

DIN EN 17976

ICS 21.060.10; 21.060.20

Einsprüche bis 2023-07-26

Entwurf**Bahnanwendungen –
Verschrauben von Schienenfahrzeugen und -fahrzeugteilen;
Deutsche und Englische Fassung prEN 17976:2023**

Railway applications –
Bolting of railway vehicles and components;
German and English version prEN 17976:2023

Anwendungswarnvermerk

Dieser Norm-Entwurf mit Erscheinungsdatum 2023-05-26 wird der Öffentlichkeit zur Prüfung und Stellungnahme vorgelegt.

Weil die beabsichtigte Norm 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 fsf@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 Fahrweg und Schienenfahrzeuge (FSF), Rolandstr. 4, 34131 Kassel.

Die Empfänger dieses Norm-Entwurfs werden gebeten, mit ihren Kommentaren jegliche relevanten Patentrechte, die sie kennen, mitzuteilen und unterstützende Dokumentationen zur Verfügung zu stellen.

Gesamtumfang 213 Seiten

DIN-Normenausschuss Fahrweg und Schienenfahrzeuge (FSF)

Nationales Vorwort

Dieses Dokument (prEN 17976:2023) wurde vom Technischen Komitee CEN/TC 256 „Eisenbahnwesen“ erarbeitet, dessen Sekretariat von DIN (Deutschland) gehalten wird.

Das zuständige deutsche Normungsgremium ist der Arbeitsausschuss NA 087-00-04 AA „Festigkeit/Kollisionssicherheit“ im DIN-Normenausschuss Fahrweg und Schienenfahrzeuge (FSF).

Um Zweifelsfälle in der Übersetzung auszuschließen, ist die englische Originalfassung beigelegt. Die Nutzungsbedingungen für den deutschen Text des Norm-Entwurfes gelten gleichermaßen auch für den englischen Text.

Für die in diesem Dokument zitierten Dokumente wird im Folgenden auf die entsprechenden deutschen Dokumente hingewiesen:

ISO 261	siehe	DIN ISO 261
ISO 898-1	siehe	DIN EN ISO 898-1
ISO 898-2	siehe	DIN EN ISO 898-2
ISO 898-3	siehe	DIN EN ISO 898-3
ISO 965-1	siehe	DIN ISO 965-1
ISO 2306	siehe	DIN 336
ISO 5479	siehe	DIN ISO 5479
ISO 7089	siehe	DIN EN ISO 7089

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

Nationaler Anhang NA (informativ)

Literaturhinweise

DIN 336, *Durchmesser für Bohrer für Gewindekerndurchmesser von geschnittenen Gewinden*

DIN EN ISO 898-1, *Mechanische Eigenschaften von Verbindungselementen aus Kohlenstoffstahl und legiertem Stahl — Teil 1: Schrauben mit festgelegten Festigkeitsklassen — Regelfgewinde und Feingewinde*

DIN EN ISO 898-2, *Verbindungselemente — Mechanische Eigenschaften von Verbindungselementen aus Kohlenstoffstahl und legiertem Stahl — Teil 2: Muttern mit festgelegten Festigkeitsklassen*

DIN EN ISO 898-3, *Mechanische Verbindungselemente — Mechanische Eigenschaften von Verbindungselementen aus Kohlenstoffstahl und legiertem Stahl — Teil 3: Flache Scheiben mit festgelegten Festigkeitsklassen*

DIN EN ISO 7089, *Flache Scheiben — Normale Reihe — Produktklasse A*

DIN ISO 261, *Metrisches ISO-Gewinde allgemeiner Anwendung — Übersicht*

DIN ISO 965-1, *Metrisches ISO-Gewinde allgemeiner Anwendung — Toleranzen — Teil 1: Prinzipien und Grundlagen (ISO 965-1:2013)*

DIN ISO 5479, *Statistische Auswertung von Daten — Tests auf Abweichung von der Normalverteilung*

— Leerseite —

Titel de: Bahnanwendungen — Verschrauben von Schienenfahrzeugen
und -fahrzeugteilen

Titel en: Railway applications — Bolting of railway vehicles and components

Inhalt

	Seite
Europäisches Vorwort	5
Einleitung	6
1 Anwendungsbereich	7
2 Normative Verweisungen	7
3 Begriffe	8
4 Symbole und Abkürzungen	13
5 Personalkompetenz	16
6 Definition des Sicherheitsniveaus	17
6.1 Allgemeines	17
6.2 Sicherheitsniveau einer mechanischen Verbindung	17
6.2.1 Schweregrad	17
6.2.2 Sicherheitsklasse	18
6.2.3 Sicherheitsniveau	19
6.3 Sicherheitsniveau einer elektrischen Verbindung	19
6.3.1 Sicherheitsniveau Hoch (H)	19
6.3.2 Sicherheitsniveau Mittel (M)	19
6.3.3 Sicherheitsniveau Niedrig (L)	20
6.4 Anforderungen in Abhängigkeit vom Sicherheitsniveau	20
6.4.1 Mechanische Verbindungen	20
6.4.2 Elektrische Verbindungen	21
7 Konstruktion	22
7.1 Konstruktionsregeln	22
7.1.1 Allgemeines	22
7.1.2 Gewinde	22
7.1.3 Schrauben und Muttern	22
7.1.4 Mechanische Eigenschaften von Verbindungselementen	22
7.1.5 Konstruktion des Bauteils	23
7.1.6 Belastbarkeit einer Schraubverbindung	25
7.1.7 Einschraubtiefe	26
7.1.8 Fasen	28
7.1.9 Gewindeüberstände	28
7.1.10 Durchgangsbohrung für Bolzen	29
7.1.11 Senkbohrung/Senkung	29
7.1.12 Kernlochdurchmesser und Gewindeauslauf	30
7.1.13 Kantenabstände und Zwischenräume	31
7.1.14 Zugänglichkeit für Werkzeuge und Anziehen	32
7.2 Mechanische Verbindung — Festigkeitsnachweis	32
7.2.1 Allgemeines	32
7.2.2 Schraubenfließverhalten im montierten Zustand	33
7.2.3 Funktionelle Anforderungen	35
7.2.4 Nachgeben der Schraube unter Betriebslast	37
7.2.5 Flächenpressung	38
7.2.6 Kriechen	39
7.2.7 Einschraubtiefe	39

7.2.8	Ermüdungsnachweis	39
7.2.9	Versagen	39
7.2.10	Sicherheitsfaktoren für den Festigkeitsnachweis	40
7.3	Elektrische Verbindung	41
7.3.1	Allgemeines	41
7.3.2	Auswahl der Verbindungselemente	41
7.3.3	Montage der Schraubverbindungen	42
7.4	Korrosion	44
7.4.1	Allgemeines	44
7.4.2	Schutzwirkung von Beschichtungen und Werkstoffen in Verbindungselementen	44
7.4.3	Galvanische Korrosion	47
7.5	Sicherungsmethoden	51
7.5.1	Schraubverbindungen für maschinenbauliche Anwendungen	51
7.5.2	Schraubverbindungen für elektrische Verbindungen	51
7.5.3	Sicherungsmaßnahmen	51
7.6	Dokumentation der Konstruktion	55
8	Montage von Schraubverbindungen	56
8.1	Allgemeines	56
8.2	Werkzeuge	56
8.2.1	Anforderungen an Werkzeuge	56
8.2.2	Überwachung der Anziehwerkzeuge und -systeme	58
8.3	Anziehverfahren	59
8.3.1	Allgemeines	59
8.3.2	Kennzeichnung von Schraubverbindungen	59
8.3.3	Arbeitsanweisungen	60
8.4	Umgebungsbedingungen	61
8.5	Validierung des Montageergebnisses bei der ersten Überprüfung der Montage	61
8.6	Qualitätssicherung des Montageergebnisses in der Serienfertigung	62
8.7	Aufzeichnung der Montage	62
8.8	Wiederverwendung von Verbindungselementen	63
8.9	Lebensdauerkontrolle	63
9	Leistungsklassen	63
10	Eigenschaften von Kenngrößen	64
10.1	Allgemeines	64
10.2	Statistische Auswertung	64
10.3	Physikalische Eigenschaften	67
10.3.1	Haftreibungswert in der Grenzfläche	67
10.3.2	Reibwerte beim Anziehen	67
10.3.3	Grenzwerte für die Flächenpressung	68
10.3.4	Setzen	68
Anhang A (informativ)	Größenabschätzung	70
A.1	Allgemeines	70
A.2	Grenzwerte für die Größenabschätzung	70
A.3	Abschätzung der Setzungsmenge	71
A.4	Durchführung der Größenabschätzung	72
Anhang B (informativ)	Beispiele für Sicherheitsniveaus	78
B.1	Allgemeines	78
B.2	Beispiele	78
B.3	Flussdiagramm zur Einstufung des Schweregrads für mechanische Verbindungen	80
Anhang C (informativ)	Montagewerte für drehmomentgesteuerte Montage	81
C.1	Allgemeines	81
C.2	Grenzwerte für das angegebene Anziehdrehmoment	81
C.3	Gleichungen	82

