

DIN 65946



ICS 49.030.01

Ersatz für
DIN 65946:2017-07

**Luft- und Raumfahrt –
Bestimmung der Reibungszahlen von Schrauben und Muttern unter
festen Bedingungen;
Text Deutsch und Englisch**

Aerospace series –
Determination of coefficients of friction of bolts and nuts under specific conditions;
Text in German and English

Série aérospatiale –
Détermination des coefficients de frottement de vis et écrous sous conditions spécifiées;
Texte en allemand et anglais

Gesamtumfang 51 Seiten

DIN-Normenausschuss Luft- und Raumfahrt (NL)

Inhalt

	Seite
Vorwort	4
1 Anwendungsbereich	5
2 Normative Verweisungen	5
3 Begriffe	6
4 Symbole und ihre Bezeichnungen	6
5 Grundlagen des Verfahrens	7
5.1 Allgemeines	7
5.2 Ermittlung der Reibungszahlen	10
6 Messeinrichtung	11
6.1 Prüfstand	11
6.1.1 Prüfstand mit Mehrfachkalibrierung	11
6.1.2 Prüfstand mit Normalbereichskalibrierung	11
6.2 Prinzipieller Prüfaufbau	11
7 Referenzteile	13
8 Durchführung	14
8.1 Prüfung unter Normbedingungen	14
8.2 Prüfung unter besonderen Bedingungen	14
8.3 Einbaubedingungen	14
9 Auswertung	15
9.1 Ermittlung der Reibungszahlen für Schrauben/Mutternverbindungen ohne Klemmteil	15
9.2 Ermittlung der Reibungszahlen für Muttern mit Klemmteil	17
9.2.1 Allgemeines	17
9.2.2 Linearer Kurvenverlauf	17
9.2.3 Nicht linearer Kurvenverlauf	18
9.3 Ermittlung der Reibungszahl in der Kopf- oder Mutterauflage μ_b	20
10 Prüfbericht	21
10.1 Allgemeines	21
10.2 Beschreibung der zu prüfenden Verbindungselemente	21
10.2.1 (Schaft-)Schrauben	21
10.2.2 Muttern	21
10.2.3 Unterlegscheiben	22
10.3 Prüfmaschine	22
10.4 Prüfaufbau	22
10.5 Umgebungsbedingungen	23
10.6 Besondere Bedingungen	23
10.7 Prüfergebnisse	23
10.7.1 Gemessene Werte	23
10.7.2 Ermittelte Werte (je nachdem, welcher gefordert wird)	23
10.7.3 Andere Ergebnisse	23
Anhang A (informativ) Beispiel für ein Reibungsdiagramm	24
Literaturhinweise	25

Bilder

Bild 1 — Durchmesser des Durchgangslochs der Scheibe oder der Auflageplatte	8
Bild 2 — Sechskantschraube mit Telleransatz	9
Bild 3 — Kugelbundschraube	10
Bild 4 — Prüfaufbau und Einbau der Referenzteile	12
Bild 5 — Prüfaufbau mit Kopfscheibe	13

Bild 6 — Gewindemoment-Vorspannkraft-Diagramm mit linearer Messkurve und Mutternelement ohne Klemmeigenschaft (schematisch)	16
Bild 7 — Gewindemoment-Vorspannkraft-Diagramm mit degressiv steigender Messkurve (schematisch)	17
Bild 8 — Gewindemoment-Vorspannkraft-Diagramm mit linearer Messkurve und Mutter mit Klemmteil (schematisch)	18
Bild 9 — Gewindemoment-Vorspannkraft-Diagramm mit degressiv steigender Messkurve für Muttern mit Klemmteil (schematisch)	19
Bild 10 — Gewindemoment-Vorspannkraft-Diagramm mit progressiv ansteigender Messkurve für Muttern mit Klemmteil (schematisch)	20
Bild A.1 — Reibungsdiagramm (schematisch)	24

Vorwort

Dieses Dokument wurde vom Arbeitsausschuss NA 131-03-01 AA „Verbindungselemente“ im DIN-Normenausschuss Luft- und Raumfahrt (NL) erarbeitet.

Die Festlegungen dieses Dokuments basieren auf der 2005-10 zurückgezogenen Norm DIN 946:1991-10.

Es wird auf die Möglichkeit hingewiesen, dass einige Elemente dieses Dokuments Patentrechte berühren können. DIN ist nicht dafür verantwortlich, einige oder alle diesbezüglichen Patentrechte zu identifizieren.

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 65946:2017-07 wurden folgende Änderungen vorgenommen:

- a) normative Verweisungen aktualisiert;
- b) Abschnitt 3 „Begriffe“ überarbeitet;
- c) Abschnitt 4 „Symbole und ihre Bezeichnungen“ überarbeitet;
- d) Abschnitt 5 „Grundlagen des Verfahrens“ überarbeitet;
- e) Abschnitt 6 „Messeinrichtung“ erweitert;
- f) Abschnitt 7 „Durchführung“ erweitert;
- g) umfangreiche Erläuterungen zur Auswertung in Abschnitt 8 aufgenommen;
- h) Anhang A geändert;
- i) Anhang B entfernt;
- j) redaktionell überarbeitet.

