

DIN ISO 281



ICS 21.100.20

Ersatzvermerk
siehe unten**Wälzlager –
Dynamische Tragzahlen und nominelle Lebensdauer (ISO 281:2007)**Rolling bearings –
Dynamic load ratings and rating life (ISO 281:2007)Roulements –
Charges dynamiques de base et durée nominale (ISO 281:2007)**Ersatzvermerk**

Ersatz für die 2009-01 zurückgezogene Norm DIN ISO 281:1993-01, DIN ISO 281:2009-01, die 2009-01 zurückgezogene Norm DIN ISO 281/A1:2001-09 und die 2009-01 zurückgezogene Norm DIN ISO 281/A2:2001-09

Gesamtumfang 62 Seiten

Normenausschuss Wälz- und Gleitlager (NAWGL) im DIN

Inhalt

Seite

Nationales Vorwort	5
Nationaler Anhang NA (informativ) Literaturhinweise	6
Einleitung	7
1 Anwendungsbereich	8
2 Normative Verweisungen	8
3 Begriffe	8
4 Symbole	11
5 Radialkugellager	13
5.1 Dynamische radiale Tragzahl	13
5.2 Dynamische äquivalente radiale Belastung	16
5.3 Nominelle Lebensdauer	17
6 Axialkugellager	18
6.1 Dynamische axiale Tragzahl	18
6.2 Dynamische äquivalente axiale Belastung	20
6.3 Nominelle Lebensdauer	21
7 Radialrollenlager	21
7.1 Dynamische radiale Tragzahl	21
7.2 Dynamische äquivalente radiale Belastung	23
7.3 Nominelle Lebensdauer	24
8 Axialrollenlager	24
8.1 Dynamische axiale Tragzahl	24
8.2 Dynamische äquivalente axiale Belastung	27
8.3 Nominelle Lebensdauer	27
9 Erweiterte Lebensdauerberechnung	28
9.1 Allgemeines	28
9.2 Lebensdauerbeiwert für die Zuverlässigkeit	28
9.3 Lebensdauerbeiwert für die Systembetrachtung	29
Anhang A (informativ) Ausführliches Verfahren zur Bestimmung des Verunreinigungsbeiwertes	41
A.1 Allgemeines	41
A.2 Symbole	41
A.3 Bedingungen für die Auswahl der Diagramme und Gleichungen für unterschiedliche Schmierverfahren	41
A.4 Verunreinigungsbeiwert e_C für Ölumlaufschmierung mit Hauptstromfilter	42
A.5 Verunreinigungsbeiwert e_C für Ölschmierung ohne Filterung oder mit Nebenstromfilter	45
A.6 Verunreinigungsbeiwert e_C für Fettschmierung	48
Anhang B (informativ) Berechnung der Ermüdungsgrenzbelastung	52
B.1 Allgemeines	52
B.2 Symbole	52
B.3 Ermüdungsgrenzbelastung C_U	53
Anhang C (informativ) Unstetigkeit bei der Berechnung der dynamischen Tragzahlen	57
C.1 Allgemeines	57

C.2	Symbole.....	57
C.3	Verschiedene Faktoren für die Berechnung der Tragzahl und der äquivalenten Belastung für Radial- und Axial-Schräggugellager	58
C.4	Vergleich der modifizierten dynamischen axialen Tragzahlen C_{ar} und C_{aa} für Radial- und Axial-Schräggugellager	59
C.5	Beispiele	60

Bilder

Bild 1	— Lebensdauerbeiwert a_{ISO}	30
Bild 2	— Kinematische Bezugsviskosität ν_1	35
Bild 3	— Lebensdauerbeiwert a_{ISO} für Radialkugellager	36
Bild 4	— Lebensdauerbeiwert a_{ISO} für Radialrollenlager	37
Bild 5	— Lebensdauerbeiwert a_{ISO} für Axialkugellager	38
Bild 6	— Lebensdauerbeiwert a_{ISO} für Axialrollenlager	39
Bild A.1	— Verunreinigungsbeiwert e_C für Ölumlaufschmierung mit Hauptstromfiltern — $\beta_{6(c)} = 200$, Öleinheitsklasse —/13/10 nach ISO 4406	43
Bild A.2	— Verunreinigungsbeiwert e_C für Ölumlaufschmierung mit Hauptstromfiltern — $\beta_{12(c)} = 200$, Öleinheitsklasse —/15/12 nach ISO 4406	43
Bild A.3	— Verunreinigungsbeiwert e_C für Ölumlaufschmierung mit Hauptstromfiltern — $\beta_{25(c)} \geq 75$, Öleinheitsklasse —/17/14 nach ISO 4406	44
Bild A.4	— Verunreinigungsbeiwert e_C für Ölumlaufschmierung mit Hauptstromfiltern — $\beta_{40(c)} \geq 75$, Öleinheitsklasse —/19/16 nach ISO 4406	44
Bild A.5	— Verunreinigungsbeiwert e_C für Ölumlaufschmierung ohne Filterung oder mit Nebenstromfiltern, Öleinheitsklasse —/13/10 nach ISO 4406	45
Bild A.6	— Verunreinigungsbeiwert e_C für Ölumlaufschmierung ohne Filterung oder mit Nebenstromfiltern, Öleinheitsklasse —/15/12 nach ISO 4406	46
Bild A.7	— Verunreinigungsbeiwert e_C für Ölumlaufschmierung ohne Filterung oder mit Nebenstromfiltern, Öleinheitsklasse —/17/14 nach ISO 4406	46
Bild A.8	— Verunreinigungsbeiwert e_C für Ölumlaufschmierung ohne Filterung oder mit Nebenstromfiltern, Öleinheitsklasse —/19/16 nach ISO 4406	47
Bild A.9	— Verunreinigungsbeiwert e_C für Ölumlaufschmierung ohne Filterung oder mit Nebenstromfiltern, Öleinheitsklasse —/21/18 nach ISO 4406	47
Bild A.10	— Verunreinigungsbeiwert e_C für Fettschmierung — hohe Sauberkeit	49
Bild A.11	— Verunreinigungsbeiwert e_C für Fettschmierung — normale Sauberkeit	49
Bild A.12	— Verunreinigungsbeiwert e_C für Fettschmierung — leichte bis mäßige Verunreinigung	50
Bild A.13	— Verunreinigungsbeiwert e_C für Fettschmierung — starke Verunreinigung	50
Bild A.14	— Verunreinigungsbeiwert e_C für Fettschmierung — sehr starke Verunreinigung	51