C.4	Nennanziehdrehmoment, Montagevorspannung bei der Montage und Anziehungsfaktor	82
Anhang D (informativ) Anziehungsfaktor		86
Anhang E (informativ) Beispiele für Sicherheitsniveaus für Sonderfahrzeuge nach EN 14033-1:2017		87
E.1	Allgemeines	87
E.2	Beispiele.....	87
Anhang F (informativ) Statistische Auswertung.....		91
F.1	Verfahren zur statistischen Versuchsauswertung für eine einzelne Kenngröße	91
F.1.1	Allgemeines	91
F.1.2	Anzahl der Beobachtungen und Stichproben.....	91
F.1.3	Berechnung von Mittelwert und Standardabweichung.....	92
F.1.4	Versuch der Abweichung von der Normalverteilung	92
F.1.5	Versuch für Ausreißer	92
F.1.6	Einseitige oder zweiseitige Toleranzbetrachtung.....	92
F.1.7	Statistischer Toleranzbereich und Grenzwert.....	93
F.1.7.1	Vorgehensweise bei bekanntem Mittelwert und Standardabweichung	93
F.1.7.2	Vorgehensweise bei unbekanntem Mittelwert und unbekannter (gemeinsamer) Standardabweichung.....	94
F.1.7.3	Anwendung der statistischen Toleranzgrenzen für getrennte Grundgesamtheiten.....	95
F.1.7.4	Bestimmung des Toleranzintervalls und der Toleranzgrenze für die Grundgesamtheit einer beliebigen Verteilung	95
F.2	Verfahren zur statistischen Versuchsauswertung für ein gesamtes Berechnungskriterium	96
F.2.1	Allgemeines	96
F.2.2	Gaußsches Gesetz der Unsicherheitsfortpflanzung.....	96
F.2.2.1	Allgemeines.....	96
F.2.2.2	Erster Schritt "Mathematische Modellformulierung"	97
F.2.2.3	Zweiter Schritt "Aufbereitung der Messergebnisse"	97
F.2.2.4	Dritter Schritt "Berechnung der Ausgangsschätzung y und ihrer zugehörigen Unsicherheit $u(y)$ "	97
F.2.2.5	Vierter Schritt "Vollständiger Ausdruck der Ergebnisse"	98
F.2.2.6	Dokumentation der statistischen Versuchsauswertung	98
Literaturhinweise.....		100

Europäisches Vorwort

Dieses Dokument (prEN 17976:2023) wurde vom Technischen Komitee CEN/TC 256 „Bahnanwendungen“ erarbeitet, dessen Sekretariat von DIN gehalten wird.

Dieses Dokument ist derzeit zur CEN-Umfrage vorgelegt.

Einleitung

Einsteck- und Durchsteckschraubverbindungen werden häufig für die Montage sicherheitskritischer Komponenten in Schienenfahrzeugen verwendet. In diesem Dokument werden die wichtigsten Überlegungen zur Konstruktion und Montage solcher Verbindungen auf der Grundlage einer Bewertung ihrer Kritikalität dargelegt.

Die Anwendung dieses Dokuments führt zu einem angemessenen Sicherheitsniveau für Schraubverbindungen in Bahnanwendungen in Bezug auf Entwurfs-, Montage- und Betriebsphase.

Dieses Dokument ist für die Auswahl und Anwendung von Schraubverbindungen für Schienenfahrzeuge mit mechanischen und elektrischen Anwendungen anwendbar.

Die Funktion einer Schraubverbindung besteht darin, zwei oder mehr Teile auf ausreichende und sichere Weise über die vorgesehene Lebensdauer unter den Bedingungen der Eisenbahnumgebung zu verbinden. Die Schraubverbindung ist zur Kräfteübertragung zwischen den verbundenen Bauteilen sicher und ohne Trennung oder Relativbewegung ausgelegt. Zu diesem Zweck werden die Teile durch die Vorspannung der Schraube zusammengehalten.

Dieses Dokument spezifiziert die Sicherheitsstufen von Schraubverbindungen und gibt einen Überblick über die daraus resultierenden Anforderungen.

Es spezifiziert Normen für die Auslegung und den Nachweis von Schraubverbindungen. Die Bemessung umfasst Aspekte wie Verbindungsabmessungen, Auslegung, Sicherung von Schraubverbindungen und Korrosionsschutz.

Es ist dafür vorgesehen, den Konstrukteur bei der grundsätzlichen Auswahl von Schraubverbindungen zu unterstützen, um sich mit der notwendigen Systematik und den Begriffen vertraut zu machen.

Darüber hinaus werden in diesem Dokument Anforderungen an die Montage, Qualität und Instandhaltung festgelegt.

1 Anwendungsbereich

Dieses Dokument legt die Anforderungen für den Entwurf, die Festigkeitsbewertung, die Montage und die Instandhaltung von mechanischen und elektrischen Schraubverbindungen aus metallischen Bauteilen und Schrauben fest.

Dieses Dokument ist nicht für Nieten, Schlossschrauben, selbstschneidende Schrauben, Holzschrauben, gewindefurchende Schrauben, gewindeformende Schrauben und Spanplatten anzuwenden.

Dieses Dokument ist auf alle Schienenfahrzeuge anwendbar.

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).

EN 50153:2014,¹ *Bahnanwendungen — Fahrzeuge — Schutzmaßnahmen in Bezug auf elektrische Gefahren*

EN 50343, *Bahnanwendungen — Fahrzeuge — Regeln für die Installation von elektrischen Leitungen*

EN 20273, *Mechanische Verbindungselemente; Durchgangslöcher für Schrauben (ISO 273)*

EN 13858, *Korrosionsschutz von Metallen — Nicht elektrolytisch aufgetragene schuppenförmige Zinküberzüge auf Werkstücken aus Eisen und Stahl*

EN 12683, *Biotechnik — Veränderte Organismen zum Einsatz in der Umwelt - Leitfaden für die Charakterisierung des gentechnisch veränderten Organismus durch Untersuchung der molekularen Stabilität der Genomveränderung*

EN 15865, *Klebstoffe — Bestimmung der Drehfestigkeit von anaeroben Klebstoffen auf geklebten Gewinden (ISO 10964)*

EN ISO 3506-1, *Mechanische Verbindungselemente — Mechanische Eigenschaften von Verbindungselementen aus korrosionsbeständigen nichtrostenden Stählen — Teil 1: Schrauben mit festgelegten Stahlsorten und Festigkeitsklassen (ISO 3506-1)*

EN ISO 3506-2, *Mechanische Verbindungselemente — Mechanische Eigenschaften von Verbindungselementen aus korrosionsbeständigen nichtrostenden Stählen — Teil 2: Muttern mit festgelegten Stahlsorten und Festigkeitsklassen (ISO 3506-2)*

EN ISO 4032, *Sechskantmutter (Typ 1) — Produktklassen A und B (ISO 4032)*

EN ISO 4014, *Verbindungselemente — Sechskantschrauben mit Schaft — Produktklassen A und B (ISO 4014)*

EN ISO 4017, *Verbindungselemente — Sechskantschrauben mit Gewinde bis Kopf — Produktklassen A und B (ISO 4017)*

EN ISO 10683:2018, *Verbindungselemente — Nichtelektrolytisch aufgetragene Zinklamellenüberzugssysteme (ISO 10683)*

1 Geändert durch EN 50153:2014/A1:2017 and EN 50153:2014/A2:2020.

EN ISO 4042:2022, *Verbindungselemente — Galvanisch aufgebrachte Überzugssysteme (ISO 4042)*

EN ISO 7040, *Sechskantmutter mit Klemmteil (mit nichtmetallischem Einsatz) — Festigkeitsklassen 5, 8 und 10 (ISO 7040)*

EN ISO 7042, *Hohe Sechskantmutter mit Klemmteil (Ganzmetallmutter) — Festigkeitsklassen 5, 8, 10 und 12 (ISO 7042)*

EN ISO 4762, *Zylinderschrauben mit Innensechskant (ISO 4762)*

EN ISO 10664, *Innensechsrund für Schrauben (ISO 10664)*

EN ISO 2081, *Metallische und andere anorganische Überzüge — Galvanische Zinküberzüge auf Eisenwerkstoffen mit zusätzlicher Behandlung (ISO 2081)*

EN ISO 19598, *Metallische Überzüge — Galvanische Zink- und Zinklegierungsüberzüge auf Eisenwerkstoffen mit zusätzlichen Cr(VI)-freien Behandlungen (ISO 19598)*

ISO 261, *ISO general purpose metric screw threads — General plan*

ISO 898-1, *Mechanical properties of fasteners made of carbon steel and alloy steel — Part 1: Bolts, screws and studs with specified property classes — Coarse thread and fine pitch thread*

ISO 898-2, *Fasteners — Mechanical properties of fasteners made of carbon steel and alloy steel — Part 2: Nuts with specified property classes*

ISO 965-1, *ISO general purpose metric screw threads — Tolerances — Part 1: Principles and basic data*

ISO 2725-2, *Assembly tools for screws and nuts — Square drive sockets — Part 2: Machine-operated sockets ("impact")*

ISO 2306, *Drills for use prior to tapping screw threads*

ISO 16269-6:2014, *Statistical interpretation of data — Part 6: Determination of statistical tolerance intervals*

ISO 5479, *Statistical interpretation of data — Tests for departure from the normal distribution*

DIN 1319-3:1996-05, *Grundlagen der Meßtechnik — Teil 3: Auswertung von Messungen einer einzelnen Meßgröße, Meßunsicherheit*

DIN 1461, *Durch Feuerverzinken auf Stahl aufgebrachte Zinküberzüge (Stückverzinken) — Anforderungen und Prüfungen*

DIN 78, *Schraubenüberstände*

3 Begriffe

Für die Anwendung dieses Dokuments gelten die folgenden Begriffe.

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

- ISO Online Browsing Platform: verfügbar unter <https://www.iso.org/obp>
- IEC Electropedia: verfügbar unter <https://www.electropedia.org/>

3.1

Schraubverbindung

Baugruppe aus zwei oder mehr Bauteilen, die durch die Vorspannung der Schraubbolzen zusammengehalten werden

Anmerkung 1 zum Begriff: Die Schraubverbindung umfasst die eingespannten Bauteile, die Schraube, die Mutter und die Unterlegscheiben. In diesem Dokument schließt die Schraubverbindung die Einsteckschraubverbindung ein.