Frühere Ausgaben

DIN 65946: 2011-09, 2017-07

1 Anwendungsbereich

Dieses Dokument legt eine Prüfung zur Ermittlung der Reibungszahlen beim Anziehen von Schrauben und Muttern unter festgelegten Bedingungen fest. Sie gilt nur für Prüfungen, die vergleichenden Charakter haben, z. B. zur Ermittlung von Reibungszahlen bei verschiedenen Oberflächenausführungen oder zur Bewertung unterschiedlicher Schmierstoffe.

Anwendungsbezogene Anziehprüfungen, die Reibungszahlen in Schraubenverbindungen bestimmter Baugruppen betreffen, werden wegen der speziellen Anforderungen im Rahmen dieser Norm nicht im Detail beschrieben.

Dieses Dokument basiert auf der festgelegten Annahme, dass rechnerisch ein linearer Zusammenhang zwischen Drehmoment, Vorspannkraft und Reibungszahl über dem gesamten Messbereich besteht.

Mit diesem Dokument ist der Einfluss des Klemmmomentes der Mutter auf die Verbindung erkennbar, besonders bei niedrigen Anzugsmomenten, wie sie z. B. auch bei Scherverbindungen mit Hi-Loks und Aluminiumschließringen vorkommen. Bei hochfesten Verbindungen und hohen Vorspannkraften ist der Einfluss des Klemmmomentes auf die Verbindung jedoch nur noch sehr gering ausgeprägt bzw. sogar vernachlässigbar klein.

Wenn nicht anders vereinbart, sind die Prüfungen bei Raumtemperatur auszuführen. Prüfungen unter festgelegten Bedingungen sind jedoch in einem Temperaturbereich von 18 °C bis 27 °C durchzuführen.

Dieses Dokument gilt für Anwendungen in der Luft- und Raumfahrt.

Für die Anwendung in der allgemeinen Industrie gilt DIN EN ISO 16047.

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 EN 20273, *Mechanische Verbindungselemente — Durchgangslöcher für Schrauben*

DIN EN ISO 4759-3, *Toleranzen für Verbindungselemente — Teil 3: Scheiben für Schrauben und Muttern — Produktklassen A, C und F*

DIN EN ISO 16047, *Verbindungselemente — Drehmoment/Vorspannkraft-Versuch*

DIN ISO 5855-1, *Luft- und Raumfahrt — MJ-Gewinde — Teil 1: Allgemeine Anforderungen*

ISO 7913, *Aerospace — Bolts and screws, metric — Tolerances of form and position*

ISO 3161, *Aerospace — UNJ threads — General requirements and limit dimensions*

ISO 7093-1, *Plain washers — Large series — Part 1: Product grade A*

LN 9163-1, *Luft- und Raumfahrt — Metrisches ISO-Gewinde — Grundabmaße und Toleranzen*

3 Begriffe

Für die Anwendung dieses Dokuments gelten die folgenden Begriffe.

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

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

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

3.1

(Montage-)Vorspannkraft

F

im Schraubenschaft wirkende axiale Zugkraft bzw. auf die verspannten Teile wirkende Druckkraft während des Anziehens

3.2

Anziehdrehmoment

T

Drehmoment, das auf eine Mutter oder eine Schraube während des Anziehens wirkt

Anmerkung 1 zum Begriff: Es ergibt sich infolge der Reibung zwischen der Auflagefläche von Schrauben- und Mutterngewinde (Gewindemoment) sowie der Reibung aller sonstigen reibenden Flächen.

3.3

Gewindemoment

T_{th}

Drehmoment, das über die gepaarten Gewinde auf den Schraubenschaft wirkt

3.4

Reibungsmoment in der Auflagefläche

T_b

Drehmoment, das beim Verschrauben über die gleitende Auflagefläche auf die verspannten Teile wirkt

3.5

Klemmmoment durch Verformung des Mutterngewindes

T_{cl}

auf Mutter oder Schraube aufzubringendes Moment, um die Drehbewegung der beiden Teile zueinander aufrechtzuerhalten, wobei die Schraubverbindung nicht unter axialer Vorspannkraft steht und der Klemmbereich der Mutter die Schraube voll erfasst

Anmerkung 1 zum Begriff: Aus produkthaftungsrechtlichen Gründen darf der bisher verwendete Begriff „Sicherungsmoment“ nicht mehr verwendet werden und wird durch den nunmehr eingeführten Begriff Klemmmoment ersetzt. Der Grund dafür ist, dass es sich bei dem Klemmteil um eine Verliersicherung handelt und nicht um eine Sicherung in dem Sinne, dass die Vorspannkraft erhalten bleibt.

4 Symbole und ihre Bezeichnungen

In Anlehnung an DIN EN ISO 16047.

d Gewinde-Nenndurchmesser

d_2 Flankendurchmesser des Schraubengewindes

d_b Kugelbunddurchmesser

d_h	Durchmesser des Durchgangsloches der Scheibe der Auflageplatte (Nennwert) oder der Prüfeinrichtung
d_w	Außendurchmesser der Kopf- oder Mutterauflage
D_{Km}	Auflagereibdurchmesser; mittlerer errechneter Durchmesser für das Reibungsmoment in der Schraubenkopf- oder Mutterauflage
$D_{Km, eff}$	Wirksamer gemessener Durchmesser für das Reibungsmoment in der Schraubenkopf- oder Mutterauflage
F	(Montage-)Vorspannkraft
P	Steigung des Gewindes
T	Anziehdrehmoment
T_b	Reibungsmoment in der Auflagefläche
T_{cl}	Klemmmoment
T_{th}	Gewindemoment
γ	Senkkopfwinkel
μ	Reibungszahl
μ_b	Reibungszahl in der Mutter- oder Kopfauflage
μ_{th}	Reibungszahl im Gewinde
μ_{tot}	Gesamtreibungszahl
ν	Ausnutzungsgrad der Streckgrenzspannung (Grenze der Vollplastifizierung des gefährdeten Querschnitts) beim Anziehen