Tabellen

Tabelle 1	— Werte von b_m für Radialkugellager	13
Tabelle 2	— Werte von Faktor f_c für Radialkugellager	14
Tabelle 3	— Werte von X und Y für Radialkugellager	15

Tabelle 4 — Werte von f_c für Axialkugellager	19
Tabelle 5 — Werte von X und Y für Axialkugellager	20
Tabelle 6 — Werte von b_m für Radialrollenlager	21
Tabelle 7 — Höchstwerte von f_c für Radialrollenlager	22
Tabelle 8 — Werte von X und Y für Radialrollenlager	24
Tabelle 9 — Werte von b_m für Axialrollenlager	25
Tabelle 10 — Höchstwerte von f_c für Axialrollenlager	26
Tabelle 11 — Werte von X und Y für Axialrollenlager.....	27
Tabelle 12 — Lebensdauerbeiwert für die Zuverlässigkeit a_1	29
Tabelle 13 — Verunreinigungsbeiwert e_C	33
Tabelle A.1 — Auswahl der Diagramme und Gleichungen bei Fettschmierung	48

Nationales Vorwort

Dieses Dokument (ISO 281:2007) wurde vom Technischen Komitee ISO/TC 4/SC 8 „Load ratings and life“ erarbeitet, dessen Sekretariat vom DIN (Deutschland) gehalten wird.

Das zuständige deutsche Gremium ist der Arbeitsausschuss NA 118-01-08 AA „Tragzahlen und Lebensdauer“ im Normenausschuss Wälz- und Gleitlager (NAWGL).

Für die in Abschnitt 2 und im Text zitierten Internationalen Normen wird im Folgenden auf die entsprechenden Deutschen Normen hingewiesen:

ISO 76	siehe DIN ISO 76
ISO 5593	siehe DIN ISO 5593
ISO/TR 8646	siehe DIN SPEC 1281-1
ISO/TS 16281	siehe DIN 26281

Änderungen

Gegenüber DIN ISO 281:1993-01, DIN ISO 281/A1:2001-09 und DIN ISO 281/A2:2001-09 wurden folgende Änderungen vorgenommen:

- a) Inhalt von DIN ISO 281/A1, DIN ISO 281/A2, DIN ISO 281 Beiblatt 1 und ISO/TS 16799 sowie teilweise von DIN ISO 281 Beiblatt 4 eingearbeitet;
- b) Norm redaktionell überarbeitet.

Gegenüber DIN ISO 281:2009-01 wurden folgende Korrekturen vorgenommen:

- c) Richtigstellung der deutschen Übersetzung zur Berechnung der dynamischen radialen Tragzahl in 5.1.2.3 für Tandem-Anordnung (es muss heißen: "Anzahl Lager hoch 0,7 multipliziert mit der Tragzahl eines einreihigen Lagers" und nicht "Anzahl der Lager multipliziert mit der 0,7fache Tragzahl eines einreihigen Lagers");
- d) Richtigstellung der deutschen Übersetzung zur Berechnung der dynamischen radialen Tragzahl in 7.1.2.3 für Tandem-Anordnung (es muss heißen: "Anzahl Lager hoch 0,7 multipliziert mit der Tragzahl eines einreihigen Lagers" und nicht "Anzahl der Lager multipliziert mit der (7/9)-Potenz der Tragzahl eines einreihigen Lagers").

Frühere Ausgaben

DIN 622-1: 1942-08
 DIN 622-2: 1963-04, 1973-03
 DIN 622-3: 1962-04
 DIN ISO 281: 1993-01
 DIN ISO 281/A1: 2001-09
 DIN ISO 281/A2: 2001-09
 DIN ISO 281-1: 1979-02
 DIN ISO 281:2009-01

Nationaler Anhang NA (informativ)

Literaturhinweise

DIN 51819-1, *Prüfung von Schmierstoffen — Mechanisch-dynamische Prüfung auf dem Wälzlagerschmierstoff-Prüfgerät FE8 — Teil 1: Allgemeine Arbeitsgrundlagen*

DIN ISO 76, *Wälzlager — Statische Tragzahlen*

DIN ISO 5593, *Wälzlager — Begriffe und Definitionen (ISO 5593:1997)*

DIN SPEC 1281-1, *Wälzlager — Erläuternde Anmerkungen zur ISO 281 — Teil 1: Dynamische Tragzahlen und nominelle Lebensdauer*

DIN 26281, *Wälzlager — Dynamische Tragzahlen und nominelle Lebensdauer — Berechnung der modifizierten nominellen Referenz-Lebensdauer für Wälzlager*

Wälzlager — Dynamische Tragzahlen und nominelle Lebensdauer

Einleitung

Es ist oft nicht durchführbar, die Eignung eines für einen bestimmten Anwendungsfall ausgewählten Lagers durch Erprobung einer genügenden Anzahl von Lagern in diesem Anwendungsfall festzustellen. Jedoch ist die Lebensdauer, wie sie in 3.1 definiert ist, eine grundlegende Angabe für die Eignung. Eine zuverlässige Lebensdauerberechnung wird daher als angemessener und geeigneter Ersatz für Eignungsprüfungen angesehen. Der Zweck dieser Internationalen Norm ist es, die notwendige Grundlage für diese Lebensdauerberechnung zu bieten.