3.2

Einsteckschraubverbindung

Baugruppe aus zwei oder mehr Bauteilen, die durch die Vorspannung der Schrauben zusammengehalten werden

Anmerkung 1 zum Begriff: Die Schraube wird in ein Bauteil mit Gewinde eingesetzt. Die Einsteckschraubverbindungen enthalten die eingespannten Bauteile, die Schraube und Unterlegscheiben.

3.3

Trennung

Öffnen von eingespannten Teilen

Anmerkung 1 zum Begriff: Die Grenzflächenpressung zwischen zwei eingespannten Bauteilen fällt durch äußere Kräfte, die diese Teile auseinanderziehen, teilweise oder ganz auf Null.

3.4

Belastungsfaktor

Verhältnis der Federkraft der Schraube und der eingespannten Teile

3.5

Lösen

Lockerung und selbsttätiges Lösen durch Verdrehen, das den Verlust der Vorspannung einschließt

3.6

Lockern

Verlust der Vorspannung durch Setzen, Kriechen oder Überschreiten der Flächenpressungsgrenzen

3.7

Setzen

Einebnen von Verbindungsflächen, innerhalb des Gewindes, unter dem Kopf oder der Mutter oder der Schnittstellenflächen

3.8

Kriechen

zeitabhängige plastische Verformung unter Last, die zum Verlust der Vorspannung in Schraubverbindungen führt

Anmerkung 1 zum Begriff: Bei metallischen Werkstoffen tritt dies in der Regel bei erhöhten Temperaturen auf (mindestens 30 % bis 40 % der Schmelztemperatur in Kelvin).

3.9

selbsttätiges Losdrehen

Vorspannkraftverlust infolge einer Relativbewegung zwischen Mutter und Bolzen oder Schraube und Gewindeteil, oft in Verbindung mit äußeren Scherkräften, die die Verbindungsreibung überwinden

3.10

normale Betriebslast

Betriebs- oder zyklische Belastung, die über die angegebene Lebensdauer ohne Beeinträchtigung der Tragsicherheit ausgehalten wird

Anmerkung 1 zum Begriff: Die normale Betriebslast wird in Übereinstimmung mit spezifischen Normen, z. B. EN 12663-1 und EN 13749, betrachtet.

3.11

außergewöhnliche Last

Extremlast, die die höchstmögliche Last darstellt, unter der die volle Gebrauchstauglichkeit erhalten bleiben muss und die zur Beurteilung der statischen Materialeigenschaften herangezogen wird

Anmerkung 1 zum Begriff: Die normale Betriebslast wird in Übereinstimmung mit spezifischen Normen, z. B. EN 12663-1 und EN 13749, berücksichtigt.

3.12

Bruchlast

Last durch Absturz, Entgleisung, Vandalismus, unter der die Tragfähigkeit erhalten bleiben soll

3.13

Versagen

Fehler, der dazu führt, dass die Schraubverbindung ihre Funktionsanforderung nicht mehr erfüllt

Anmerkung 1 zum Begriff: Funktionsanforderungen sind z. B. strukturelle Festigkeit oder Stromübertragung. Je nach Konstruktion und Funktion kann dies ein inakzeptabler Verlust der Vorspannung oder ein Totalverlust der Verbindung sein.

Anmerkung 2 zum Begriff: Versagen kann aus Überlastungen oder normalen Betriebs- und außergewöhnlichen Belastungen in Kombination mit Korrosion oder Degradation resultieren.

3.14

rutschfest

keine relative Quer- oder Radialbewegung zwischen den eingespannten Bauteilen

3.15

Anziehfaktor

Verhältnis zwischen maximaler und minimaler Montagevorspannung einer Schraubverbindung aufgrund der Streuung des Anziehvorgangs und der Streuung der Reibungskoeffizienten

Anmerkung 1 zum Begriff: Verringerung der Vorspannung durch Setzen wird nicht berücksichtigt.

3.16

mechanische Verbindung

Schraubverbindung, die Lasten zwischen zwei oder mehreren Bauteilen überträgt

3.17

elektrische Verbindung

Schraubverbindung zwischen zwei oder mehreren Bauteilen zur Stromübertragung im Betrieb

Anmerkung 1 zum Begriff: Die elektrische Verbindung darf dauerhaft oder als Sicherungsleitung (Erdungsverbindung) ausgeführt sein.

3.18

Schweregrad

Schwere der Folgen im Falle des Versagens einer Schraubverbindung

3.19

Sicherheitsklasse

Widerstand einer Konstruktion gegen die befürchteten Folgen bei Versagen der Schraube

3.20

Sicherheitsniveau

Kombination aus dem Schweregrad und der Sicherheitsklasse

Anmerkung 1 zum Begriff: Abhängig vom Sicherheitsniveau werden verschiedene Maßnahmen definiert.

3.21

Lastaufnahmemittel

Bauteil oder Baugruppe, die Ausrüstungslasten überträgt, einschließlich Verbindungselemente und Gehäuse

Anmerkung 1 zum Begriff: Beispiele für Ausrüstungslasten sind Zug-, Brems- und Dämpferkräfte.

3.22

Schutzerdung

stromführende elektrische Verbindung nur im Fehlerfall

3.23

Niederspannung

Spannung von nicht mehr als 25 V (Wechselspannung) oder 60 V (Gleichspannung)

Anmerkung 1 zum Begriff: Nach EN 50153 dürfen Kleinspannungen die Spannungsgrenzen von 25 V für Wechselspannungen (bezogen auf den Effektivwert) und 60 V für Gleichspannungen nicht überschreiten (Spannungsbereich I nach EN 50153).

3.24

TN-C

Neutralleiter und Schutzerdungsleiter in einer einzigen Leitung im gesamten System kombiniert

3.25

PEN-Leiter

Leiter, der die Funktionen eines Schutzerdungsleiters und eines Neutralleiters in sich vereint

3.26

Potentialausgleichsanlage

Einrichtung von elektrischen Verbindungen zwischen leitfähigen Teilen zur Herstellung des Potentialausgleichs

3.27

Steuerparameter

Kontrollgröße, mit der der Anziehvorgang beendet wird

3.28

Überwachungsparameter

Messgröße, die zu Überwachungszwecken verwendet wird

3.29

direkt gemessener Parameter

Messgröße ohne zusätzliche physikalische Umwandlung

Anmerkung 1 zum Begriff: Der Steuerungs-/Überwachungsparameter wird mit einem rückführbaren, kalibrierbaren Sensor gemessen, der in das Schraubwerkzeug oder Schraubsystem integriert ist und der unabhängig vom Schraubvorgang Messsignale liefert.

3.30

indirekt gemessener Parameter

Steuer- oder Regelgröße, die nicht direkt gemessen wird

Anmerkung 1 zum Begriff: Z. B. Strom- oder Druckabschaltung ohne Messung bis zum Stillstand der Spindel.

3.31

handbetätigtes Befestigungswerkzeug

Befestigungswerkzeug, das nicht angetrieben ist

Anmerkung 1 zum Begriff: Ein Beispiel für ein handbetätigtes Befestigungswerkzeug ist ein manueller Drehmomentschlüssel.

3.32

handgehaltenes Anziehsystem

motorisch angetriebenes Schraubsystem, bei dem der Bediener das Reaktionsmoment unterstützt

Anmerkung 1 zum Begriff: Die permanente Bestätigung erfolgt durch eine taktile Rückmeldung an den Benutzer.

3.33

handgeführtes Anziehsystem

motorisch angetriebenes Schraubsystem, bei dem der Bediener das Reaktionsmoment nicht unterstützt

Anmerkung 1 zum Begriff: Diese Definition schließt auch vollautomatische Robotersysteme ein.

3.34

Leistungsklasse

klassifizierte Streuung der Steuerungsparameter

3.35

Drehmomentschlüssel

handgehaltenes Werkzeug zur Anzeige oder Einstellung des Drehmoments

Anmerkung 1 zum Begriff: Ein Werkzeug gilt als handgehaltenes Werkzeug nach EN ISO 6789 (Serie) Typ I und Typ II.

3.36

Qualitätsprozess

Maßnahmen, die sicherstellen, dass das Montageergebnis den Anforderungen entspricht

3.37

Abdeckung

Anteil der Artikel in einer Grundgesamtheit, der innerhalb eines statistischen Toleranzintervalls liegt

3.38

Grundgesamtheit

Gesamtheit der betrachteten Einzelwerkstoffe oder -artikel

3.39

Normalgrundgesamtheit

normalverteilte Grundgesamtheit

3.40

statistisches Toleranzintervall

Intervall, das aus einer Zufallsstichprobe so bestimmt wird, dass man ein bestimmtes Vertrauensniveau hat, dass das Intervall mindestens einen bestimmten Anteil der Grundgesamtheit der Stichprobe abdeckt

Anmerkung 1 zum Begriff: Das Vertrauensniveau ist in diesem Zusammenhang der langfristige Anteil der auf diese Weise konstruierten Intervalle, die mindestens den angegebenen Anteil der Grundgesamtheit der Stichprobe umfassen.

3.41

statistische Toleranzgrenze

Statistik, die einen Endpunkt eines statistischen Toleranzintervalls darstellt

Anmerkung 1 zum Begriff Statistische Toleranzintervalle dürfen entweder einseitig sein (wobei eine der Grenzen an der natürlichen Grenze der Zufallsvariablen liegt), in diesem Fall haben sie entweder eine obere oder eine untere statistische Toleranzgrenze, oder zweiseitig, in diesem Fall haben sie beide.

