

**DIN 65946****DIN**

ICS 49.030.01

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

Aerospace –

Determination of coefficient of friction of bolt/nut assemblies under specified conditions;  
Text in German and English

Aéronautique et espace –

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

Gesamtumfang 32 Seiten

Normenausschuss Luft- und Raumfahrt (NL) im DIN

# Inhalt

Seite

|                                                                        |           |
|------------------------------------------------------------------------|-----------|
| <b>Vorwort .....</b>                                                   | <b>3</b>  |
| <b>1 Anwendungsbereich .....</b>                                       | <b>4</b>  |
| <b>2 Normative Verweisungen .....</b>                                  | <b>4</b>  |
| <b>3 Begriffe .....</b>                                                | <b>4</b>  |
| <b>4 Formelzeichen .....</b>                                           | <b>5</b>  |
| <b>5 Grundlage des Verfahrens .....</b>                                | <b>6</b>  |
| <b>6 Prüfvorrichtung .....</b>                                         | <b>7</b>  |
| <b>7 Durchführung .....</b>                                            | <b>8</b>  |
| 7.1 Allgemeines .....                                                  | 8         |
| 7.2 Einbaubedingungen .....                                            | 8         |
| 7.3 Gegenlage .....                                                    | 10        |
| 7.4 Oberflächenzustand und Gewindetoleranz der Referenzstücke .....    | 10        |
| 7.5 Schraubvorgang .....                                               | 10        |
| <b>8 Auswertung .....</b>                                              | <b>10</b> |
| 8.1 Bestimmung der Reibungszahlen ohne Selbstsicherung .....           | 10        |
| 8.2 Bestimmung der Reibungszahlen mit Selbstsicherung .....            | 11        |
| <b>9 Prüfbericht .....</b>                                             | <b>13</b> |
| 9.1 Allgemeines .....                                                  | 13        |
| 9.2 Beschreibung der Schraube .....                                    | 13        |
| 9.3 Beschreibung der Mutter .....                                      | 13        |
| 9.4 Beschreibung der Gegenlage (Istzustand) .....                      | 13        |
| 9.5 Weitere Angaben .....                                              | 13        |
| <b>Anhang A (informativ) Gegenüberstellung der Formelzeichen .....</b> | <b>14</b> |
| <b>Anhang B (informativ) .....</b>                                     | <b>16</b> |
| B.1 Beispiel für ein Reibungsdiagramm .....                            | 16        |
| B.2 Beispiel für ein Protokoll Reibwertdiagramm .....                  | 17        |

## Vorwort

Diese Norm wurde von interessierten Experten des Fachbereiches „Mechanik“, NA 131-03-01 AA „Verbindungselemente (Spiegelausschuss zu ISO/TC 20/SC4)“ des Normenausschusses Luft- und Raumfahrt (NL) im DIN erarbeitet.

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

Diese Norm gilt nur für die Anwendung in der Luft- und Raumfahrt.

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

Gegenüber DIN EN ISO 16047:2005-01 bestehen folgende Unterschiede:

- a) Eine Auswertung bei selbstsichernden Muttern in Abhängigkeit von der Reibungszahl im Gewinde ist möglich.
- b) Es wird ein Prüfverfahren vorgeschrieben, welches reproduzierbare Werte sichert.
- c) Die diagrammatische und rechnerunterstützte Aufzeichnung ist gesichert.
- d) Die Technik der Reibungszahlmessung wird definiert.

## 1 Anwendungsbereich

Diese Norm legt Anziehversuche zur Bestimmung der Reibungszahlen im Gewinde beim Anziehen von Schrauben und Muttern unter festgelegten Bedingungen fest. Sie gilt nur für Versuche, die vergleichenden Charakter haben, z. B. zur Bestimmung von Reibungszahlen bei verschiedenen Oberflächenausführungen oder Einsatz unterschiedlicher Schmierstoffe.

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

Diese Norm gilt nur für die Anwendung in der Luft- und Raumfahrt.