Seit der Überarbeitung von ISO 281 im Jahre 1990 wurden weitere Erkenntnisse gewonnen, wie sich der Einfluss von Verunreinigungen, Schmierung, inneren Spannungen durch den Einbau, Spannungen durch die Wärmebehandlung, Ermüdungsgrenzbelastung des Werkstoffs, usw. auf die Lagerlebensdauer auswirken. In ISO 281:1990/A2:2000 wurde ein allgemeines Verfahren angegeben, um diese Einflussgrößen bei der Berechnung einer erweiterten Lebensdauer für ein Lager zu berücksichtigen. Diese Änderung ist in diese Internationale Norm eingearbeitet; zudem ist auch ein praktisches Verfahren angegeben, wie der Einfluss von Schmierungsbedingungen, Schmierstoffverunreinigungen und Ermüdung des Lagerwerkstoffes auf die Lagerlebensdauer zu berücksichtigen sind.

In der Technischen Spezifikation ISO/TS 16281^[1] werden weitergehende Berechnungsverfahren angegeben, die es ermöglichen, den Einfluss des Lagerspiels im Betrieb und der Verkipfung unter allgemeinen Belastungsbedingungen zu berücksichtigen. Der Anwender kann auch den Lagerhersteller um Empfehlungen und um Berechnung der entsprechenden dynamischen äquivalenten Belastungen und Lebensdauerbeiwerte für diese Betriebsbedingungen und auch sonstiger Einflüsse wie z. B. Fliehkraft auf die Wälzkörper oder andere Auswirkungen von hohen Umlaufgeschwindigkeiten bitten.

Berechnungen nach dieser Internationalen Norm ergeben keine befriedigenden Ergebnisse, wenn Lager Betriebsbedingungen unterworfen sind und/oder eine innere Konstruktion aufweisen, die zu einer beträchtlichen Beschneidung der Kontaktflächen zwischen Wälzkörper und Laufbahnen führen. So sind nicht modifizierte Ergebnisse z. B. nicht für Kugellager anwendbar, in denen Füllnuten wesentlich in die Kontaktfläche zwischen Kugel und Laufbahn hineinragen, wenn das Lager im Betrieb axial belastet wird. In diesen Fällen sollten die Lagerhersteller befragt werden.

Der Lebensdauerbeiwert a_1 für die Zuverlässigkeit wurde geringfügig geändert und auf eine Erlebenswahrscheinlichkeit von 99,95 % erweitert.

Überarbeitungen dieser Internationalen Norm werden als Folge neuer Entwicklungen oder Informationen über bestimmte Lagerbauarten und Werkstoffe von Zeit zu Zeit erforderlich sein.

Detaillierte Hintergrundinformationen zur Ableitung der in diesem Dokument angegebenen Formeln und Faktoren können ISO/TR 8646¹⁾ und ISO/TR 1281-2^[2] entnommen werden.

1) In Überarbeitung. Wird veröffentlicht als ISO/TR 1281-1.

1 Anwendungsbereich

Diese Internationale Norm legt Verfahren für die Berechnung der dynamischen Tragzahlen von Wälzlager in den Größenbereichen fest, die in entsprechenden ISO-Veröffentlichungen angegeben werden, für Lager, die aus heute allgemein verwendetem, hochwertigem, gehärtetem Wälzlagerstahl nach bewährten Herstellverfahren gefertigt sind und deren Wälzkörper und Laufbahnen im Wesentlichen der herkömmlichen Ausführung entsprechen.

Dieses Dokument legt auch Verfahren zur Berechnung der nominellen Lebensdauer fest; dies ist die mit 90 % Erlebenswahrscheinlichkeit erreichbare Lebensdauer, bei heute allgemein verwendetem, hochwertigem Werkstoff, guter Herstellqualität und üblichen Betriebsbedingungen. Zusätzlich legt sie Verfahren zur Berechnung der erweiterten Lebensdauer fest, bei der unterschiedliche Erlebenswahrscheinlichkeiten, Schmierungsbedingung, Schmierstoffverunreinigung und Ermüdungsgrenzbelastung des Laufbahnwerkstoffes berücksichtigt werden.

Der Einfluss von Verschleiß, Korrosion und Elektroerosion auf die Lagerlebensdauer wird in dieser Internationalen Norm nicht behandelt.

Dieses Dokument ist nicht auf Konstruktionen anzuwenden, in denen Wälzkörper direkt auf der Welle oder im Gehäuse laufen, es sei denn, die Lauffläche ist in jeder Beziehung der Lauffläche des Lagerringes (oder der Lagerscheibe) gleichwertig, die sie ersetzt.

Soweit sich dieses Dokument auf zweireihige Radiallager und zweiseitig wirkende Axiallager bezieht, wird vorausgesetzt, dass diese symmetrisch sind.

Weitere Einschränkungen, die sich auf besondere Lagerarten beziehen, werden in den entsprechenden Abschnitten angegeben.

2 Normative Verweisungen

Die folgenden zitierten Dokumente sind für die Anwendung dieses Dokuments erforderlich. 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).

ISO 76, *Rolling bearings — Static load ratings*

ISO 5593, *Rolling bearings — Vocabulary*

ISO 15241, *Rolling bearings — Symbols for quantities*

ISO/TR 8646:1985, *Explanatory notes on ISO 281/1-1977²⁾*

3 Begriffe

Für die Anwendung dieses Dokuments gelten die Begriffe nach ISO 5593 und die folgenden Begriffe.

3.1

Lebensdauer

<für ein einzelnes Wälzlager> Anzahl von Umdrehungen, die ein Lagerring oder eine Lagerscheibe in Bezug auf den anderen Lagerring oder die andere Lagerscheibe ausführt, bevor das erste Anzeichen von Materialermüdung an einem der beiden Ringe oder Scheiben oder an einem Wälzkörper sichtbar wird

ANMERKUNG Die Lebensdauer kann auch als die Anzahl der Betriebsstunden bei einer vorgegebenen konstanten Umlaufgeschwindigkeit angegeben werden.