3.42

Zufallsvariable

Variable mit einem beliebigen Wert aus einer bestimmten Menge von Werten

3.43

Stichprobe

ein oder mehrere Elemente, die aus einer Grundgesamtheit entnommen werden und vorgesehen sind, Informationen über die Grundgesamtheit zu liefern

3.44

Verteilungsfunktion

Funktion, die für jeden Wert x die Wahrscheinlichkeit angibt, dass die Zufallsvariable X kleiner als oder gleich x ist

3.45

Schätzung

Vorgang, der darauf abzielt, ausgehend von den in einer Stichprobe beobachteten Werten den Parametern einer Verteilung, der diese Stichprobe entnommen wurde, numerische Werte zuzuordnen

4 Symbole und Abkürzungen

In Tabelle 1 werden die in dieser Norm verwendeten Symbole und Abkürzungen aufgeführt.

Tabelle 1 — Symbole und Abkürzungen

Symbol	Einheit	Bezeichnung
α_A	—	Anziehungsfaktor
γ_L	—	Lastsicherheitsfaktor
μ_b	—	Reibwert unter Schraubenkopf oder Mutter
μ_{tot}	—	Gesamtreibwert
$\mu_{tot,max,lub}$	—	Höchstwert der Streuung der Gesamtreibung bei geschmierten Verbindungen
$\mu_{tot,max,unlub}$	—	Höchstwert der Streuung der Gesamtreibung bei ungeschmierten Verbindungen
$\mu_{tot,min,lub}$	—	Mindestwert der Streuung der Gesamtreibung bei geschmierten Verbindungen
$\mu_{tot,min,unlub}$	—	Mindestwert der Streuung der Gesamtreibung bei ungeschmierten Verbindungen
μ_{th}	—	Reibwert im Gewinde
μ_{int}		Reibwert in der Grenzfläche

Symbol	Einheit	Bezeichnung
μ	—	Mittelwert: Summe aller Daten in einer Grundgesamtheit geteilt durch die Anzahl der Beobachtungen
μ_i	—	Grundgesamtheitsmittelwert der i-ten Grundgesamtheit (i = 1,2,...,m)
σ	N/mm ²	Spannung
σ	—	positive Quadratwurzel aus dem Mittelwert der quadrierten Standardabweichung vom Mittelwert einer Grundgesamtheit
σ_{eq}	N/mm ²	Vergleichsspannung in der Schraube unter Berücksichtigung der Axialspannung und der Torsionsspannung infolge des Anziehens mit Drehmoment
$\Delta\sigma$	N/mm ²	Ermüdungsgrenze als Spannungsschwingbreite
σ_a	N/mm ²	Ermüdungsgrenze als Spannungsamplitude
τ	N/mm ²	Scherspannung
τ_M	N/mm ²	Scherung durch Anzugsdrehmoment
τ_{BM}	N/mm ²	Scherfestigkeit des Werkstoffs des Innengewindes
ν	—	Auslastungsfaktor der Streckgrenzenspannung beim Anziehen
A	Mm	Effektive Kontaktfläche
CP	—	Leistungsklasse
Cbs		Abkürzung für Karosserien (en: “carbodies”)
D	Mm	Durchmesser
D	Mm	Nenndurchmesser eines Gewindes, der ISO 261 entspricht
d_0	Mm	Außendurchmesser des Hobelkopflagers
d_h	Mm	Durchmesser eines Durchgangslochs
d_k	Mm	Bohrergrößen für metrische Gewinde
E	Mm	Gewindeauslauf
e_1, e_2	Mm	Empfohlener Kantenabstand
F	N	Kraft
F_{ax}	N	Achslast
F_M	N	Vorspannung bei der Montage/beim Anziehen
F_{sh}	N	Scherlast
F_{Vmin}	N	Mindestvorspannung
HV	—	Vickers-Härte
T	Nm	Anziehdrehmoment
T_A	Nm	Nennanziehdrehmoment
F		Der Freiheitsgrad ist festgelegt als $f = m - n - 1$)
K	—	Faktor zur Bestimmung der unteren oder oberen Grenze des statistischen Toleranzintervalls

Symbol	Einheit	Bezeichnung
$k_C(n; p; -1 - \alpha)$	—	Faktor, der zur Bestimmung von x_L oder x_U verwendet wird, wenn die Werte von μ und σ für das einseitige statistische Toleranzintervall unbekannt sind. Das Suffix C wurde gewählt, weil dieser k-Faktor in ISO 16269-6:2014, Anhang C, tabellarisch aufgeführt ist.
$k_D(n; m; p; -1 - \alpha)$	—	Faktor, der zur Bestimmung von x_{Li} und x_{Ui} ($i = 1, 2, \dots, m; m \geq 2$), wenn die Werte der Mittelwerte μ_i und der Wert des gemeinsamen σ für die m zweiseitigen statistischen Toleranzintervalle unbekannt sind. Das Suffix D wurde gewählt, weil dieser k-Faktor in der ISO 16269-6:2014, Anhang D, tabellarisch aufgeführt ist.
m_{eff}	Mm	Effektive Einschraubtiefe
M		Anzahl der Stichproben in der Grundgesamtheit
N		Anzahl der Beobachtungen in einer Stichprobe
P	Mm	Gewindesteigung
p_1, p_2	Mm	Abstand
P	N/mm ²	Anpressdruck
P	%	Mindestanteil der Grundgesamtheit, von dem angenommen wird, dass er im statistischen Toleranzintervall liegt
R_m	N/mm ²	Zugfestigkeit
$R_{m,\text{max}}$	N/mm ²	Höchste Zugfestigkeit
$R_{p0,2}$	N/mm ²	Fließgrenze
R_{eH}	N/mm ²	Oberer Fließpunkt
S	—	geschätzte Standardabweichung einer Stichprobe: positive Quadratwurzel aus der mittleren quadrierten Standardabweichung vom Mittelwert einer Stichprobe.
s_i	—	Stichprobenstandardabweichung der i-ten Stichprobe
s_p	—	Standardabweichung der zusammengefassten Stichprobe von m Stichproben mit jeweils n Beobachtungen
s_c	—	Drehmomentstreuung
T	Mm	Blechdicke oder Höhe eines geometrischen Abschnitts (z. B. Mindesttiefe (t) der Senkung)
u_p		p-Fraktile der standardisierten Normalverteilung
$u(x_i)$	—	Die Unsicherheit der einzelnen Eingangsparameter ist $u(x_i)$
$u(y)$	—	Die Unsicherheiten der einzelnen Eingangsparameter $u(x_i)$ führen zu einer Gesamtunsicherheit $u(y)$ des Ausgangsparameters $y = f(x_i)$ in Abhängigkeit von den Eingangsparametern x_i
		Die Beziehung zwischen $u(x_i)$ und der Gesamtunsicherheit $u(y)$ kann durch das Gesetz der Unsicherheitsfortpflanzung ausgedrückt werden
V		Normalverteilte Variable

Symbol	Einheit	Bezeichnung
$f(v)$		Dichtefunktion einer normalverteilten Variablen (Gaußsche Glockenkurve)
v_1, v_2	Mm	Minimaler Gewindeüberstand
X_i	—	Die Eingangsgrößen mit $i = 1, \dots, m$, wobei m die Anzahl der Eingangsgrößen ist
x_i		Eingabeparameter
x_L	—	untere Grenze des statistischen Toleranzintervalls für Einzelgrundgesamtheit, einseitiges Toleranzintervall oder zweiseitiges Toleranzintervall
x_U	—	obere Grenze des statistischen Toleranzintervalls für Einzelgrundgesamtheit, einseitiges Toleranzintervall oder zweiseitiges Toleranzintervall
x_j	—	j-ter beobachteter Wert
x_{ij}	—	j-ter beobachteter Wert ($j = 1, 2, \dots, n$) der i-ten Stichprobe ($i = 1, 2, \dots, m$)
$x_{\max}$	—	Höchstwert der beobachteten Werte: $x_{\max} = \max \{x_1, x_2, \dots, x_n\}$
$x_{\min}$	—	Mindestwert der beobachteten Werte: $x_{\min} = \min \{x_1, x_2, \dots, x_n\}$
$\bar{x}$	—	Stichprobenmittelwert: Summe aller Daten in einer Stichprobe geteilt durch die Anzahl der Beobachtungen
y		Ausgabeparameter $y = f(x_i)$
Y	—	Y ist eine Funktion der Mengen X_i : $Y = f(X_1, \dots, X_m)$ Es kann ausgedrückt werden als $Y = y \pm u(y)$
$1 - \alpha$	%	Vertrauensniveau: Wahrscheinlichkeit, die mit einem statistischen Toleranzintervall verbunden ist
Indices		
M		Montagezustand
min		Mindestwert
max		Höchstwert

5 Personalkompetenz

Alle Personen, die mit dem Thema Schraub- und Anziehtechnik zu tun haben, müssen regelmäßig qualifiziert werden.