5 Grundlagen des Verfahrens

5.1 Allgemeines

Es bestehen zwei unterschiedliche Ziele für die Prüfung:

- Ermittlung der Anzugsverhalten einer Verbindung unter Normbedingungen, entsprechend Abschnitt 7 und Abschnitt 8.1;
- Ermittlung der Anzugsverhalten einer Verbindung unter besonderen Bedingungen, entsprechend Abschnitt 8.2.

In allen Fällen werden die Verbindungen bei Raumtemperatur durch Aufbringen eines Anziehdrehmoments stetig vorgespannt.

Das Anziehdrehmoment setzt sich aus den Anteilen der Gewindemomente und dem Reibungsmoment an der Auflagefläche zusammen, siehe Gleichung (1):

$$T = \Sigma T_{th} + T_b \quad (1)$$

In das Gewindemoment fließen die drei Anteile Hubarbeit, Reibarbeit sowie die Arbeit zur Überwindung der Klemmmomente ein. Die ersten beiden Anteile sind abhängig von der Vorspannkraft, das Klemmmoment ist davon jedoch unabhängig und wird als Konstante angenommen. Im elastischen Verformungsbereich besteht weiterhin bei konstanten Reibungszahlen und konstanten Geometrieparametern zwischen dem Anziehdrehmoment und der Vorspannkraft ein linearer Zusammenhang. Für Schraubenverbindungen mit metrischem ISO-Gewinde nach LN 9163-1, metrischem MJ-Gewinde nach DIN ISO 5855-1 und ISO Inch-Gewinde nach ISO 3161 ergibt sich nach Gleichung (2) somit für das gesamte Gewindemoment folgende mathematische Beziehung:

$$\Sigma T_{th} = F \times (0,159 \times P + 0,577 \times d_2 \times \mu_{th}) + T_{cl} \quad (2)$$

Das Reibungsmoment an der Auflagefläche T_b ist ebenfalls von der Vorspannkraft linear abhängig, dieses ergibt sich aus Gleichung (3) zu:

$$T_b = F \times \frac{D_{Km}}{2} \times \mu_b \quad (3)$$

Setzt man nunmehr die Anteile für die Gewindereibung und die Kopfreibung zusammen, ergibt sich die Gleichung (4) für das Anziehdrehmoment:

$$T = F \times \left(0,159 \times P + 0,577 \times d_2 \times \mu_{th} + \frac{D_{Km}}{2} \times \mu_b \right) + T_{cl} \quad (4)$$

In den folgenden Gleichungen (5), (6) und (7) ist d_h der Durchmesser des Durchgangslochs der Scheibe oder der Auflageplatte entsprechend Bild 1.

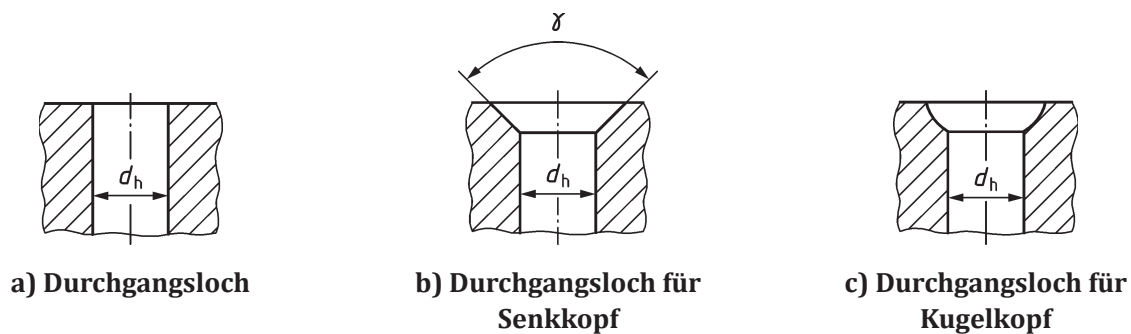


Bild 1 — Durchmesser des Durchgangslochs der Scheibe oder der Auflageplatte

Der mittlere Durchmesser für das Reibungsmoment in der Schraubenkopf- bzw. Mutterauflage berechnet sich für eine ebene Auflagefläche (siehe Bild 2) nach folgender Gleichung (5)¹:

$$D_{Km} = \frac{2}{3} \times \left(\frac{d_w^3 - d_h^3}{d_w^2 - d_h^2} \right) \quad (5)$$

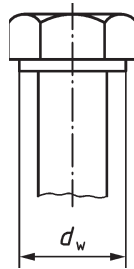


Bild 2 — Sechskantschraube mit Telleransatz

Die Gleichung (5) gilt bei ebener und senkrecht zur Schraubenachse liegender Auflagefläche unter Berücksichtigung der Form- und Lagetoleranzen nach ISO 7913.