2) In Überarbeitung. Wird veröffentlicht als ISO/TR 1281-1.

3.2**Zuverlässigkeit**

<im Zusammenhang mit Lagerlebensdauer> für eine Gruppe offensichtlich gleicher, unter gleichen Bedingungen laufender Wälzlager, der Prozentsatz der Lager der Gruppe, von dem angenommen werden kann, dass er eine bestimmte Lebensdauer erreicht oder überschreitet

ANMERKUNG Die Erlebenswahrscheinlichkeit eines einzelnen Wälzlagers ist die Wahrscheinlichkeit, dass das Lager eine bestimmte Lebensdauer erreicht oder überschreitet.

3.3**rechnerische Lebensdauer**

auf der Grundlage der dynamischen radialen Tragzahl oder dynamischen axialen Tragzahl berechnete Lebensdauer

3.4**nominelle Lebensdauer**

die mit 90 % Zuverlässigkeit erreichbare rechnerische Lebensdauer für Lager, die aus heute allgemein verwendetem, hochwertigem Werkstoff mit bewährter Herstellqualität gefertigt wurden und unter üblichen Betriebsbedingungen laufen

3.5**erweiterte Lebensdauer**

rechnerische Lebensdauer, die für 90 % oder eine davon abweichende Zuverlässigkeit, die Ermüdungsgrenzbelastung des Lagers, und/oder besondere Lagereigenschaften, und/oder Schmierstoffverunreinigung und/oder sonstige unübliche Betriebsbedingungen modifiziert ist

ANMERKUNG Der Begriff „erweiterte Lebensdauer“ wurde neu in dieses Dokument aufgenommen und ersetzt die „modifizierte Lebensdauer“.

3.6**dynamische radiale Tragzahl**

in Größe und Richtung unveränderliche Radiallast, die ein Wälzlager theoretisch für eine nominelle Lebensdauer von 10^6 Umdrehungen aufnehmen kann

ANMERKUNG Im Falle eines einreihigen Schräglagers bezieht sich die radiale Tragzahl auf die radiale Komponente der Belastung, die eine rein radiale Verschiebung der Lagerringe gegeneinander verursacht.

3.7**dynamische axiale Tragzahl**

in Größe und Richtung unveränderliche zentrische Axiallast, die ein Wälzlager theoretisch für eine nominelle Lebensdauer von 10^6 Umdrehungen aufnehmen kann

3.8**äquivalente dynamische radiale Belastung**

in Größe und Richtung unveränderliche Radiallast, unter deren Einfluss ein Wälzlager die gleiche Lebensdauer erreichen würde wie unter den tatsächlichen Lastverhältnissen

3.9**äquivalente dynamische axiale Belastung**

in Größe und Richtung unveränderliche zentrische Axiallast, unter deren Einfluss ein Wälzlager die gleiche Lebensdauer erreichen würde wie unter den tatsächlichen Lastverhältnissen

3.10**Ermüdungsgrenzbelastung**

Lagerbelastung, unter der die Grenzspannung der Ermüdung σ_u bei dem am höchsten belasteten Laufbahnkontakt gerade erreicht wird

3.11

Rollendurchmesser

<anwendbar für die Tragzahlberechnung> theoretischer Durchmesser in einer radialen Ebene durch die Mitte der Rollenlänge bei einer symmetrischen Rolle

ANMERKUNG 1 Für eine Kegelrolle entspricht dieser Durchmesser dem Mittelwert der Durchmesser an den theoretischen scharfen Kanten am großen und kleinen Durchmesserende der Rolle.

ANMERKUNG 2 Für eine asymmetrische konvexe Rolle entspricht dieser Durchmesser näherungsweise dem Durchmesser am Berührungspunkt zwischen der Rolle und der bordfreien Laufbahn bei der Belastung Null.

3.12

effektive Rollenlänge

<anwendbar für die Tragzahlberechnung> theoretische maximale Länge der Berührungslinie zwischen einer Rolle und der Laufbahn, in der die Berührungslinie am kürzesten ist

ANMERKUNG Dies ist üblicherweise entweder der Abstand zwischen den theoretisch scharfen Kanten der Rolle abzüglich der Kantenabstände oder die Laufbahnbreite abzüglich der Schleiffreistiche; es gilt der jeweils kleinere Wert.

3.13

Nenn-Berührungswinkel

Winkel zwischen einer zur Lagerachse senkrechten Ebene (einer radialen Ebene) und der Nenn-Wirkungslinie der resultierenden Kräfte, die vom Lagerring oder von der Lagerscheibe auf den Wälzkörper übertragen werden

ANMERKUNG Bei Lagern mit asymmetrischen Rollen wird der Nenn-Berührungswinkel durch die Berührung mit der bordfreien Laufbahn bestimmt.

3.14

Teilkreisdurchmesser eines Kugelsatzes

Durchmesser des Kreises, der die Kugelmittelpunkte einer Kugelreihe in einem Lager enthält

3.15

Teilkreisdurchmesser eines Rollensatzes

Durchmesser des Kreises, der die Rollenachsen in der Mitte der Rollen einer Rollenreihe in einem Lager schneidet

3.16

übliche Betriebsbedingungen

Bedingungen, die erwartungsgemäß bei einem Lager vorherrschen, das sachgemäß eingebaut, vor Fremdkörpern geschützt, angemessen geschmiert und normal belastet ist, keinen extremen Belastungen und Temperaturen ausgesetzt ist und nicht mit außergewöhnlich niedriger oder hoher Umlaufgeschwindigkeit betrieben wird

3.17

Viskositätsverhältnis

tatsächliche kinematische Viskosität des Öls bei Betriebstemperatur dividiert durch die kinematische Bezugsviskosität für eine angemessene Schmierung^{N1)}

3.18

Schmierfilmparameter

Verhältnis zwischen der Schmierfilmhöhe und der effektiven Summenrauheit, das zur Bestimmung des Einflusses der Schmierung auf die Lagerlebensdauer verwendet wird

N1) Nationale Fußnote: Die kinematische Bezugsviskosität ist eine Rechengröße zur Beurteilung des Schmierzustandes.