Die Qualifizierung sollte folgende Inhalte umfassen und kann an die Rolle der Personen im jeweiligen Verschraubungsprozess angepasst werden (z. B. Konstruktion, Einkauf, Fertigungsplanung, Montage, Qualität). Sie sollte eine grundlegende Erläuterung der Funktionsweise einer Schraubverbindung einschließlich Vorspannung und Klemmung der verbundenen Teile beinhalten:

- Verschiedene Schraubenwerkstoffe: Woran sind sie zu erkennen und welche Folgen hat die Verwendung eines falschen Schraubenmaterials (Werkstoffklasse, Härte)?;

- Schraubenbeschichtung und Schmierung: Was sind die Folgen von zu hoher und zu niedriger Reibung?;
- Anwendung des Montagedrehmoments: Position des Personals beim Anziehen, kontinuierliche Anwendung des Drehmoments;
- Anzugswerkzeuge. Unterschiede zwischen den verschiedenen Werkzeugtypen (z. B. Druckluftschrauber, Handwerkzeuge, Elektrowerkzeuge);
- Unterschiede zwischen den drei Sicherheitsstufen mit Erläuterung von Versagensfolgen und besonderen Anforderungen an die Montage von Schraubverbindungen der Sicherheitsstufe H und der Sicherheitsstufe M;
- Setzen und einfache Beispiele, wie Farbe, Schmutz, Fremdkörper, Bearbeitungsspäne, Oberflächenrauigkeit usw. zum Lösen der Verbindung führen können.
- Qualität des Gewindes und Erkennen von einfachen Bearbeitungsproblemen des Gewindes.

ANMERKUNG VDI 2637-1 stellt Hinweise zur Qualifizierung bereit.

6 Definition des Sicherheitsniveaus

6.1 Allgemeines

Ein Sicherheitsniveau muss für jede Schraubverbindung festgelegt werden.

Je nach Sicherheitsniveau müssen unterschiedliche Maßnahmen ergriffen werden, um die Funktionsfähigkeit der Verbindung zu gewährleisten.

Es werden drei Sicherheitsniveaus definiert:

- Hoch = H;
- Mittel = M;
- Niedrig = L.

Wenn Normen andere Empfehlungen für die Anwendung von Schweregraden und folglich Sicherheitsniveaus geben, sollten die Schweregrade und/oder Sicherheitsniveaus aus diesen Normen angewendet werden (z. B. EN 14033-1:2017, Anhang K für Spezialfahrzeuge).

6.2 Sicherheitsniveau einer mechanischen Verbindung

6.2.1 Schweregrad

Die Schweregrade werden in Abhängigkeit von den Folgen des befürchteten Ereignisses definiert. Der Schweregrad steht in keinem Zusammenhang mit der Konstruktion einer Schraubverbindung (z. B. großer Durchmesser, geringe Auslastung).

Tabelle 2 — Definition des Schweregrades

Schweregrad		Folgen für Personen oder Umgebung	Folgen für den Betrieb
1	katastrophal	Todesopfer und/oder eine große Zahl von Schwerverletzten und/oder schwere Umgebungsschäden	
2	kritisch	einzelner Todesfall und/oder schwere Verletzungen und/oder erhebliche Umgebungsschäden	Ausfall eines wichtigen Systems oder schwere Beschädigung eines Systems, die zum Stillstand des Schienenfahrzeugs führt
3	marginal	kleine Verletzungen und/oder kleine Schäden an der Umgebung	Beschädigung eines Systems, trotz dieser Beschädigung kann das Fahrzeug die Fahrt fortsetzen oder kann nach einem Eingriff die Fahrt mit Einschränkungen fortsetzen
4	unerheblich	mögliche, kleine Verletzungen oder Komforteinbußen für Passagiere/Gegenstände	Kleine Beschädigung eines Systems
ANMERKUNG Diese Tabelle entspricht DIN EN 50126. Die Anwendung dieser Norm führt zu einer unwahrscheinlichen Häufigkeit des Auftretens. Daher wird die Häufigkeit des Auftretens bei der Definition des Sicherheitsniveaus nicht berücksichtigt.			
BEISPIEL Wenn der Sturz eines Geräts, z. B. durch Entgleisung, zu Personenschäden führen kann, wird der Schweregrad dieses Ereignisses mit 1 - katastrophal definiert.			

Der Schweregrad für mechanische Verbindungen muss in Abhängigkeit von der Lage, der Funktion und der Masse der Baugruppe bewertet werden.

Wenn die Klassifizierung einer Schraubverbindung nicht eindeutig ist, sollte eine FMEA (z. B. nach DIN EN 60812) durchgeführt werden.

In B.3 ist ein Flussdiagramm zur Bestimmung des Schweregrades einer bestimmten Schraubverbindung dargestellt.

6.2.2 Sicherheitsklasse

Die Befestigung von Ausrüstung kann auf unterschiedliche Weise gestaltet werden. Die in Tabelle 3 dargestellten Klassen A und B werden nach dem Beitrag dieses Bruchs zum gefürchteten Ereignis definiert.

Tabelle 3 — Sicherheitsklasse

Klasse	Beschreibung
A	Für Objekte, deren Bruch das gefürchtete Ereignis direkt verursacht
B	Bei Objekten, bei denen 2 oder mehr unabhängige Brüche das gefürchtete Ereignis verursachen

Je nach gewählter Konstruktion darf der Beitrag der Teile oder der Baugruppe zur Schraubverbindung höher oder niedriger sein. Eine Schraubverbindung kann als Klasse B eingestuft werden, wenn zwei verschiedene Lastpfade die Funktion erfüllen können (z. B. Schraube plus Absturzsicherung). Die Festigkeit des zweiten unabhängigen Belastungspfads muss nachgewiesen werden.

Die Mehrfachverwendung desselben Verbindungselements darf nicht als Redundanz betrachtet werden. Dadurch wird der gemeinsame Versagensmodus nicht vermieden.

6.2.3 Sicherheitsniveau

Tabelle 4 gibt die Sicherheitsniveaus abhängig von Schweregrad und Sicherheitsklasse des Bauteils oder der Baugruppe an.

Tabelle 4 — Sicherheitsniveau mechanischer Verbindungen

Sicherheitsniveau		Sicherheitsklasse	
		A	B
Schweregrad	1	H	M
	2	M	M
	3	M	L
	4	L	L
ANMERKUNG Beispiele sind in Anhang B und für Sondermaschinen nach EN 14033-1:2017 in Anhang E aufgeführt.			

6.3 Sicherheitsniveau einer elektrischen Verbindung

6.3.1 Sicherheitsniveau Hoch (H)

Eine unmittelbare oder mittelbare Gefahr für Leib und Leben und/oder eine Betriebsgefahr ist durch den Ausfall einer elektrischen Schraubverbindung gegeben.

Dem Sicherheitsniveau H sollten elektrische Schraubverbindungen zugeordnet werden, die sich

- an Bord befinden, ständig unter Spannung stehen und ungeschützt sind (z. B. Verbindung zwischen Batterie und Batterieauptsicherung, Stromabnehmer und Hauptschalter), oder
- in Starkstromleitungen mit mehr als 20 kW Leistung und einer Schraubverbindung befinden, oder
- in Potentialausgleichssystemen eines TN-C-Netzes (Potentialausgleich und Rückströme, PEN-Leiter) befinden, oder
- in mindestens zwei Schutzausgleichswegen des Hauptschutzausgleichs zwischen einer Fahrzeugkarosserie und den Schutzleitern der festen Installation nach EN 50153:2014, 6.4.3 befinden.

ANMERKUNG Definitionen für Starkstromleitungen werden nach EN 45545-1 vorgenommen.

6.3.2 Sicherheitsniveau Mittel (M)

Eine unmittelbare oder mittelbare Gefahr für Leib und Leben und/oder eine Betriebsgefahr ist durch den Ausfall einer elektrischen Schraubverbindung nicht gegeben (z. B. ist ein unterbrochener Potentialausgleich erst dann gefährlich, wenn ein sekundärer Isolationsfehler auftritt).

Die Sicherheitsstufe M für Schraubverbindungen mit elektrischer Anwendung umfasst alle Verbindungen, die nicht unter die Sicherheitsstufe H nach 6.3.1 oder L nach 6.3.3 fallen.

Darüber hinaus werden Schraubverbindungen mit elektrischem Anschluss der Sicherheitsstufe M zugeordnet, wenn entweder

- ein Versagen zu einer Fehlfunktion des Fahrzeugs führt,
- Verbindungen der hohen Sicherheitsstufe (6.3.1) redundant ausgeführt sind, oder
- Potentialausgleichssysteme unter normalen Betriebsbedingungen keine Ströme führen.

6.3.3 Sicherheitsniveau Niedrig (L)

Schraubverbindungen in elektrischen Leitungen, die keine Schutzerdung darstellen, nicht Teil der Umsetzung einer Sicherheits-Integritätslevel-Funktion sind und

- Niederspannung führen (z. B. Signalleitungen) oder
- aus Gründen der elektromagnetischen Verträglichkeit Funktions- oder Potenzialausgleichssysteme darstellen.

6.4 Anforderungen in Abhängigkeit vom Sicherheitsniveau

6.4.1 Mechanische Verbindungen

Tabelle 5 fasst die Anforderungen an mechanische Verbindungen in Abhängigkeit vom Sicherheitsniveau zusammen.

Tabelle 5 — Anforderungen an mechanische Verbindungen

Sicherheitsniveau	Hoch	Mittel	Niedrig	Unterabschnitt
Konstruktionsanforderungen	Berücksichtigung gemeinsamer Konstruktionsregeln für Schraubenverbindungen			7.1
Konstruktionsdokumente	detaillierte und eindeutige Bezeichnung der zu verwendenden Elemente (z. B. Material, Oberflächenbehandlung, Schmierung, relevante Installationsparameter)			7.6
Verfahren zur Sicherung	Siehe 0			0
Korrosionsschutz	Siehe 7.4			7.4
Festigkeitsnachweis	Obligatorisch ^a		Nicht obligatorisch	7.2
Dokumentation des Festigkeitsnachweises	Obligatorisch	Obligatorisch	Nicht obligatorisch	7.2
Informationen zur Montage in technischen Unterlagen	Obligatorisch	Obligatorisch	Nicht obligatorisch	7.6, 8.3.3
Montageprotokoll	Obligatorisch	Nicht obligatorisch	Nicht obligatorisch	8.7
Qualitätsprozess	Obligatorisch	Obligatorisch	Nicht obligatorisch	8.6
Lebensdauerinspektion	Obligatorisch	Nicht obligatorisch	Nicht obligatorisch	8.9
^a nach Richtlinien/Normen zur Festigkeitsberechnung von mechanischen Schraubverbindungen (z. B. NF-E 25-030-2 oder VDI 2230) und/oder durch Prüfung.				