In anderen Fällen, (z. B. bei außentragenden Flanschschrauben), ist D_{Km} zwischen Hersteller und Anwender zu vereinbaren.

Für Senkköpfe muss Gleichung (5) noch mit dem Faktor

$$\frac{1}{\cos\left(90 - \frac{\gamma}{2}\right)}$$

multipliziert werden. Dabei ist γ der Senkkopfwinkel. Für den mittleren Durchmesser von Senkköpfen ist Gleichung (6)¹ anzuwenden:

$$D_{Km} = \frac{2}{3 \times \cos\left(90 - \frac{\gamma}{2}\right)} \times \left(\frac{d_w^3 - d_h^3}{d_w^2 - d_h^2} \right) \quad (6)$$

Der mittlere Durchmesser für Kugelbundauflageflächen (siehe Bild 3) werden nach folgender Gleichung (7)¹ berechnet:

$$D_{Km} = \left(\frac{d_b^3}{d_w^2 - d_h^2} \right) \times \left(\arcsin\left(\frac{d_w}{d_b}\right) - \arcsin\left(\frac{d_h}{d_b}\right) + \frac{d_h}{d_b} \sqrt{1 - \frac{d_h^2}{d_b^2}} - \frac{d_w}{d_b} \sqrt{1 - \frac{d_w^2}{d_b^2}} \right) \quad (7)$$

Hierbei ist zu beachten, dass die Winkel im Bogenmaß anzusetzen sind.

1 QUELLE: Kellermann, R. und Klein, H. C. (1955): Untersuchungen über den Einfluss der Reibung auf Vorspannung und Anzugsmoment von Schraubenverbindungen. Konstr. Masch. Appar. Gerätebau 7: 54–68.

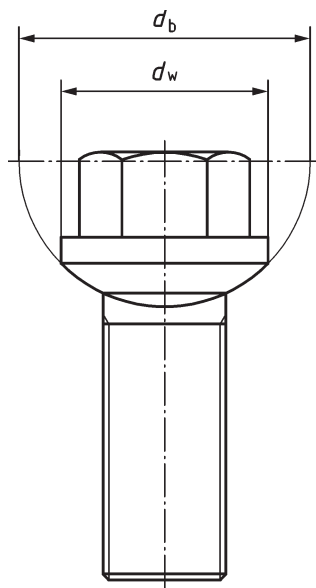


Bild 3 — Kugelbundschraube

Zur korrekten Ermittlung des wirksamen Radius $\frac{1}{2} D_{\text{Km,eff}}$ ist der nach der Messung sichtbare Auflagenabdruck heranzuziehen.

5.2 Ermittlung der Reibungszahlen

Um die allgemeinen Reibungsbedingungen ohne Bezug auf die Form und Abmessung der Verbindungselemente beschreiben zu können, ist es zweckmäßig, die unterschiedlichen Reibungszahlen zu ermitteln. Die Reibungszahl ist eine dimensionslose Zahl, die aus gemessenen physikalischen Eigenschaften berechnet wird und von der Art und der Geometrie sowie des verwendeten Schmierstoffs der in Kontakt stehenden Oberflächen abhängt.

Die Berechnung der reinen Gewindereibungszahlen erfolgt mit der nach Umformung von Gleichung (2) entstandenen Beziehungen für die Reibung

— im Gewinde nach Gleichung (8)

$$\mu_{\text{th}} = \frac{(T_{\text{th}} - T_{\text{cl}}) / F - 0,159 \times P}{0,577 \times d_2} \quad (8)$$

und

— in der Auflagefläche von Schraubenkopf oder Mutter (basierend auf Gleichung (3)) nach Gleichung (9)

$$\mu_{\text{b}} = \frac{2 \times T_{\text{b}}}{D_{\text{Km}} \times F} \quad (9)$$

Wenn die Prüfvorrichtung die getrennte Erfassung von T_{th} und T_{b} nicht zulässt, kann eine nur bedingt aussagekräftige Gesamtreibungszahl (basierend auf Gleichung (4))

$$\mu_{\text{tot}} = \frac{(T - T_{\text{cl}}) / F - 0,159 \times P}{0,577 \times d_2 + \frac{D_{\text{Km}}}{2}} \quad (10)$$

berechnet werden, die ausschließlich dem Vergleich des Gesamtreibungsverhaltens dient, nicht jedoch im Berechnungsgang für die Auslegung von Schraubenverbindungen zu verwenden ist. Dabei wird nämlich vor-

ausgesetzt, dass μ_{th} und μ_b gleich groß sind. Die Prüfergebnisse werden durch eine Vielzahl von Parametern beeinflusst. Deshalb werden für die Prüfdurchführung Mindestanforderungen festgelegt, um diese Einflüsse kontrollieren zu können.

6 Messeinrichtung

6.1 Prüfstand

6.1.1 Prüfstand mit Mehrfachkalibrierung

Der Prüfstand muss in der Lage sein, automatisch ein Drehmoment und eine Drehung entweder in die Mutter oder in den Schraubenkopf einzuleiten. Er muss mit Messsensoren ausgerüstet sein, sodass die Größen T , T_{th} , T_b , T_{cl} und F auf $\pm 2\%$ des Wertes ermittelt werden können, sofern nichts anderes vereinbart ist. Die Winkelmessung muss auf $\pm 2^\circ$ oder $\pm 2\%$ des gemessenen Wertes erfolgen, wobei der jeweils größere Wert gilt. Die Ergebnisse sind elektronisch aufzuzeichnen.