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

Die bei den Anziehversuchen ermittelten Reibungszahlen können im Allgemeinen nicht auf den Anwendungsfall übertragen werden, da hier meistens abweichende Randbedingungen (z. B. Nachgiebigkeit der verschraubten Teile, Oberfläche der Gegenlage) vorliegen.

**ANMERKUNG** Neben dem hier beschriebenen Verfahren gibt es noch andere Möglichkeiten, Reibungszahlen zu bestimmen, z. B. über die Messung der Längenänderung einer Schraube, die mit einem bestimmten Anziehdrehmoment vorgespannt wird.

## 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).

DIN 65439, *Luft- und Raumfahrt — Zwölfkant-Passschrauben mit MJ-Gewinde, mit mittlerer Gewindelänge aus Stahl, Nennzugfestigkeit 1250 MPa für Temperaturen bis 235 °C*

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

DIN ISO 7913, *Luft- und Raumfahrt — Verbindungselemente — Form- und Lagetoleranzen für Schrauben*

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

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

Normen der Reihe

LN 9368, *Luft- und Raumfahrt — Bezeichnung der Oberflächenbehandlungen*

VDI 2230 Blatt 1, *Systematische Berechnung hochbeanspruchter Schraubenverbindungen — Zylindrische Einschraubverbindungen*

## 3 Begriffe

Für die Anwendung dieses Dokuments gelten die folgenden Begriffe.

### 3.1

#### Vorspannkraft

$F_V$

auf den Schraubenschaft wirkende axiale Zugkraft oder auf die verspannten Teile wirkende Druckkraft während des Anziehens

**3.2****Anziehdrehmoment** $M_A$ 

Drehmoment, das auf eine Mutter oder eine Schraube während des Anziehens wirkt, es ergibt sich aus dem Gewindedrehmoment und dem Reibungsmoment in der bei der Montage gleitenden Auflagefläche

**3.3****Gewindedrehmoment** $M_G$ 

Drehmoment, das über die gepaarten Gewinde auf den Bolzenschaft wirkt

**3.4****Reibungsmoment in der Auflagefläche** $M_K$ 

Drehmoment, das beim Anziehen über die gleitenden Auflageflächen auf die verspannten Teile wirkt

**4 Formelzeichen**

|              |                                                                                       |
|--------------|---------------------------------------------------------------------------------------|
| $d$          | Gewinde-Nenndurchmesser                                                               |
| $d_2$        | Flankendurchmesser des Schraubengewindes                                              |
| $d_3$        | Kerndurchmesser des Schraubengewindes                                                 |
| $d_{a \max}$ | Größter innerer Auflagedurchmesser des Schraubenkopfes oder der Mutter                |
| $d_h$        | Durchmesser des Durchgangsloches der Scheibe oder der Auflageplatte (Nennwert)        |
| $d_w$        | Außendurchmesser der Kopf- oder Mutterauflage                                         |
| $D_{Km}$     | Mittlerer Durchmesser für das Reibungsmoment in der Schraubenkopf- oder Mutterauflage |
| $F_V$        | Vorspannkraft, allgemein                                                              |
| $F_{0,2}$    | Schraubenkraft an der Mindeststreckgrenze bzw. der Mindest-0,2 %-Dehngrenze           |
| $M_A$        | Anziehdrehmoment                                                                      |
| $M_G$        | Gewindedrehmoment                                                                     |
| $M_K$        | Reibungsdrehmoment                                                                    |
| $M_S$        | Sicherungsmoment                                                                      |
| $P$          | Gewindesteigung                                                                       |
| $\mu_G$      | Reibungszahl im Gewinde                                                               |
| $\mu_{G^*}$  | Angenäherte Reibungszahl im Gewinde                                                   |
| $\mu_{GT}$   | Reibungsstrahl gemessen mit Sicherungsmoment                                          |
| $\mu_K$      | Reibungszahl in der Mutter- oder Kopfauflage                                          |
| $\mu_{ges}$  | Gesamtreibungszahl                                                                    |

## 5 Grundlage des Verfahrens

Die Verbindungen werden bei Raumtemperatur durch Aufbringen eines Anziehdrehmoments stetig vorgespannt.

