ergebnisse durch viele versuchstechnische Parameter stark beeinflussbar.

Dies trifft auch für die versuchstechnische Darstellung der dynamischen Tragzahl von Profilschienenführungen mit kompakten Kugel- oder Rollenumlaufwagen zu. Ohne die Festschreibung der versuchstechnischen Parameter sind Ergebnisse zwischen unterschiedlichen Profilschienenführungen mit kompakten Kugel- oder Rollenumlaufwagen nicht vergleichbar. Dieser Umstand macht eine Normierung der versuchstechnischen Parameter notwendig.

Aktuelle Informationen zu diesem Dokument können über die Internetseiten von DIN (www.din.de) durch eine Suche nach der Dokumentennummer aufgerufen werden.

Änderungen

Gegenüber DIN 631:2020-03 wurden folgende Änderungen vorgenommen:

- a) Anpassung bestimmter Formulierungen an die Ausführung nach DIN ISO 14728-1;
- b) normative Verweisungen und Literaturhinweise überarbeitet;
- c) Anpassung an die aktuellen Gestaltungsrichtlinien.

1 Anwendungsbereich

Dieses Dokument legt die versuchstechnischen Parameter zur Verifikation der dynamischen Tragzahl einer Profilschienenführung mit kompakten Kugel- oder Rollenumlaufwagen nach DIN ISO 14728-1 fest.

Dieses Dokument dient ausschließlich zur versuchstechnischen Verifikation der dynamischen Tragzahl von Profilschienenführungen mit kompakten Kugel- oder Rollenumlaufwagen, im Folgenden als Profilschienenführung bezeichnet. Als Basis dient die Angabe der dynamischen Tragzahl nach DIN ISO 14728-1 in Verbindung mit den eindeutig festgelegten Einflussfaktoren b_m und λ .

Die in diesem Dokument beschriebene Verfahrensweise kann nicht zur versuchstechnischen Ermittlung einer dynamischen Tragzahl herangezogen werden. So sind beispielsweise Auslegung und Anordnung des Prüfaufbaues in diesem Dokument nicht enthalten. Zudem ist der in diesem Dokument beschriebene Prüfumfang zur versuchstechnischen Ermittlung einer dynamischen Tragzahl nicht ausreichend.

2 Normative Verweisungen

Die folgenden Dokumente werden im Text in solcher Weise in Bezug genommen, dass einige Teile davon oder ihr gesamter Inhalt Anforderungen des vorliegenden Dokuments darstellen. Bei datierten Verweisungen gilt nur die in Bezug genommene Ausgabe. Bei undatierten Verweisungen gilt die letzte Ausgabe des in Bezug genommenen Dokuments (einschließlich aller Änderungen).

DIN 51517-3, *Schmierstoffe — Schmieröle — Teil 3: Schmieröle CLP, Mindestanforderungen*

DIN ISO 281, *Wälzlager — Dynamische Tragzahlen und nominelle Lebensdauer*

DIN ISO 3448, *Flüssige Industrie-Schmierstoffe — ISO-Viskositätsklassifikation*

DIN ISO 12090-1, *Wälzlager — Profilschienenführungen mit kompakten Kugel- oder Rollenumlaufwagen — Teil 1: Maße und Toleranzen für Serie 1, 2 und 3*

DIN ISO 12090-2, *Wälzlager — Profilschienenführungen mit kompakten Kugel- oder Rollenumwagen — Teil 2: Maße und Toleranzen für Serie 4 und 5*

DIN ISO 14728-1:2018-10, *Wälzlager — Linear-Wälzlager — Teil 1: Dynamische Tragzahlen und nominelle Lebensdauer (ISO 14728-1:2017)*

DIN ISO 24393, *Wälzlager — Linear-Wälzlager — Begriffe und Definitionen*

ISO 15241, *Rolling bearings — Symbols for physical quantities*

3 Begriffe und Symbole

Für die Anwendung dieses Dokumentes gelten die Begriffe nach DIN ISO 24393, die Symbole nach DIN ISO 281, DIN ISO 14728-1 und ISO 15241 sowie die folgenden Symbole.

DIN und DKE stellen terminologische Datenbanken für die Verwendung in der Normung unter den folgenden Adressen bereit:

— DIN-Terminologie Portal: verfügbar unter <https://www.din.de/go/din-term>

— DKE-IEV: verfügbar unter <https://www.dke.de/DKE-IEV>

E DIN 631-1:2024-09

Die dynamische Tragzahl nach DIN ISO 14728-1 wird für Profilschienenführungen mit kompakten Kugelumlaufwagen durch folgende Parameter definiert:

b_m	Tragzahlbeiwert für Lager mit Kugelumlauf, Faktor auf 1,3 festgelegt, berücksichtigt Stahlqualität, Oberfläche usw.;
C_{100B}	dynamische Tragzahl nach DIN ISO 14728-1 für Kugelumlaufführungen (Basis 100 km), in N;
C_{50B}	dynamische Tragzahl nach DIN ISO 14728-1 für Kugelumlaufführungen (Basis 50 km), in N;
D_w	Wälzkörperdurchmesser, in mm;
i	Anzahl der tragenden Reihen;
r	Laufbahnradius, in mm;
t_w	Mittenabstand zwischen zwei nebeneinander liegenden Kugeln, in mm;
Z_t	Anzahl tragender Kugeln in einer Reihe;
α	Nenndruckwinkel (Nennberührungswinkel), in Grad;
λ	Reduktionsfaktor für Lager mit Kugelumlauf, Faktor auf 0,9 festgelegt, berücksichtigt geometrische Unvollkommenheit.

Die dynamische Tragzahl nach DIN ISO 14728-1 wird für Profilschienenführungen mit kompakten Rollenumlaufwagen durch folgende Parameter definiert:

b_m	Tragzahlbeiwert für Lager mit Rollenumlauf, Faktor auf 1,1 festgelegt, berücksichtigt Stahlqualität, Oberfläche usw.;
C_{100R}	dynamische Tragzahl nach DIN ISO 14728-1 für Rollenumlaufführungen (Basis 100 km), in N;
C_{50R}	dynamische Tragzahl nach DIN ISO 14728-1 für Rollenumlaufführungen (Basis 50 km), in N;
D_w	Wälzkörperdurchmesser, in mm;
d_s	Schadensdurchmesser bei Materialermüdung, in mm;
F	Prüflast in N; Bei Belastung F der Profilschienenführung in Nennlastrichtung (DIN ISO 14728-1:2018-10, Bild 8) und üblichen Spielverhältnissen (Prüflinge sind spielfrei auszuführen, siehe 6.3) ist der dynamische Lastfaktor gleich 1 ($k_F = 1$) zu setzen. Unter dieser Voraussetzung ($P = k_F \cdot F$) ist die äquivalente dynamische Last P gleich der Prüflast F ($P = F$);
i	Anzahl der tragenden Reihen;
l_{eff}	effektive Auflagelänge der Rolle, in mm;
t_w	Mittenabstand zwischen zwei nebeneinander liegenden Rollen, in mm;
Z_t	Anzahl tragender Rollen in einer Reihe;
α	Nenndruckwinkel (Nennberührungswinkel), in Grad;
λ	Reduktionsfaktor für Lager mit Rollenumlauf, Faktor auf 0,83 festgelegt, berücksichtigt geometrische Unvollkommenheit.

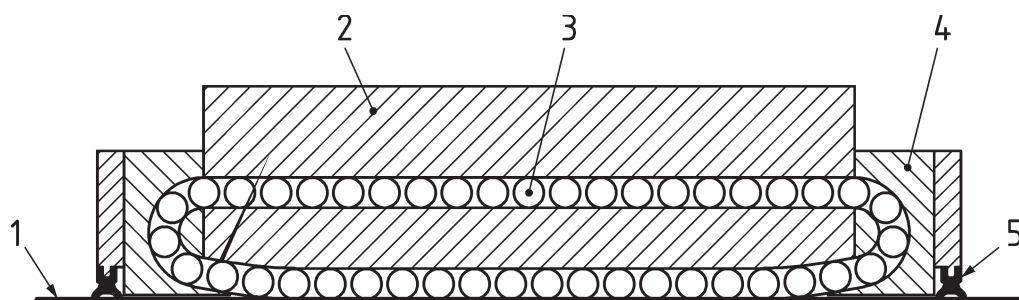
4 Tragfähigkeit und nominelle Lebensdauer

Für die lastabhängige nominelle Lebensdauer ist die dynamische Tragfähigkeit der Profilschienenführung entscheidend. Diese wird von der Materialermüdung des Werkstoffes bestimmt. Berechnungsbasis zur Bestimmung der nominellen Lebensdauer ist die dynamische Tragzahl. Grundlage zur Berechnung der dynamischen Tragzahl einer Profilschienenführung ist DIN ISO 14728-1 für Profilschienenführungen mit kompakten Kugel- oder Rollenumlaufwagen.

Basis zur Herleitung der dynamischen Tragzahl nach DIN ISO 14728-1 stellt der statistische Ansatz zur Materialermüdung nach Lundberg und Palmgren [1] [2] dar. Dieser beschreibt die Überlebenswahrscheinlichkeit einer Wälzkomponente in Abhängigkeit des beanspruchten Materialvolumens, der Anzahl von Überrollungen, dem orthogonalen Schubspannungsmaximum, der Tiefe des beanspruchten Materialvolumens und bestimmter Werkstoffkonstanten.