3.19**Druck-Viskositätsbeiwert**

Parameter, der den Einfluss des Öldrucks auf die Viskosität des Schmieröls an der Kontaktfläche des Wälzkörpers beschreibt

3.20**Viskositätsindex**

Index, der den Wirkungsgrad der Temperatur auf die Viskosität von Schmierölen beschreibt

4 Symbole

Für die Anwendung dieses Dokuments gelten die Symbole nach ISO 15241 und die folgenden Symbole.

a_{ISO}	Lebensdauerbeiwert, auf der Grundlage einer Systembetrachtung der Lebensdauerberechnung
a_1	Lebensdauerbeiwert für die Zuverlässigkeit
b_m	Tragzahlbeiwert für Lager, die aus heute allgemein verwendetem, hochwertigem, gehärtetem Wälzlagerstahl nach bewährten Herstellverfahren gefertigt sind; sein Wert ist von der Lagerart und -ausführung abhängig
C_a	dynamische axiale Tragzahl, in Newton
C_r	dynamische radiale Tragzahl, in Newton
C_u	Ermüdungsgrenzbelastung, in Newton
C_{0a}	statische axiale Tragzahl ³⁾ , in Newton
C_{0r}	statische radiale Tragzahl ³⁾ , in Newton
D	Außendurchmesser des Lagers, in Millimeter
D_{pw}	Teilkreisdurchmesser des Kugel- oder Rollensatzes, in Millimeter
D_w	Nenndurchmesser der Kugel, in Millimeter
D_{we}	in die Tragzahlberechnung einzusetzender Rollendurchmesser, in Millimeter
d	Innendurchmesser des Lagers, in Millimeter
e	Grenzwert für F_a/F_r für die Anwendbarkeit der verschiedenen Werte der X - und Y -Faktoren (Weibull-Exponent)
e_C	Verunreinigungsbeiwert
F_a	axiale Lagerlast (axiale Komponente der tatsächlichen Lagerbelastung), in Newton
F_r	radiale Lagerlast (radiale Komponente der tatsächlichen Lagerbelastung), in Newton
f_c	Faktor, der von der Geometrie der Lagerbauteile, der Herstellgenauigkeit der einzelnen Bauteile und dem Werkstoff abhängig ist

3) Definition, Berechnungsverfahren und Werte für C_{0a} , C_{0r} und f_0 siehe ISO 76.

f_0	Faktor für die Berechnung der statischen Tragzahl ³⁾
i	Anzahl der Reihen der Wälzkörper
L_{nm}	erweiterte Lebensdauer, in 10^6 Umdrehungen
L_{we}	in die Tragzahlberechnung einzusetzende effektive Rollenlänge, in Millimeter
L_{10}	nominale Lebensdauer, in 10^6 Umdrehungen
n	Drehzahl, in Umdrehungen je Minute
n	Index für Ausfallwahrscheinlichkeit, in Prozent
P	dynamische äquivalente Belastung, in Newton
P_a	dynamische äquivalente axiale Belastung, in Newton
P_r	dynamische äquivalente radiale Belastung, in Newton
S	Zuverlässigkeit (Überlebenswahrscheinlichkeit), in Prozent
X	dynamischer Radiallastfaktor
Y	dynamischer Axiallastfaktor
Z	Anzahl der Wälzkörper in einem einreihigen Lager; Anzahl der Wälzkörper je Reihe bei einem mehrreihigen Lager mit der gleichen Anzahl von Wälzkörpern in jeder Reihe
α	Nenn-Berührungswinkel eines Lagers, in Grad
κ	Viskositätsverhältnis, ν/ν_1
A	Schmierfilmparameter
ν	tatsächliche kinematische Viskosität des Schmierstoffs bei Betriebstemperatur, in Quadratmillimeter je Sekunde
ν_1	erforderliche kinematische Referenzviskosität für angemessene Schmierung, in Quadratmillimeter je Sekunde
σ	(tatsächliche) Spannung unter Ermüdungsbedingungen, in Newton je Quadratmillimeter
σ_u	Ermüdungsgrenze des Laufbahnwerkstoffes, in Newton je Quadratmillimeter

3) Definition, Berechnungsverfahren und Werte für C_{0a} , C_{0r} und f_0 siehe ISO 76.

5 Radialkugellager

5.1 Dynamische radiale Tragzahl

5.1.1 Dynamische radiale Tragzahl für einzelne Lager

Die dynamische radiale Tragzahl für Radialkugellager ergibt sich durch die Gleichungen

$$C_r = b_m \times f_c \times (i \cos \alpha)^{0,7} \times Z^{2/3} \times D_w^{1,8} \quad (1)$$

für $D_w \leq 25,4 \text{ mm}$

$$C_r = 3,647 \times b_m \times f_c \times (i \cos \alpha)^{0,7} \times Z^{2/3} \times D_w^{1,4} \quad (2)$$

für $D_w > 25,4 \text{ mm}$

Werte für den Tragzahlbeiwert b_m werden in Tabelle 1 angegeben. Werte für den Faktor f_c werden in Tabelle 2 angegeben. Sie gelten für Lager, deren im Lagerquerschnitt gemessener Laufrillenradius nicht größer ist als $0,52 D_w$ für die Innenringe von Radialkugellagern und Schrägkugellagern und nicht größer ist als $0,53 D_w$ für die Außenringe von Radialkugellagern und Schrägkugellagern sowie die Innenringe von Pendelkugellagern.