Im elastischen Verformungsbereich besteht 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 gilt folgende mathematische Beziehung:

$$M_A = F_V \left( 0,159 \cdot P + 0,578 \cdot d_2 \cdot \mu_G + \frac{D_{Km}}{2} \cdot \mu_K \right) \quad (1)$$

Das Anziehdrehmoment setzt sich aus den beiden Anteilen, Gewindedrehmoment und Kopfreibmoment, zusammen:

- Gewindedrehmoment  $M_G$ : Dient zur Aufbringung der Vorspannkraft und der Überwindung der Reibung im Gewinde;
- Kopfreibmoment  $M_K$ : Dient zur Überwindung der hier vorliegenden Reibung.

$$M_A = M_G + M_K \quad (2)$$

mit

$$M_G = F_V (0,159 \cdot P + 0,578 \cdot d_2 \cdot \mu_G) \quad (3)$$

und

$$M_K = F_V \frac{D_{Km}}{2} \cdot \mu_K \quad (4)$$

Der mittlere Durchmesser für das Reibungsmoment in der Schraubenkopf- bzw. Mutterauflage berechnet sich für eine ebene Auflagefläche nach

$$D_{Km} = \frac{d_w + d_h}{2} \quad (5)$$

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

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

Andere Auflageflächen, z. B. Senkköpfe oder kugelige Auflagen, sind entsprechend zu berücksichtigen. Zur korrekten Bestimmung des wirksamen Radius  $\frac{1}{2} D_{Km \text{ eff}}$  ist der nach der Messung sichtbare Kopfabdruck heranzuziehen.

Die Bestimmung der Reibungszahlen erfolgt mit den nach Umformung von Gleichung (3) und Gleichung (4) entstandenen Beziehungen für die Reibung

— im Gewinde

$$\mu_G = \frac{M_G / F_V - 0,159 \cdot P}{0,578 \cdot d_2} \quad (6)$$

und

— in der Auflagefläche von Schraubenkopf oder Mutter

$$\mu_K = \frac{2 \cdot M_K}{D_{Km} \cdot F_V} \quad (7)$$

Wenn die Prüfvorrichtung (siehe Abschnitt 6) die getrennte Erfassung von  $M_G$  und  $M_K$  nicht zulässt, kann eine Vergleichsreibungszahl

$$\mu_{\text{ges}} = \frac{M_A / F_V - 0,159 \cdot P}{0,578 \cdot d_2 + \frac{D_{Km}}{2}} \quad (8)$$

berechnet werden, die nur dem Vergleich des Gesamtreibungsverhaltens von Schrauben/Muttern-Verbindungen dient, nicht jedoch im Berechnungsgang für die Auslegung von Schraubenverbindungen zu verwenden ist.

Die Prüfergebnisse werden durch eine Vielzahl von Parametern beeinflusst. Deshalb werden für die Versuchsdurchführung Mindestanforderungen festgelegt, um diese Einflüsse kontrollieren zu können.

## 6 Prüfvorrichtung

Für die Untersuchungen ist eine Prüfvorrichtung erforderlich, die das Halten der Prüfschraube oder Prüfmutter und der Gegenlage gestattet sowie Einrichtungen zur Erfassung und Dokumentation des Anziehvorgangs, z. B. in Form eines M-F-Diagrammes, aufweist. Die Gegenlage sowie das beim Anziehen nicht bewegte Verbindungselement (Schraube oder Mutter) müssen gegen Verdrehen gesichert sein. Bild 1 zeigt die schematische Darstellung einer solchen Prüfvorrichtung. Mit der Prüfvorrichtung können auch Kopfreibungszahl und die Gesamtreibungszahl über Kopfreibungsmoment und Gesamtreibungsmoment ermittelt werden.

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 Reibwerte verglichen werden, die mit Geräten der gleichen Bauart, mit gleichen Gegengewinden und mit gleichen Gegenlagen bestimmt wurden.