6.1.2 Prüfstand mit Normalbereichskalibrierung

Wie in Abschnitt 6.1.1; jedoch ist die Messgröße T_{cl} nicht auf einen Wert von $\pm 2\%$ eingeschränkt.

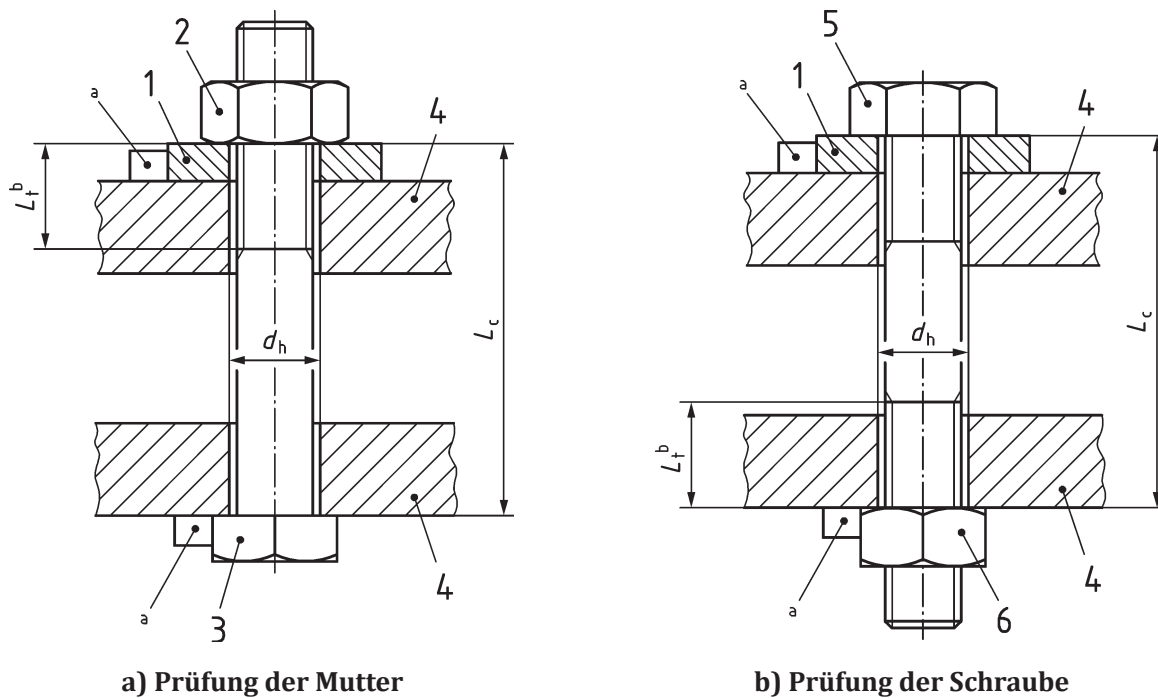
Bei Annahmeprüfungen sind die Prüfvorrichtung und Prüfbedingungen zwischen den beteiligten Stellen abzustimmen, weil die Prüfvorrichtung über ihre Nachgiebigkeit einen wesentlichen Einfluss auf das Prüfergebnis hat.

Im Schiedsfall dürfen nur Reibungszahlen verglichen werden, die mit Geräten der gleichen Bauart sowie mit gleichen Referenzteilen entsprechend den Angaben im Prüfbericht (Abschnitt 10) bestimmt wurden.

6.2 Prinzipieller Prüfaufbau

Der Prüfaufbau muss einer Kombination von Vorspannkraft und Reibungsdrehmoment in der Auflagefläche standhalten, ohne dass messbare bleibende Verformungen oder Verschiebungen auftreten. Bild 4 zeigt die grundlegenden Anforderungen an den Prüfaufbau.²

² Entnommen aus DIN EN ISO 16047.