Die dynamische Tragzahl (C_{100}) einer Profilschienenführung stellt eine zentrische, in Größe und Richtung unveränderliche Last in N dar, bei der eine Profilschienenführung mit einer theoretischen Überlebenswahrscheinlichkeit von 90 % eine Laufstrecke von 100 km erreicht, bevor das erste sichtbare Anzeichen von Ermüdung im Material einer der beiden Laufbahnen oder der Wälzkörper auftritt.

Profilschienenführungen bestehen aus einer profilierten Schiene und einem oder mehreren kompakten Kugel- oder Rollenumlaufwagen. Schienenprofil und Wagen enthalten gehärtete Laufbahnen, auf denen Wälzkörper umlaufen.



Legende

- 1 Schienenlaufbahn
- 2 Stahlteil/Tragkörper
- 3 Wälzkörperumlauf
- 4 Umlenkkörper
- 5 Abdichtung

Bild 1 — Schematische Darstellung Profilschienenführung

Je nach Wälzkörperart unterscheidet man Profilschienenführungen mit kompakten Kugel- oder Rollenumlaufwagen. Anzahl, Anordnung und Kontaktgeometrie der Wälzkörperreihen bestimmen die dynamische Tragzahl einer Profilschienenführung maßgeblich (Prinzipdarstellung, siehe Bild 1).

Die Angaben der dynamischen Tragzahlen in den Katalogen der Hersteller können aber dennoch sehr unterschiedlich sein. Einige Hersteller beziehen sich bei der Angabe der dynamischen Tragzahl nicht auf die Bezugsstrecke von 100 km (C_{100}) sondern auf 50 km (C_{50}). Um die Tragzahlen miteinander vergleichen zu können, gilt nach DIN ISO 14728-1 folgende Umrechnung:

Für Profilschienenführungen mit kompakten Kugelumlaufwagen gilt die Gleichung (1):

$$C_{100B} = \frac{C_{50B}}{1,26} \quad (1)$$

Für Profilschienenführungen mit kompakten Rollenumlaufwagen gilt die Gleichung (2):

$$C_{100R} = \frac{C_{50R}}{1,23} \quad (2)$$

Unter 7.2.9 „Bestätigung der dynamischen Tragzahl“ wird mit Gleichung (27) (C_{100}) und Gleichung (28) (C_{50}) der Bezug zur nominellen Lebensdauerberechnung hergestellt.

Katalogangaben der Tragzahlen der Hersteller sind nur dann vergleichbar, wenn diese nach DIN ISO 14728-1 ermittelt wurden. Basis sind die in DIN ISO 14728-1 festgelegten Angaben der Faktoren λ und b_m . Abweichungen von der in DIN ISO 14728-1 festgelegten Berechnungsgrundlage wie z. B. die Einführung zusätzlicher Faktoren sind nicht zulässig oder berechtigen nicht zur Angabe „Berechnet nach DIN ISO 14728-1“. Ausgangspunkt für die vorliegende prüftechnische Verifikation stellt stets die dynamische Tragzahl nach DIN ISO 14728-1 dar.

Voraussetzung zur Erfüllung dieses Dokuments ist die Eignung des Prüfstandkonzeptes zur Einhaltung aller in diesem Dokument festgelegten Parameter bzw. Grenzwerte.

Wird versuchstechnisch nach der in diesem Dokument beschriebenen Vorgehensweise ein B_{10} -Wert ermittelt, der mindestens gleich oder größer ist als ein nach DIN ISO 14728-1 berechneter nomineller Lebensdauerwert, dann ist die Tragzahlangabe nach DIN ISO 14728-1 als gesichert anzusehen. Im Falle eines B_{10} -Wertes, der unterhalb des nach DIN ISO 14728-1 berechneten Wertes liegt, muss eine Abwertung erfolgen.

5 Kurzbeschreibung

Eine festgelegte Anzahl von Prüflingen wird unter definierter Prüflast mit einem geeigneten Prüfaufbau bei festgeschriebenem Hubverhältnis und ausreichender Schmierstoffmenge bis zur Ermüdungsgrenze des Werkstoffes getestet.

Zur Absicherung einer Baureihe reicht es aus, eine bestimmte Ausführung bei festgelegter Baugröße der Lebensdauerprüfung zu unterziehen. Baugrößen und Ausführungen der Profilschienenführungen mit kompakten Kugel- oder Rollenumlaufwagen entsprechen DIN ISO 12090-1 und DIN ISO 12090-2.

6 Definition der Parameter

6.1 Prüflingsdimension

Die folgenden Prüflingsdimensionen sind für die Prüfung zu verwenden:

- Profilschienenführung mit kompaktem Kugelumlaufwagen der Baugröße 25;
- Miniatur-Profilschienenführungen der Baugröße 12;
- Profilschienenführung mit kompaktem Rollenumlaufwagen der Baugröße 45.