Ist die Anforderung nicht obligatorisch, wird empfohlen, eine unabhängige Gegenprüfung der Verbindung auf der Grundlage von Erfahrungen oder groben Schätzungen durchzuführen.

Nachweisanforderungen für Sicherheitsniveau und Schweregrad können in Normen für spezielle Anwendungen festgelegt werden; für Sondermaschinen sollte z. B. DIN EN 14033-1:2017, Anhang K verwendet werden.

6.4.2 Elektrische Verbindungen

Tabelle 6 fasst die Anforderungen an elektrische Verbindungen in Abhängigkeit vom Sicherheitsniveau zusammen.

Tabelle 6 — Anforderungen an elektrische Verbindungen

Sicherheitsniveau	Hoch	Mittel	Niedrig	Unterabschnitt
Konstruktionsanforderungen	Berücksichtigung gemeinsamer Konstruktionsregeln für elektrische Verbindungen			7.1, 7.3
Konstruktionsdokumente	detaillierte und eindeutige Bezeichnung der zu verwendenden Elemente (z. B. Material, Oberflächenbehandlung, Schmierung, relevante Installationsparameter)			7.3
Verfahren zur Sicherung	siehe 0			0
Korrosionsschutz	siehe 7.4			7.4
Bemessung	nach EN 50343	nach EN 50343	empfohlen	7.3
Festigkeitsnachweis	nicht obligatorisch	nicht obligatorisch	nicht obligatorisch	—
Informationen zur Montage in technischen Unterlagen	obligatorisch	obligatorisch	nicht obligatorisch	7.6, 8.3.3
Montageprotokoll	obligatorisch	nicht obligatorisch	nicht obligatorisch	8.7
Qualitätsprozess	obligatorisch	obligatorisch	nicht obligatorisch	8.6
Lebensdauerprüfung	obligatorisch	nicht obligatorisch	nicht obligatorisch	8.9

Nachweisanforderungen für Sicherheitsniveau und Schweregrad dürfen in Normen für spezielle Anwendungen festgelegt werden; für Sondermaschinen sollte z. B. DIN EN 14033-1:2017, Anhang K verwendet werden.

7 Konstruktion

7.1 Konstruktionsregeln

7.1.1 Allgemeines

Bei den Konstruktionsregeln handelt es sich um Empfehlungen zur Bestimmung der Verbindungselemente und Bereitstellung von Anforderungen an die angeschlossenen Bauteile.

7.1.2 Gewinde

Die Abmessungen des Gewindes und der Verbindungselemente müssen dem metrischen System entsprechen.

Es muss ein metrisches ISO-Gewinde der Serie 1 mit Standardgewinde nach ISO 261 verwendet werden. Für die Abmessungen des Gewindes muss die Toleranzklasse mittel nach ISO 965-1 verwendet werden, d. h. die Toleranzklasse 6g/6H.

Die Dicke der Beschichtungen ist gemäß den einschlägigen Normen zu berücksichtigen (z. B. EN ISO 10683 für Zinklamellenbeschichtungen oder EN ISO 4042 für galvanische Beschichtungen).

7.1.3 Schrauben und Muttern

Für Standardanwendungen müssen vorzugsweise Schrauben nach EN ISO 4017 oder EN ISO 4014 gewählt werden. Die Muttern müssen vorzugsweise nach EN ISO 4032 gewählt werden. Die Muttern mit dem vorherrschenden Drehmoment müssen nach EN ISO 7040 oder EN ISO 7042 gewählt werden. Für spezifische Anwendungen sind auch andere Schraubentypen zulässig (z. B. Senkkopf).

Grundsätzlich ist die Form des Mitnehmerelements für die Drehmomentaufbringung von Verbindungselementen vorzugsweise als Innen- oder Außensechskant sowie als Innensechsrund auszuführen. Tabelle 7 enthält einschlägige Normen für die Abmessungen von Mitnehmern zur Drehmomentübertragung.

Tabelle 7 — Form des Mitnehmerelements

Form	Norm
Außensechskant	EN ISO 4014, EN ISO 4017
Innensechskant	EN ISO 4762
Innensechsrund	EN ISO 10664

7.1.4 Mechanische Eigenschaften von Verbindungselementen

Die mechanischen Eigenschaften von Schrauben und Muttern müssen mit den Lieferbedingungen der einschlägigen Normen übereinstimmen. Tabelle 8 enthält Empfehlungen für die mechanischen Eigenschaften von Verbindungselementen, die in mechanischen und elektrischen Verbindungen verwendet werden.

Tabelle 8 — Mechanische Eigenschaften

	Kohlenstoffstahl	Nichtrostender Stahl
Schraube	ISO 898-1	EN ISO 3506-1
Mutter	ISO 898-2	EN ISO 3506-2
Bevorzugte Eigenschaftsklasse	8.8 / 8	A2-70

Höhere Festigkeitsklassen wie 10.9 für Verbindungselemente aus Kohlenstoffstahl oder Klasse 80 für Verbindungselemente aus nichtrostendem Stahl dürfen verwendet werden. Schrauben der Festigkeitsklasse 12.9 müssen wegen ihrer geringen Duktilität und der Neigung zu wasserstoffinduziertem Sprödbbruch vermieden werden.

ANMERKUNG Das Aufbringen bestimmter Oberflächenschutzmittel (z.B. galvanische oder feuerverzinkte Beschichtungen) kann zu wasserstoffinduziertem Sprödbbruch von Schrauben aus Kohlenstoffstahl mit höheren Festigkeitsklassen oder zu Flüssigmetallversprödung führen.

Um das Konstruktionsprinzip einer Schraubenverbindung zu gewährleisten, muss die Festigkeitsklasse der Mutter mit der Festigkeitsklasse der Schraube übereinstimmen. Die Güteklasse der Mutter darf höher sein als die Festigkeitsklasse der Schraube, aber niemals umgekehrt.

Verbindungselemente aus nichtrostendem Stahl müssen aus austenitischem nichtrostendem Stahl der Güteklasse A2 hergestellt werden. Es dürfen auch Verbindungselemente der Güteklasse A4 verwendet werden.

Für Unterlegscheiben sollte die Mindesthärte nach Tabelle 9 verwendet werden. Der Werkstoff der Unterlegscheibe sollte dem Werkstoff der Schrauben entsprechen.

Tabelle 9 — Härte von Unterlegscheiben

Güteklasse	Mindesthärte der Unterlegscheiben
Nichtrostender Stahl 70 und 80	200 HV
8.8	200 HV
10.9	300 HV
12.9	380 HV
NOTE Weitere Informationen können ISO 898-3 entnommen werden.	

7.1.5 Konstruktion des Bauteils

Die Konstruktions- und Fertigungsverfahren müssen sicherstellen, dass die Kontaktflächen unter Schraubenkopf und Mutter parallel zueinander und senkrecht zur Schraubenachse verlaufen. Abweichungen verursachen zusätzliche Biegespannungen in der Schraube und können daher die Ermüdungsfestigkeit verringern. Tabelle 10 und Tabelle 11 enthalten Empfehlungen für Toleranzen bei Größe und Form einer Schraubenverbindung. Werden größere Toleranzen angewendet, muss der Einfluss auf die Festigkeit der Verbindung geprüft werden.

Tabelle 10 — Toleranzen der Schraubverbindung

Durchgangsverbindung

Gewindeverbindung weitere Abmessungen wie bei der Durchgangsverbindung

Neenndurchmesser	Empfohlener Mindestabstand	Positionstoleranz für Löcher mit Niveau m		Höchste Abweichung von der Rechtwinkligkeit	Höchste Rauheit Ra
D	C^a Mm	$\varnothing x^b$ mm	$\varnothing y^c$ mm	r^d mm	Z μm
M4	6	0,5	0,25	0,04	3,2
M5	7,5	0,5	0,25	0,08	
M6	9	0,6	0,3	0,08	
M8	12	1	0,5	0,09	
M10	15	1	0,5	0,11	
M12	18	1,5	0,75	0,13	
M16	24	1,5	0,75	0,17	
M20	30	2	1	0,21	6,3
M24	36	2	1	0,25	
M30	45	3	1,5	0,32	
M36	54	3	1,5	0,38	

^a Wird der empfohlene Kantenabstand nicht eingehalten, kann mit einer außermittig verschraubten Verbindung gerechnet werden.

^b $x = d_{1\min} - d$.

^c $y = (d_{1\min} - d) / 2$.

^d r ist mit einer Abweichung von der Rechtwinkligkeit von 1° verbunden

Die Grenzflächen der einzelnen Bauteile, insbesondere bei einer Mehrfachschraubverbindung, müssen ausreichend eben sein. Nach dem Anziehen der Schrauben muss der Grenzflächenspalt geschlossen werden. Es muss vermieden werden, die gesamte Vorspannung zum Schließen des Spalts aufzubringen.

Empfehlungen für die Ebenheit der Grenzfläche eines Bauteils sind in Tabelle 11 in Abhängigkeit von der Größe der Grenzfläche angegeben. Bei geschweißten Bauteilen muss die geforderte Ebenheit nach dem Schweißvorgang erreicht werden.