Die Messkette muss die Ermittlung der Messgrößen  $M_A$ ,  $M_G$ ,  $M_K$  und  $F_V$  mit einer maximalen Messunsicherheit von  $\pm 3\%$  ermöglichen. Dabei sind auch eventuell vorhandene Axiallager in der Messvorrichtung zu berücksichtigen.

## 7 Durchführung

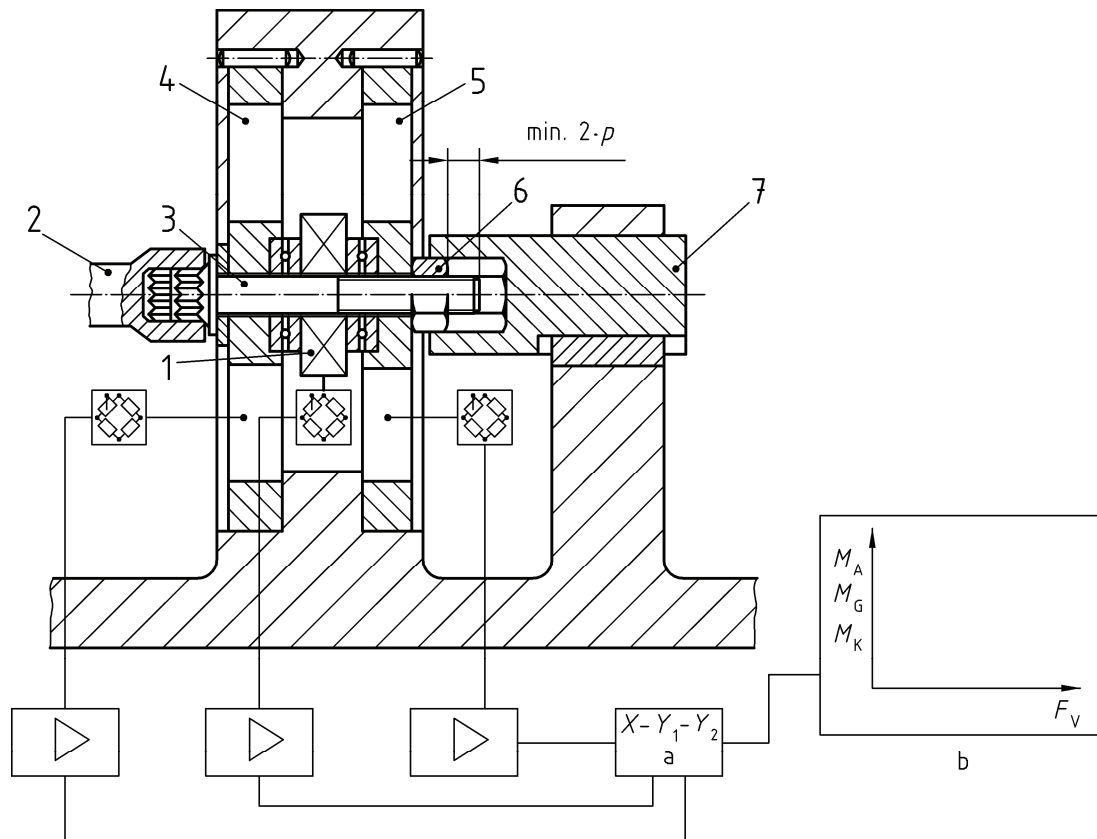
### 7.1 Allgemeines

Für jede Prüfung sind neue Teile (Schraube, Mutter, Gegenlage) zu verwenden. Die Festigkeitsklassen von Schraube und Mutter müssen aufeinander abgestimmt sein. Nach Absprache zwischen Hersteller und Anwender dürfen auch Schrauben nach DIN 65439 verwendet werden.

Bei der Untersuchung von Schmierstoffen im Hinblick auf das Anziehverhalten können bestimmte Prüfkörper vorgeschrieben und für mehrfaches Anziehen zugelassen werden. In diesem Falle sind Schraube, Mutter und Gegenlage als Referenzstücke zu definieren.