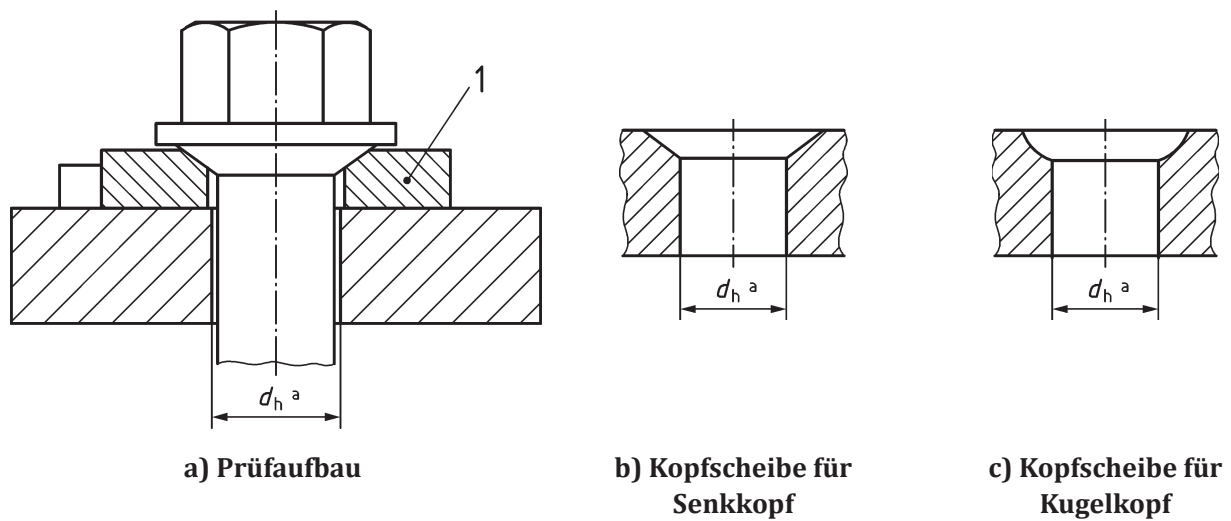


Legende

- 1 Referenzauflegeplatte, Referenzunterlegscheibe oder festgelegte Unterlegscheibe
- 2 Prüfmutter; hier Drehmomenteinleitung
- 3 Referenzschraube
- 4 Prüfeinrichtung (verspannte Teile)
- 5 Prüfschraube; hier Drehmomenteinleitung
- 6 Referenzmutter
- L_t Länge des vollständigen Gewindes zwischen den Auflageflächen
- ^a Die Referenzauflegeplatte oder die Referenzunterlegscheibe sowie der Schraubenkopf oder die Mutter müssen gegen Verdrehung gesichert und axial ausgerichtet sein.
- ^b L_t sollte mindestens $1d$ sein, wenn bis zur Streckgrenze oder bis zum Bruch angezogen wird.
- ^c d_4 muss DIN EN 20273, Reihe mittel, entsprechen.

Bild 4 — Prüfaufbau und Einbau der Referenzteile

Für Schrauben mit Senkkopf oder Kugelkopf ist eine Referenzscheibe oder Platte entsprechender Bild 5 unter dem Schraubenkopf zu verwenden.



Legende

1 Kopfscheibe

^a Bohrungsdurchmesser d_h muss mindestens DIN EN 20273, Reihe mittel, entsprechen.

Bild 5 — Prüfaufbau mit Kopfscheibe

7 Referenzteile

Quelle: DIN EN ISO 16047 (teilweise).

Referenzteile sind passende Teile zu den Teilen, die geprüft werden sollen.

Für die Prüfung von Schrauben oder Muttern unter festgelegten Bedingungen müssen Referenzteile (Referenzunterlegscheiben, Referenzauflageplatten, Referenzmutter, Referenzschrauben) benutzt werden (siehe Bild 4 und Bild 5).

Es ist eine Referenzauflageplatte oder eine Referenzunterlegscheibe mit hoher Härte (durchgehärtet, Typ HH) zu verwenden. Folgende Vorgaben sind zu erfüllen:

- **Härte:** die Härte muss im Bereich von 50 HRC bis 60 HRC liegen;
- **Rauheit:** die Oberfläche darf eine Rauheit $R_a = 0,8 \mu\text{m}$ nicht überstreiten;
- **Durchgangsloch:** Der Durchmesser des Durchgangsloches d_h muss DIN EN 20273, Reihe mittel, entsprechen und darf weder Fasse noch Einsenkung aufweisen;
- **Ebenheit:** die Ebenheit muss den Anforderungen nach DIN EN ISO 4759-3, Produktklasse A, entsprechen;
- **Dicke**
 - **(bei ebener Auflagefläche):** die Mindestdicke der Referenzauflageplatte oder der Referenzunterlegscheibe muss ISO 7093-1 entsprechen;

- **(bei Verbindungselementen mit Senk- oder Kugelkopf):** wie bei ebener Auflagefläche (für den zylindrischen Anteil) aus Bild 4 (Bauteil 1) plus $1,2 \times$ Senkkopf- oder Kugelkopfhöhe für den Kopfanteil aus Bild 5 b) oder Bild 5 c);
- **Oberflächenzustand:** metallisch blank, ohne Überzug, entfettet.

Alle Teile müssen gratfrei sein.

8 Durchführung

8.1 Prüfung unter Normbedingungen

Für diese Prüfung müssen ein Prüfstand nach Abschnitt 6.1 und ein Prüfaufbau nach Abschnitt 6.2 und Referenzteile nach Abschnitt 7 benutzt werden.

Die Referenzteile müssen Raumtemperatur aufweisen.

Wenn nicht anders vereinbart, dürfen die Referenzteile (Referenzschrauben, Referenzmutter, Referenzauflageplatten oder Referenzscheiben) nur einmal verwendet werden. Wenn Prüfungen mit wiederverwendbaren Referenzauflageplatten durchgeführt werden, muss der Ausgangszustand eindeutig identifiziert werden können.

Die Referenzschraube oder die Referenzmutter muss auf der einen Seite des Prüfaufbaus und die Referenzauflageplatte oder Referenzunterlegscheibe muss auf der anderen Seite gegen Verdrehen gesichert sein. Die Prüfteile sind in den Prüfstand einzubauen und Mutter oder Schraubenkopf sind, je nachdem welches Teil sich frei drehen kann, durch Aufbringen des Anziehdrehmomentes anzuziehen (siehe Bild 4).