Tabelle 11 — Toleranzen der Grenzflächen in mm

Toleranz	Wert	Größe der Grenzfläche
Ebenheit	2	2 000 × 2 000
	0,5	200 × 200

7.1.6 Belastbarkeit einer Schraubverbindung

Die Belastbarkeit einer Schraubenverbindung kann durch den Lastfaktor Φ ausgedrückt werden. Der Lastfaktor ist das Verhältnis zwischen der Belastbarkeit der Schraube und der Belastbarkeit der eingespannten Bauteile und drückt somit den Anteil einer auf eine Schraubenverbindung wirkenden äußeren Belastung aus, der von der Schraube selbst aufgenommen wird.

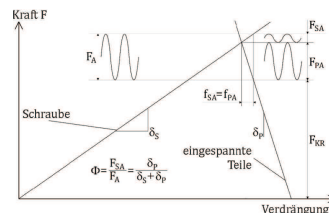


Bild 1 — Verbindungsdiagramm und Lastfaktor

Ziel einer sachgerechten Konstruktion einer Schraubverbindung ist es, die zusätzliche Belastung in der Schraube, die durch eine äußere Lasteinwirkung auf die Schraubverbindung verursacht wird, zu minimieren. Dies wird durch die Minimierung des Lastfaktors erreicht, indem die Elastizität der Schraube erhöht und die Elastizität der eingespannten Bauteile verringert wird.

Die Elastizität einer Schraubverbindung kann durch Vergrößerung der Klemmlänge der Schraubverbindung oder durch Hinzufügen von Federscheiben erhöht werden.

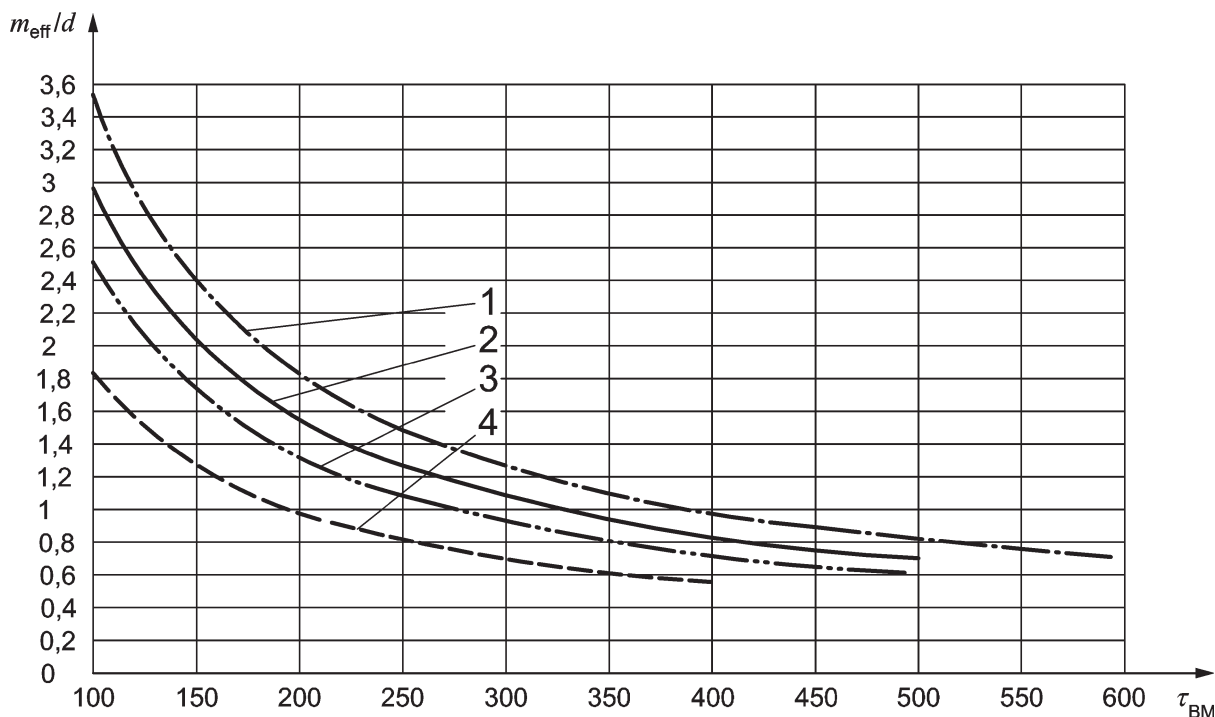
Es wird empfohlen, dass die Klemmlänge der montierten Komponenten zwischen dem 3- und 5-fachen des Schraubendurchmessers liegen sollte. Kurze Schraubverbindungen können angemessen funktionieren, wenn die Auslastung des Verbindungselements und die Vorspannung groß genug sind. Die Vorteile der Vergrößerung der Klemmlänge sind:

- der Außendurchmesser des Verformungskegels in den Schnittstellen nimmt relativ zu;
- bessere Duktilität der Schraube und der eingespannten Teile;
- die äußere Axialkraft verteilt sich bei eingespannten Bauteilen stärker auf Druck als auf Zug, wodurch eine höhere Schraubenreserve erreicht wird;
- der Vorspannungsverlust durch Setzen ist geringer.

Allerdings bedeutet eine Vergrößerung der Klemmlänge auch eine größere Entlastung der Bauteile (Restklemmkraft).

7.1.7 Einschraubtiefe

Das Konstruktionsprinzip ist, dass die überlastete Schraube im Bereich des frei belasteten Gewindes oder im Schaft bricht. Die effektive Einschraubtiefe m_{eff} in Abhängigkeit vom Schrauben-Nenn Durchmesser d , der Scherfestigkeit des Innengewindewerkstoffs τ_{BM} und der Güteklasse kann näherungsweise aus Bild 2 entnommen werden.



Legende

m_{eff}/d Referenzierte Mindesteinschraubtiefe

τ_{BM} Scherfestigkeit des Innengewindewerkstoffs in N/mm^2

- 1 Güteklasse 10.9
- 2 Güteklasse 8.8 (80)
- 3 Güteklasse 70
- 4 Güteklasse 50

Bild 2 — Standardwerte für die referenzierte effektive Mindesteinschraubtiefe m_{eff}/d

Die Diagramme in Bild 2 sind zutreffend für:

- duktiles Material, das eine vollständige Plastifizierung des Muttergewindes ermöglicht;
- Abstand Mitte Bohrung bis Kante $> 0,95 d$ und "Mutter-Außendurchmesser" $> 1,9 d$;
- Gewindetoleranz 6g/6H;
- Regelgewinde M4 bis M24 für Güteklasse 70 und Güteklasse 80 nach EN ISO 3506-1 oder Regelgewinde M4 bis M39 für Güteklasse 50 nach EN ISO 3506-1 und Güteklassen 8.8, 10.9 nach EN ISO 898-1;
- Schraubenbruchkraft berechnet mit Zugspannungsquerschnitt bei Nenngröße $R_{m,\text{max}} = (8.8, 80: 1\,000 \text{ N/mm}^2, 10.9: 1\,200 \text{ N/mm}^2, 50: 600 \text{ N/mm}^2, 70: 840 \text{ N/mm}^2)$.

Die Scherfestigkeitswerte τ_{BM} können auf der Grundlage der Zugfestigkeit R_m und des Scherfestigkeitsverhältnisses τ_B/R_m ermittelt werden. Beispiele für das Scherfestigkeitsverhältnis τ_B/R_m sind in Tabelle 12 aufgeführt.

Tabelle 12 — Scherfestigkeitsverhältnis

Werkstofftyp		Scherfestigkeitsverhältnis τ_B/R_m
Konstruktionsstahl		0,8 bis 0,85
Wärmebehandelbarer Stahl		0,65 bis 0,85
Einsatzstahl		0,85 bis 1,0
Gussstahl		0,8
Austenit (lösungsgeglüht)		0,8
Austenit F90/60		0,65 bis 0,75
Gusseisen	GJL	1,15
	GJS	0,9
Aluminium	Guss	0,52
	schmiedbar	0,6

Das in Bild 2 dargestellte Diagramm ermöglicht die grafische Abschätzung der Mindesteinschraubtiefe von Schraubverbindungen. Alternativ kann die Mindesteinschraubtiefe auch nach den allgemein üblichen Richtlinien für mechanische Schraubverbindungen berechnet werden.

Bei der effektiven Mindesteinschraubtiefe m_{eff} werden Senkungen, Fasen, unvollständige Gewindebereiche und nicht voll belastbare Teile des Gewindes nicht berücksichtigt.

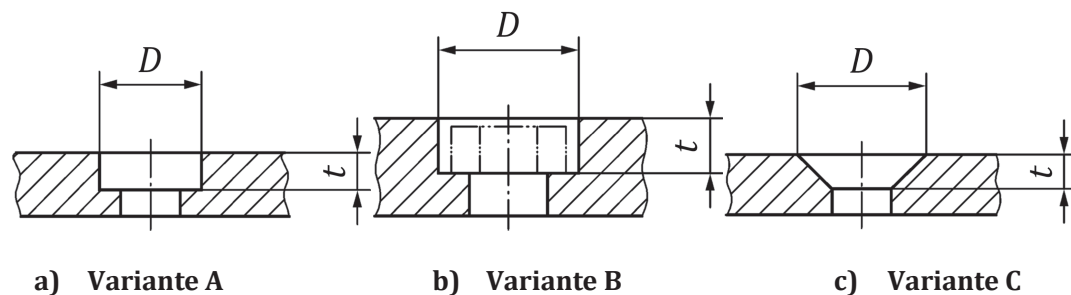


Bild 3 — Einschrauben, unterschiedliche Konstruktionslösungen

Die erforderliche Gesamteinschraubtiefe m_{tot} wird aus der effektiven Einschraubtiefe m_{eff} (tragende Gewindelänge) und den vorhandenen konstruktiven Randbedingungen berechnet.