Die Tragfähigkeit eines Lagers erhöht sich nicht notwendigerweise durch die Einführung engerer Laufrillendicken, verringert sich aber in jedem Falle, wenn größere Radien vorgesehen werden als im vorhergehenden Absatz angegeben. Trifft Letzteres zu, dann ist ein entsprechend reduzierter Wert für f_c einzusetzen. Die Berechnung dieses reduzierten Wertes für f_c kann nach der Gleichung (3–15) in ISO/TR 8646:1985 vorgenommen werden.

Tabelle 1 — Werte von b_m für Radialkugellager

Lagerart	b_m
Radial- und Schrägkugellager (ausgenommen Lager mit Füllnut), Spannlager und Pendelkugellager	1,3
Lager mit Füllnut	1,1

5.1.2 Dynamische radiale Tragzahl für Lagerkombinationen

5.1.2.1 Zwei einreihige Radialkugellager, die als Einheit wirken

Bei der Berechnung der dynamischen radialen Tragzahl für zwei gleichartige, einreihige Radialkugellager, die nebeneinander auf derselben Welle so angeordnet sind, dass sie als Einheit wirken (Doppel-Anordnung), wird das Paar als ein zweireihiges Radialkugellager betrachtet.

5.1.2.2 X- und O-Anordnung von einreihigen Schrägkugellagern

Bei der Berechnung der dynamischen radialen Tragzahl für zwei gleichartige, einreihige Schrägkugellager, die nebeneinander auf derselben Welle so angeordnet sind, dass sie als Einheit in X- oder O-Anordnung wirken (Doppel-Anordnung), wird das Paar als ein zweireihiges Schrägkugellager betrachtet.

Tabelle 2 — Werte von Faktor f_c für Radialkugellager

$\frac{D_w \times \cos \alpha^a}{D_{pw}}$	Faktor f_c			
	Einreihige Radial-Rillenkugellager und ein- und zweireihige Schrägkugellager	Zweireihige Radial-Rillenkugellager	Ein- und zweireihige Pendelkugellager	Einreihige Radial-Rillenkugellager, nicht selbsthaftend (Schulterkugellager)
0,01	29,1	27,5	9,9	9,4
0,02	35,8	33,9	12,4	11,7
0,03	40,3	38,2	14,3	13,4
0,04	43,8	41,5	15,9	14,9
0,05	46,7	44,2	17,3	16,2
0,06	49,1	46,5	18,6	17,4
0,07	51,1	48,4	19,9	18,5
0,08	52,8	50	21,1	19,5
0,09	54,3	51,4	22,3	20,6
0,1	55,5	52,6	23,4	21,5
0,11	56,6	53,6	24,5	22,5
0,12	57,5	54,5	25,6	23,4
0,13	58,2	55,2	26,6	24,4
0,14	58,8	55,7	27,7	25,3
0,15	59,3	56,1	28,7	26,2
0,16	59,6	56,5	29,7	27,1
0,17	59,8	56,7	30,7	27,9
0,18	59,9	56,8	31,7	28,8
0,19	60	56,8	32,6	29,7
0,2	59,9	56,8	33,5	30,5
0,21	59,8	56,6	34,4	31,3
0,22	59,6	56,5	35,2	32,1
0,23	59,3	56,2	36,1	32,9
0,24	59	55,9	36,8	33,7
0,25	58,6	55,5	37,5	34,5
0,26	58,2	55,1	38,2	35,2
0,27	57,7	54,6	38,8	35,9
0,28	57,1	54,1	39,4	36,6
0,29	56,6	53,6	39,9	37,2
0,3	56	53	40,3	37,8
0,31	55,3	52,4	40,6	38,4
0,32	54,6	51,8	40,9	38,9
0,33	53,9	51,1	41,1	39,4
0,34	53,2	50,4	41,2	39,8
0,35	52,4	49,7	41,3	40,1
0,36	51,7	48,9	41,3	40,4
0,37	50,9	48,2	41,2	40,7
0,38	50	47,4	41	40,8
0,39	49,2	46,6	40,7	40,9
0,4	48,4	45,8	40,4	40,9

^a Werte von f_c für Zwischenwerte von $\frac{D_w \times \cos \alpha}{D_{pw}}$ werden durch lineare Interpolation errechnet.

Tabelle 3 — Werte von X und Y für Radialkugellager

Lagerart	„Relative Axiallast“ ^{a, b}		Einreihige Lager				Zweireihige Lager				e	
			$\frac{F_a}{F_r} \leq e$		$\frac{F_a}{F_r} > e$		$\frac{F_a}{F_r} \leq e$		$\frac{F_a}{F_r} > e$			
			X	Y	X	Y	X	Y	X	Y		
Radial-Rillenkugellager	$\frac{f_0 \times F_a^c}{C_{0r}}$	$\frac{F_a}{i \times Z \times D_w^2}$	1	0	0,56	2,3 1,99 1,71 1,55 1,45 1,31 1,15 1,04 1	1	0	0,56	2,3 1,99 1,71 1,55 1,45 1,31 1,15 1,04 1	0,19 0,22 0,26 0,28 0,3 0,34 0,38 0,42 0,44	
	0,172	0,172										
	0,345	0,345										
	0,689	0,689										
	1,03	1,03										
	1,38	1,38										
	2,07	2,07										
	3,45	3,45										
	5,17	5,17										
	6,89	6,89										
Schräggugellager	$\frac{f_0 \times i \times F_a^c}{C_{0r}}$	$\frac{F_a}{Z \times D_w^2}$	1	0	Für diese Lagerart sind die X-, Y- und e-Werte einzusetzen, die für einreihige Radial-Rillenkugellager gelten.		1	2,78 2,4 2,07 1,87 1,75 1,58 1,39 1,26 1,21	0,78	3,74 3,23 2,78 2,52 2,36 2,13 1,87 1,69 1,63	0,23 0,26 0,3 0,34 0,36 0,4 0,45 0,5 0,52	
	$\alpha = 5^\circ$	0,173										0,172
		0,346										0,345
		0,692										0,689
		1,04										1,03
		1,38										1,38
		2,08										2,07
		3,46										3,45
		5,19										5,17
		6,92										6,89
	$\alpha = 10^\circ$	0,175	0,172									
		0,35	0,345									
		0,7	0,689									
		1,05	1,03									
		1,4	1,38									
		2,1	2,07									
		3,5	3,45									
		5,25	5,17									
		7	6,89									
	$\alpha = 15^\circ$	0,178	0,172									
		0,357	0,345									
		0,714	0,689									
		1,07	1,03									
		1,43	1,38									
		2,14	2,07									
		3,57	3,45									
		5,35	5,17									
		7,14	6,89									
	$\alpha = 20^\circ$ $\alpha = 25^\circ$ $\alpha = 30^\circ$ $\alpha = 35^\circ$ $\alpha = 40^\circ$ $\alpha = 45^\circ$	—	—	1	0	0,43 0,41 0,39 0,37 0,35 0,33	1 0,87 0,76 0,66 0,57 0,5	1	1,09 0,92 0,78 0,66 0,55 0,47	0,7 0,67 0,63 0,6 0,57 0,54	1,63 1,41 1,24 1,07 0,93 0,81	0,57 0,68 0,8 0,95 1,14 1,34