Die Prüfbedingungen müssen eindeutig bestimmbar sein (siehe Abschnitt 10, Prüfbericht) und die Prüfung muss unter gleich bleibenden Bedingungen durchgeführt werden. Sofern nicht anders vereinbart, muss die Anziehdrehzahl $10 \frac{1}{\text{min}}$ bis $30 \frac{1}{\text{min}}$ für Gewinde M3 bis M16 und $5 \frac{1}{\text{min}}$ bis $15 \frac{1}{\text{min}}$ für Gewinde größer M16 und bis M39 betragen. Die Drehgeschwindigkeit muss konstant sein.

8.2 Prüfung unter besonderen Bedingungen

Für die Prüfung ist ein Prüfstand nach Abschnitt 6.1 und ein Prüfaufbau nach Abschnitt 6.2 zu benutzen. Jedoch müssen die Referenzschraube, Referenzmutter, Referenzauflageplatte oder Referenzscheibe und auch die Anziehgeschwindigkeit den zwischen den Vertragspartnern vereinbarten besonderen Bedingungen entsprechen.

Für jede Prüfung sind neue Teile (Schraube, Mutter, Gegenlage) zu verwenden. Mehrfachanzug mit den gleichen Teilen ist zulässig, muss aber explizit zwischen den Vertragspartnern vereinbart werden. Die Festigkeitsklassen von Schraube und Mutter müssen aufeinander abgestimmt sein und sind nach Absprache zwischen Hersteller und Anwender zu definieren.

Wenn die Referenzteile nicht den Vorgaben nach Abschnitt 7 entsprechen, müssen diese eindeutig im Prüfbericht (entsprechend Abschnitt 10) beschrieben sein mit den Vorgaben aus Abschnitt 7.

8.3 Einbaubedingungen

Die zu untersuchende Schraubenverbindung wird in die Prüfvorrichtung so eingebaut, dass beim Anziehen über die Mutter und beim Aufsetzen der Mutter auf der Auflagefläche mindestens 2 volle Gewindegänge und höchstens 5 volle Gewindegänge über die Mutter herausragen. Das Schraubengewinde muss jedoch soweit über die Mutter überstehen, dass der Klemmbereich der Mutter voll wirksam ist. Im beanspruchten Teil des Schraubengewindes muss das Klemmteil der Mutter vollständig erfasst sein.

9 Auswertung

9.1 Ermittlung der Reibungszahlen für Schrauben/Mutternverbindungen ohne Klemmteil

Wenn nicht anders vereinbart, muss die Ermittlung bei einem Vorspannkraftniveau erfolgen, das bei 75 % der minimal zu erreichenden Bruchkraft der Schraube oder der Mutter (entsprechend der spezifizierten Bruchkraft) liegt, wobei der kleinere Wert gilt.

Die Ermittlung der Reibungszahlen erfolgt unter Berücksichtigung der jeweils vorliegenden Geometrie von Schraube, Mutter und Gegenlage, der aufgetragenen Drehmomente sowie der beim Anziehen erzeugten Vorspannkraft nach den Gleichungen (2), (3) und (4). Zur Ermittlung von D_{Km} ist eine der Gleichungen (5), (6), (7) zu verwenden. Hierzu sind die Durchmesser d_h , d_w und d_b aus den entsprechenden Produktnormen zu verwenden. Im Anhang A ist ein Beispiel für ein schematisches Reibungsdiagramm dargestellt.

Nach der Anziehprüfung ist auch der Auflageabdruck am Prüfteil auszumessen und daraus der tatsächliche Durchmesser D_{Km} zu ermitteln. Ist die Abweichung zwischen dem errechneten Wert aus der Produktnorm und dem ermittelten Wert aus dem Abdruck $> 10 \%$, so ist dies im Prüfbericht zu vermerken.

Aufgrund des angenommenen linearen Zusammenhanges zwischen Anziehdrehmoment und Vorspannkraft (siehe Abschnitt 5) ist die berechnete Reibungszahl unabhängig von der Vorspannkraft. Rechnerisch erfolgt die Ermittlung der Reibungszahlen mittels Gleichungen (8), (9) und (10). Ausreißer bleiben bei der Auswertung unberücksichtigt, wenn sie eindeutig auf nicht übliche Einflüsse (z. B. einem Span im Gewinde) zurückzuführen sind. Bei den Untersuchungen sind in der Regel 10 Prüfungen zur Auswertung heranzuziehen. Andere Prüfgrößen sind zu vereinbaren.