### 7.2 Einbaubedingungen

Die zu untersuchende Schraubenverbindung wird in die Prüfvorrichtung so eingebaut, dass beim Aufsetzen der Mutter auf der Auflagefläche die maximale Anzahl von acht Gewindegängen nicht überschritten wird. Im beanspruchten Teil des Bolzengewindes müssen mindestens zwei volle Gewindegänge frei sein (siehe Bild 1).



### Legende

- 1 Druckmessdose zur Vorspannkraftmessung  $F_V$
- 2 Einleitung des Drehmomentes  $M_A$
- 3 Schraube (Prüfteil)
- 4 Messspeiche zur Ermittlung des Auflagedrehmomentes (Kopfreibdrehmoment)
- 5 Messspeiche zur Ermittlung des Gewindemomentes  $M_G$
- 6 Mutter oder Prüfkörper mit Muttergewinde
- 7 Drehfestes Gegenlager

- a Registrierung
- b Darstellung

**Bild 1 — Schematische Darstellung einer Prüfvorrichtung zum Messen der Vorspannkraft  $F_V$ , des Gewindedrehmomentes  $M_G$  und des wirkamen Reibungsdrehmomentes in der Auflage einer Schraube oder Mutter  $M_K$**

### 7.3 Gegenlage

Werden für die Untersuchungen keine besonderen Vereinbarungen über die Beschaffenheit der Gegenlage des beim Anziehen relativ bewegten Verbindungselementes (Schraube oder Mutter) gemacht, so sind für die Prüfung Stahlscheiben (zweckmäßigerweise auch Leisten mit mehreren Löchern) mit folgenden Anforderungen vorzusehen:

- längsgeschliffen,  $R_a = 0,8 \mu\text{m}$  bis  $1,6 \mu\text{m}$ ;
- Ebenheitstoleranz und Parallelitätstoleranz  $0,04 \text{ mm}$ ;
- metallisch blank und entfettet;
- Mindestdicke:  $0,5 d$ ;
- Härte 38 HRC bis 42 HRC oder 380 HV 20 bis 420 HV 20, z. B. C 45 vergütet;
- Durchmesser des Durchgangsloches  $d_h = d_{a \max}$ , Toleranz H13, ohne Senkung.

### 7.4 Oberflächenzustand und Gewindetoleranz der Referenzstücke

Für die vergleichende Prüfung des Anziehverhaltens von Schraubenverbindungen wird hinsichtlich des Oberflächenzustandes und der Gewindetoleranz der Referenzstücke Folgendes festgelegt:

- a) Sollen Schrauben untersucht werden, so sind als Referenzstücke metallisch blanke, entfettete, voll belastbare Muttern (z. B. Sechskantmuttern) mit Gewindetoleranz 6H als Einschraubgewinde zu verwenden. Die Schrauben müssen vor dem Versuch von Hand leicht einschraubbar sein, andernfalls sind Muttern mit größerem Gewindeabmaß einzusetzen.
- b) Für die Prüfung von Muttern sind als Referenzstücke Schrauben nach Produktnormen der Luft- und Raumfahrt zu verwenden. Nach der Beschichtung der Schraube müssen die Muttern von Hand leicht aufschraubbar sein.
- c) Bei der Untersuchung von Schmierstoffen müssen Schrauben und Muttern entsprechend den oben beschriebenen Referenzstücken eingesetzt werden.

### 7.5 Schraubvorgang

Der Anziehvorgang muss mit einer Drehzahl von höchstens  $30 \text{ min}^{-1}$  erfolgen und darf eine Temperatur von  $40^\circ\text{C}$  nicht überschreiten.

## 8 Auswertung

### 8.1 Bestimmung der Reibungszahlen ohne Selbstsicherung

Die Bestimmung 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 (5) bis (8).

Für die geometrischen Größen sind in die Gleichungen (5) bis (8) einzusetzen:

- a) Nennmaße  $d_2$ ,  $P$ ,  $d_h$ ; entsprechend der jeweiligen Produktnorm
- b) Mindestmaß  $d_w$  entsprechend der jeweiligen Produktnorm.