Tabelle 3 (fortgesetzt)

Lagerart	„Relative Axiallast“ ^{a, b}	Einreihige Lager				Zweireihige Lager				e
		$\frac{F_a}{F_r} \leq e$		$\frac{F_a}{F_r} > e$		$\frac{F_a}{F_r} \leq e$		$\frac{F_a}{F_r} > e$		
		X	Y	X	Y	X	Y	X	Y	
Pendelkugellager		1	0	0,4	$0,4 \cot \alpha$	1	$0,42 \cot \alpha$	0,65	$0,65 \cot \alpha$	$1,5 \tan \alpha$
Einreihige Radial-Rillenkugellager, nicht selbsthaftend (Schulterkugellager)		1	0	0,5	2,5	—	—	—	—	0,2

^a Der zulässige Höchstwert hängt von der Lagerkonstruktion ab (Lagerluft und Tiefe der Laufbahnrille). Es gilt die 1. oder 2. Spalte je nach den vorhandenen Angaben.

^b X -, Y - und e -Werte für Zwischenwerte der „relativen Axiallasten“ und/oder der Berührungswinkel werden durch lineare Interpolation errechnet.

^c Werte von f_0 , siehe ISO 76.

5.1.2.3 Tandem-Anordnung

Die dynamische radiale Tragzahl für zwei oder mehr gleichartige, einreihige Radialkugellager oder zwei oder mehr gleichartige, einreihige Schrägkugellager, die nebeneinander auf derselben Welle so angeordnet sind, dass sie als Einheit in Tandem-Anordnung wirken (Doppel- oder Mehrfachlager), ergibt sich aus der Anzahl der Lager hoch 0,7 multipliziert mit der Tragzahl eines einreihigen Lagers. Die Lager müssen so hergestellt und montiert sein, dass eine gleichmäßige Lastverteilung sichergestellt ist.

5.1.2.4 Einzeln ersetzbare Lager

Wenn aus irgendwelchen technischen Gründen die Lageranordnung als aus einer Anzahl speziell hergestellter, einreihiger Lager bestehend angesehen wird, die unabhängig voneinander ersetzt werden können, gilt 5.1.2.3 nicht.

5.2 Dynamische äquivalente radiale Belastung

5.2.1 Dynamische äquivalente radiale Belastung für einzelne Lager

Die dynamische äquivalente Radiallast für Radial- und Schrägkugellager unter konstanter radialer und axialer Belastung ergibt sich durch die Gleichung

$$P_r = X \times F_r + Y \times F_a \quad (3)$$

Die Werte für die Faktoren X und Y sind in Tabelle 3 angegeben. Diese Faktoren gelten für Lager mit im Lagerquerschnitt gemessenen Laufrillenradien nach 5.1.1. Für andere Laufrillenradien kann die Berechnung von X und Y nach ISO/TR 8646:1985, 4.2 durchgeführt werden.

5.2.2 Dynamische äquivalente radiale Belastung für Lagerkombinationen

5.2.2.1 X- und O-Anordnung von einreihigen Schrägkugellagern

Bei der Berechnung der dynamischen äquivalenten Radiallast für zwei gleichartige, einreihige Schrägkugellager, die nebeneinander auf derselben Welle so angeordnet sind, dass sie als Einheit in X- oder O-Anordnung wirken (Doppel-Anordnung), wird das Paar als ein zweireihiges Schrägkugellager betrachtet.

ANMERKUNG Wenn zwei gleichartige, einreihige Radialkugellager in X- oder O-Anordnung wirken, sollte der Anwender zur Berechnung der äquivalenten Radiallast den Hersteller befragen.

5.2.2.2 Tandem-Anordnung

Bei der Berechnung der äquivalenten Radiallast für zwei oder mehr gleichartige, einreihige Kugellager, die nebeneinander auf derselben Welle so angeordnet sind, dass sie als Einheit in Tandem-Anordnung wirken (Doppel- oder Mehrfachlager), sind die X - und Y -Werte des einreihigen Lagers zu verwenden.

Die „relative Axiallast“ (siehe Tabelle 3) wird errechnet, indem $i = 1$ gesetzt und nur die F_a - und C_{0r} -Werte, bezogen auf ein einzelnes Lager, eingesetzt werden (obgleich die F_r - und F_a -Werte der Gesamtbelastung bei der Berechnung der äquivalenten Belastung für die ganze Lageranordnung einzusetzen sind).

5.3 Nominelle Lebensdauer

5.3.1 Lebensdauergleichung

Die nominelle Lebensdauer für ein Radialkugellager ergibt sich durch die Lebensdauergleichung

$$L_{10} = \left(\frac{C_r}{P_r} \right)^3 \quad (4)$$

Die Werte für C_r und P_r werden nach 5.1 und 5.2 berechnet.