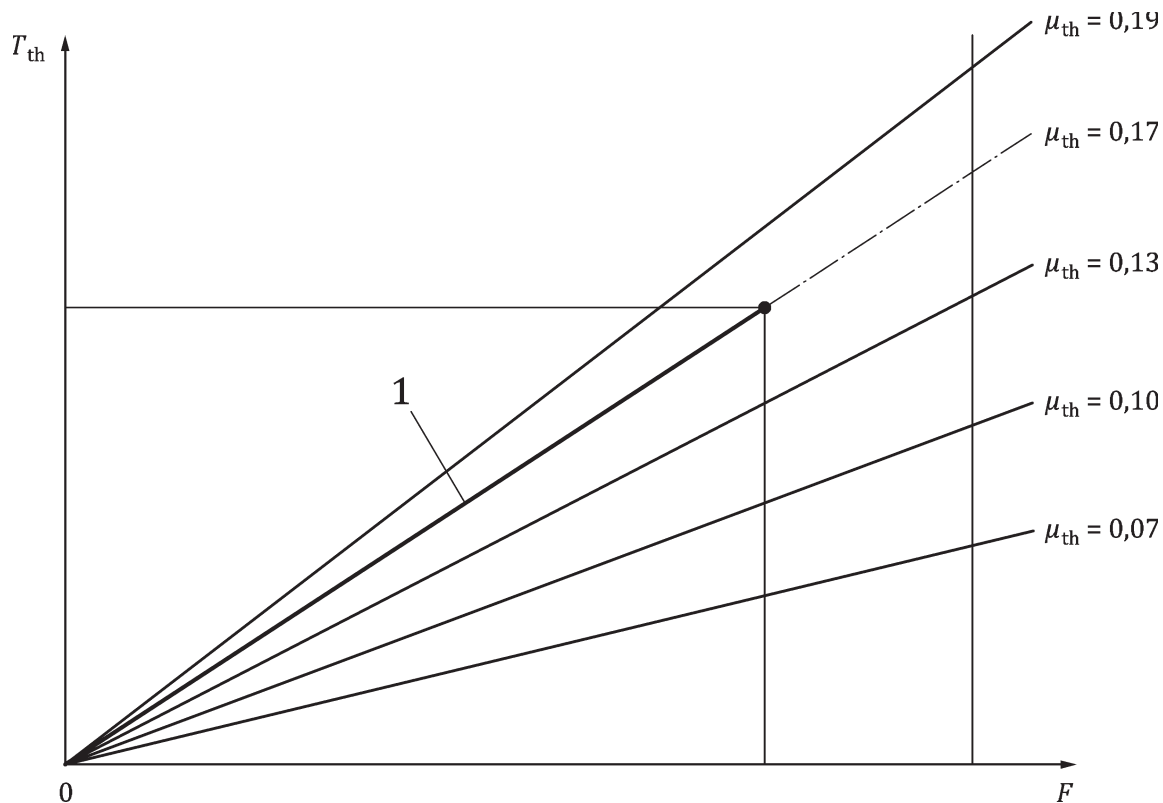
Sofern vereinbart, reicht die Berechnung der Ergebnisse an dem gewünschten Anziehungspunkt aus. Eine Gesamtübersicht wird durch die Erstellung eines Reibungsdiagrammes ermöglicht. Darin können dann die Ergebnisse graphisch dargestellt werden.

Insgesamt sind je Verbindung 3 Reibwertdiagramme möglich:

- „Gewindemoment-Vorspannkraft-Diagramm“ mit Gewindereibstrahlen entsprechend Gleichung (8)
- „Auflagemoment-Vorspannkraft-Diagramm“ mit Auflagereibstrahlen entsprechend Gleichung (9)
- „Anziehdrehmoment-Vorspannkraft-Diagramm“ mit Reibstrahlen für die Gesamtreibung entsprechend Gleichung (10)

Die Ergebnisse der Prüfungen müssen, wenn möglich, in einem einzigen Diagramm aufgetragen werden. Werden mit einer Schraube-Mutter-Kombination Wiederholprüfungen (z. B. Anzieh- und Losdrehprüfungen) durchgeführt, so müssen aus Gründen der Übersichtlichkeit die mit einer Kombination gewonnenen Ergebnisse in einem Diagramm aufgetragen und für jede neue Kombination jeweils neue Diagramme verwendet werden.

Bild 6 zeigt eine lineare Abhängigkeit zwischen Vorspannkraft und Gewindemoment.



Legende

- 1 Messkurve
 μ_{th} Reibungszahl im Gewinde

Bild 6 — Gewindemoment-Vorspannkraft-Diagramm mit linearer Messkurve und Mutternelement ohne Klemmeigenschaft (schematisch)

Die Erstellung von „Auflage-Vorspannkraft-Diagrammen“ bzw. „Anziehdrehmoment-Vorspannkraft-Diagrammen“ erfolgt entsprechend Bild 6, es ist jedoch dabei zu beachten, dass auf der Ordinate im ersten Fall das Auflagemoment T_b und im zweiten Fall das Anziehdrehmoment T aufzutragen ist. Analog verhält es sich dann zu den Reibstrahlen: für das Auflage-Vorspannkraft-Diagramm ist die Reibungszahl μ_b und für das Anziehdrehmoment-Vorspannkraft-Diagramm ist die Gesamtreibungszahl μ_{ges} einzuzeichnen.

Bei einem linearen Zusammenhang zwischen „Moment“ und Vorspannkraft (gerader Verlauf) sind die Reibungszahlen direkt aus dem Diagramm abzulesen.

Bei gekrümmter Messkurve (nicht linearer Kurvenverlauf, Bild 7) ergibt sich an jedem Kurvenpunkt eine andere Reibungszahl. Um die Reibungszahl an einem beliebigen Punkt der Kurve zu bestimmen, muss lediglich der Kurvenpunkt als Wertepaar definiert und anschließend eine Gerade vom Koordinatenursprung durch den gewünschten Kurvenpunkt gelegt werden. Nunmehr kann die Reibungszahl aus dem Diagramm abgelesen werden. Mittels Gleichung (8) und dem Wertepaar aus Gewindemoment und Vorspannkraft kann die Reibungszahl auch rechnerisch bestimmt werden.

In Bild 7 ist dieses Vorgehen graphisch dargestellt.