6.2 Ausführung des Wagens

Bei der Auswahl der Prüflinge sind Typ und Anzahl der Befestigungsschrauben zu beachten, da durch unterschiedliches Steifigkeitsverhalten unterschiedliche Ergebnisse zu erwarten sind. Bei der Dokumentation der Ergebnisse sind Art, Typ und Anzahl der Befestigungsschrauben zu benennen.

Als Wagenform für die Prüfung sollte bevorzugt eine der folgenden Wagenformen verwendet werden:

- a) DIN ISO 12090-1: Serie 1, Standard, Typ 1M;
- b) DIN ISO 12090-2: Serie 4, Miniatur, Typ 4M.

Grundsätzlich dürfen auch andere Bauformen mit und ohne Dichtsatz verwendet werden.

6.3 Vorspannung

Die Vorspannung ist spielfrei (Radialspiel gleich 0) auszuführen.

6.4 Genauigkeit

Genauigkeitsklasse 3 nach DIN ISO 12090-1 oder höchstmögliche Genauigkeitsklasse des Herstellers.

6.5 Prüflast F

Die Prüflast F basiert auf der Definition nach DIN ISO 14728-1:2018-10, Abschnitt 6 („Äquivalente dynamische Last“). Bei Belastung F der Profilschienenführung in Nennlastrichtung (DIN ISO 14728-1:2018-10, Bild 8) und üblichen Spielverhältnissen (in diesem Fall spielfrei; siehe 6.3) ist der dynamische Lastfaktor k_F gleich 1 ($k_F = 1$) zu setzen.

$$P = k_F \cdot F$$

Unter der Voraussetzung $k_F = 1$ wird die äquivalente dynamische Last P gleich der Prüflast F ($P = F$).

Für Profilschienenführung mit kompaktem Kugelumlaufwagen ist die Prüflast nach Gleichung (3) bzw. Gleichung (4) zu verwenden, wobei C_{100B} bzw. C_{50B} die rechnerische dynamische Tragzahl nach DIN ISO 14728-1 darstellt:

$$F = 0,5 \cdot C_{100B} \quad (3)$$

$$F = 0,397 \cdot C_{50B} \quad (4)$$

Für Profilschienenführung mit kompaktem Rollenumlaufwagen ist die Prüflast nach Gleichung (5) bzw. Gleichung (6) zu verwenden, wobei C_{100R} bzw. C_{50R} die rechnerische dynamische Tragzahl nach DIN ISO 14728-1 darstellt:

$$F = 0,5 \cdot C_{100R} \quad (5)$$

$$F = 0,406 \cdot C_{50R} \quad (6)$$

BEISPIEL 1 Eine dynamische Tragzahl C_{100B} einer Profilschienenführung mit kompaktem Kugelumlaufwagen beträgt nach DIN ISO 14728-1 gleich 16 000 N. Die Prüflast errechnet sich zu $0,5 \cdot 16\,000\text{ N} = 8\,000\text{ N}$.

BEISPIEL 2 Eine dynamische Tragzahl C_{50B} einer Profilschienenführung mit kompaktem Kugelumlaufwagen beträgt nach DIN ISO 14728-1 gleich 20 250 N. Die Prüflast errechnet sich zu $0,397 \cdot 20\,250\text{ N} = 8\,000\text{ N}$.

6.6 Toleranz der Prüflast

Die mittlere Belastung in Druckrichtung (Bild 2) darf über die gesamte Versuchsdauer $-1,5\%$ bis $+3\%$, bezogen auf die äquivalente dynamische Lagerbelastung, betragen. Dies entspricht einer Lebensdauervarianz zwischen $+5\%$ bis -9% .

Der Versuchsaufbau ist so auszuführen, dass sich die Prüflast F über der gesamten Prüflaufstrecke nur in den obigen Toleranzen bewegt. Zusätzliche Lasten durch Zwangskräfte, die durch Ungenauigkeiten des Prüflings, Prüfstandes oder Temperatureinflüsse verursacht werden, müssen ebenfalls zusammen mit der Toleranz der Prüflast im obigen Toleranzband liegen.

BEISPIEL Dieses Beispiel bezieht sich auf einen Führungstyp mit einer dynamischen Tragzahl nach DIN ISO 14728-1 von C_{100} gleich 16 000 N. Die Prüflast beträgt 8 000 N. Die zulässige Toleranz der äquivalenten Lagerlast beträgt 7 880 N bis 8 240 N. Die Schwankung der Prüflast beträgt -100 N bis $+150\text{ N}$. Die Zusatzlasten durch Genauigkeit, Temperatur usw. betragen -20 N bis $+90\text{ N}$.

6.7 Belastungsrichtung

Die Belastungsrichtung ist in Druckrichtung zu wählen, siehe Bild 2. Die Last muss zentrisch und konstant eingeleitet werden, siehe DIN ISO 14728-1.