Die Lebensdauergleichung wird auch für die Bestimmung der Lebensdauer von zwei oder mehr einreihigen Lagern verwendet, die als Einheit wirken, wie in 5.1.2 beschrieben. In diesem Falle wird die Tragzahl C_r für die ganze Lageranordnung und die äquivalente Belastung P_r für die Gesamtbelastung der Lageranordnung mit den in 5.2.2 angegebenen X - und Y -Werten berechnet.

5.3.2 Belastungsbeschränkung für die Lebensdauergleichung

Die Lebensdauergleichung ergibt befriedigende Ergebnisse für einen großen Belastungsbereich. Außergewöhnlich hohe Lasten können jedoch schädliche plastische Verformungen an den Wälzkontakten zwischen Kugel und Laufbahn verursachen. Der Anwender sollte sich daher in Fällen, in denen $P_r > C_{0r}$ bzw. $P_r > 0,5 \times C_r$, je nachdem, welcher Wert kleiner ist, an den Lagerhersteller wenden, um sich die Anwendbarkeit der Lebensdauergleichung bestätigen zu lassen.

Sehr geringe Belastungen können zu verschiedenen Versagensarten führen. Diese Versagensarten werden in dieser Internationalen Norm nicht behandelt.

6 Axialkugellager

6.1 Dynamische axiale Tragzahl

6.1.1 Dynamische axiale Tragzahl für einreihige Lager

Die dynamische axiale Tragzahl für einreihige, einseitig oder zweiseitig wirkende Axialkugellager ergibt sich durch

$$C_a = b_m \times f_c \times Z^{2/3} \times D_w^{1,8} \quad (5)$$

für $D_w \leq 25,4$ mm und $\alpha = 90^\circ$

$$C_a = b_m \times f_c \times (\cos \alpha)^{0,7} \times \tan \alpha \times Z^{2/3} \times D_w^{1,8} \quad (6)$$

für $D_w \leq 25,4$ mm und $\alpha \neq 90^\circ$

$$C_a = 3,647 \times b_m \times f_c \times Z^{2/3} \times D_w^{1,4} \quad (7)$$

für $D_w > 25,4$ mm und $\alpha = 90^\circ$

$$C_a = 3,647 \times b_m \times f_c \times (\cos \alpha)^{0,7} \times \tan \alpha \times Z^{2/3} \times D_w^{1,4} \quad (8)$$

für $D_w > 25,4$ mm und $\alpha \neq 90^\circ$.

Dabei ist Z die Anzahl der Kugeln, die Lasten in derselben Richtung übertragen, und $b_m = 1,3$.

Die Werte für f_c sind in Tabelle 4 angegeben und gelten für Lager, deren im Lagerquerschnitt gemessener Laufrillenradius nicht größer als $0,54 D_w$ ist.

Die Tragfähigkeit eines Lagers erhöht sich nicht notwendigerweise durch die Einführung engerer Laufrillendicken, verringert sich aber, wenn größere Rillendicken als vorstehend angegeben vorgesehen werden. Trifft Letzteres zu, dann ist ein entsprechend reduzierter Wert von f_c einzusetzen. Die Berechnung dieses reduzierten Wertes von f_c kann für Lager mit $\alpha \neq 90^\circ$ nach der Gleichung (3–20) und für Lager mit $\alpha = 90^\circ$ nach der Gleichung (3–25) in ISO/TR 8646:1985 vorgenommen werden.

Tabelle 4 — Werte von f_c für Axialkugellager

$\frac{D_w}{D_{pw}}$ ^a	f_c $\alpha = 90^\circ$	$\frac{D_w \times \cos \alpha}{D_{pw}}$ ^a	f_c		
			$\alpha = 45^\circ$ ^b	$\alpha = 60^\circ$	$\alpha = 75^\circ$
0,01	36,7	0,01	42,1	39,2	37,3
0,02	45,2	0,02	51,7	48,1	45,9
0,03	51,1	0,03	58,2	54,2	51,7
0,04	55,7	0,04	63,3	58,9	56,1
0,05	59,5	0,05	67,3	62,6	59,7
0,06	62,9	0,06	70,7	65,8	62,7
0,07	65,8	0,07	73,5	68,4	65,2
0,08	68,5	0,08	75,9	70,7	67,3
0,09	71	0,09	78	72,6	69,2
0,1	73,3	0,1	79,7	74,2	70,7
0,11	75,4	0,11	81,1	75,5	
0,12	77,4	0,12	82,3	76,6	
0,13	79,3	0,13	83,3	77,5	
0,14	81,1	0,14	84,1	78,3	
0,15	82,7	0,15	84,7	78,8	
0,16	84,4	0,16	85,1	79,2	
0,17	85,9	0,17	85,4	79,5	
0,18	87,4	0,18	85,5	79,6	
0,19	88,8	0,19	85,5	79,6	
0,2	90,2	0,2	85,4	79,5	
0,21	91,5	0,21	85,2		
0,22	92,8	0,22	84,9		
0,23	94,1	0,23	84,5		
0,24	95,3	0,24	84		
0,25	96,4	0,25	83,4		
0,26	97,6	0,26	82,8		
0,27	98,7	0,27	82		
0,28	99,8	0,28	81,3		
0,29	100,8	0,29	80,4		
0,3	101,9	0,3	79,6		
0,31	102,9				
0,32	103,9				
0,33	104,8				
0,34	105,8				
0,35	106,7				

a Werte von f_c für $\frac{D_w}{D_{pw}}$ oder $\frac{D_w \times \cos \alpha}{D_{pw}}$ und/oder andere als in der Tabelle angegebene Berührungswinkel werden durch lineare Interpolation errechnet.

b Für Axiallager gilt $\alpha > 45^\circ$. Werte für $\alpha = 45^\circ$ werden angegeben, um die Interpolation von Werten für α zwischen 45° und 60° zu ermöglichen.