Die letzten beiden Gewindegänge einer Schraube sind unvollständig (siehe z. B. EN ISO 4014). Bei nicht spezifizierten Fasen der Bauteile dürfen diese mit einer Länge von $1,0 P$ angenommen werden. Die Dickentoleranzen der Bauteile und die Dicke möglicher Unterlegscheiben müssen ebenfalls berücksichtigt werden.

Die Mindesteinschraubtiefe m_{tot} für die Einsteckschraubverbindung ("Sacklöcher" Variante A + Variante B in Bild 3) beträgt

$$m_{\text{tot}} = m_{\text{eff}} + 2 \cdot P + c + t$$

Dabei sind

c = Fasen

t = Toleranzen.

Bei Schraubverbindungen mit Muttern aus Konstruktionswerkstoffen (Variante C in Bild 3) beträgt die Mindesteinschraubtiefe m_{tot}

$$m_{\text{tot}} = m_{\text{eff}} + 2 \cdot c + t$$

Dabei sind

c = Fasen

t = Toleranzen.

Diese Beziehung gilt nur, solange die Schraube um $2,0 P$ nach DIN 78 übersteht (Bild 3, Variante C); andernfalls muss die Berechnungsbeziehung für Sacklöcher angewendet werden.

7.1.8 Fasen

Das Maß für die Eingangsfasen sollte 10 % des Bolzendurchmessers für die Tiefe betragen und der Winkel muss 45° betragen.

7.1.9 Gewindeüberstände

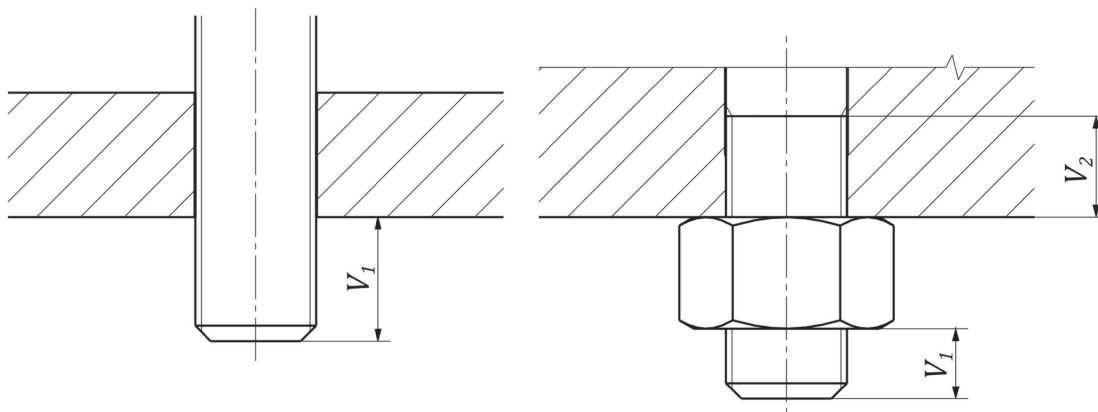


Bild 4 — Überstände

Der Mindestgewindeüberstand V_1 muss bei Standardmuttern (z. B. EN ISO 4032) größer als $2,0 P$ und bei Muttern mit hohem Drehmoment (z. B. EN ISO 7040, EN ISO 7042) größer als $3,0 P$ sein. V_1 darf bei Gewindeplatten reduziert werden, wenn der Festigkeitsnachweis des Eingriffs gegeben ist. Es wird empfohlen, die Länge des belasteten Gewindes V_2 größer als $6,0 P$ zu wählen.

ANMERKUNG Weitere Informationen zum Überstand sind in DIN 78 enthalten.

7.1.10 Durchgangsbohrung für Bolzen

Die Durchmesser und Toleranzen der Durchgangsbohrungen d_h für die Baureihen fein, mittel und grob sind in DIN EN 20273 angegeben (siehe Tabelle 13).

Die Abmessungen d_h für feine und mittlere Gewindeserien sind geeignet, um als Breite für Langlöcher verwendet zu werden. Ein direkter Kontakt der Auflageflächen von Schraubenkopf und Mutter mit der Schnittstelle von Langlöchern ist unzulässig. Bei Langlöchern ist die Verwendung von Unterlegscheiben mit entsprechender Dicke erforderlich. Um die Verringerung der Kontaktfläche zu kompensieren, insbesondere bei weichen Werkstoffen (z. B. Aluminium), kann die Verwendung dicker Unterlegscheiben eine Lösung sein.

Die durch den Schlitz bzw. den Verformungskegel reduzierte Kontaktfläche muss bei der Berechnung der Sicherheit gegen Flächenpressung berücksichtigt werden.

7.1.11 Senkbohrung/Senkung

In Tabelle 13 und Tabelle 14 sind die Durchmesser für Senkbohrungen und Senkungen angegeben. Die entsprechende Toleranzklasse für alle Durchmesser ist H13.

Tabelle 13 — Abmessungen für Durchgangsbohrungen und Senkbohrungen

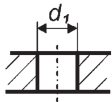
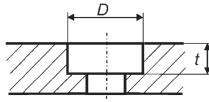
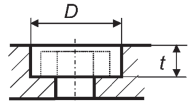
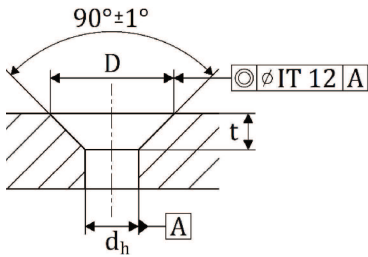
Gewinde- größe								
	Durchgangsbohrung nach EN 20273			Senkbohrung für Zylinderkopfschraube EN ISO 4762		Senkbohrung für Innensechskant EN ISO 4014 und EN ISO 4017 und Steckschlüsseinsätze nach ISO 2725-2		
	fein	mittel	grob			Schlüs- sel- größe		
	d_1	d_1	d_1	D	t_{min}	SW	D_{min}	t_{min}
M4	4,3	4,5	4,8	8	4,4	7	15	3,3
M5	5,3	5,5	5,8	10	5,4	8	18	4
M6	6,4	6,6	7	11	6,4	10	20	4,5
M8	8,4	9	10	15	8,6	13	26	6
M10	10,5	11	12	18	10,6	16	33	7,3
M12	13	13,5	14,5	20	12,6	18	36	8,3
M16	17	17,5	18,5	26	16,6	24	46	10,8
M20	21	22	24	33	20,6	30	54	13,5
M24	25	26	28	40	24,8	36	73	16,2
M30	31	33	35	50	31	46	82	20
M36	37	39	42	58	37	55	93	24
ANMERKUNG DIN 974-1 and DIN 974-2 stellen detaillierte Informationen bereit.								

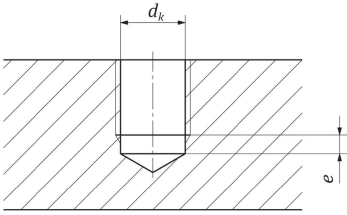
Tabelle 14 — Durchmesser für Senkungen

			
Gewindegröße	Durchmesser der Durchgangsbohrung ^a d_h [mm]	Senkung ^b	
		$D_{\min}$ [mm]	$t \approx$ [mm]
M2,5	2,9	5,5	1,35
M3	3,4	6,3	1,55
M4	4,5	9,4	2,55
M5	5,5	10,4	2,58
M6	6,6	12,6	3,13
M8	9	17,3	4,28
M10	11	20	4,65
M12	13,5	26 ^c	6,5 ^c
M16	17,5	32 ^c	7,5 ^c
M20	22	39 ^c	8,5 ^c
^a Durchmesser der Durchgangsbohrung nach EN 20273-M. ^b Abmessungen der Senkung nach EN ISO 15065, Baureihe mittel, Toleranz H13. ^c Nicht in EN ISO 15065 enthalten, berechnet durch den Kopfdurchmesser k von Senkkopfschrauben mit Innensechskant nach EN ISO 10642.			

7.1.12 Kernlochdurchmesser und Gewindeauslauf

Die Bohrergrößen d_k für metrische Gewinde entsprechen ISO 261 und die Grobsteigungsreihen ISO 2306. In Tabelle 15 sind die Durchmesser und die normale Länge für Ausläufe angegeben. Die entsprechende Genauigkeitsklasse für alle Durchmesser ist H13.

Tabelle 15 — Abmessungen für Kernlochdurchmesser und Gewindeauslauf

Gewinde nach ISO 261			
Gewindegröße	Steigung p	d_k	$E_{\min}$
M4	0,7	3,3	3,8
M5	0,8	4,2	4,2
M6	1	5	5,1
M8	1,25	6,8	6,2
M10	1,5	8,5	7,3
M12	1,75	10,2	8,3
M16	2	14	9,3
M20	2,5	17,5	11,2
M24	3	21	13,1
M30	3,5	26,5	15,2
M36	4	32	16,8
ANMERKUNG DIN 76-1 enthält weitere Ausführungen und Maße für den Gewindeauslauf			

7.1.13 Kantenabstände und Zwischenräume

Das Versagen der eingespannten Bauteile in Richtung quer zur Schraubenachse muss zuverlässig vermieden werden. Die empfohlenen Randabstände e_1 und e_2 sowie die Abstände p_1 und p_2 beziehen sich auf den Lochdurchmesser d_h der eingespannten Bauteile und gehen von der Lochachse aus:

- bis zu den Kanten $e_{1,\min}$ und $e_{2,\min} = 1,5 d_h$,
- zwischen den Bohrungen $p_{1,\min}$ und $p_{2,\min} = 1,5 d_h$.

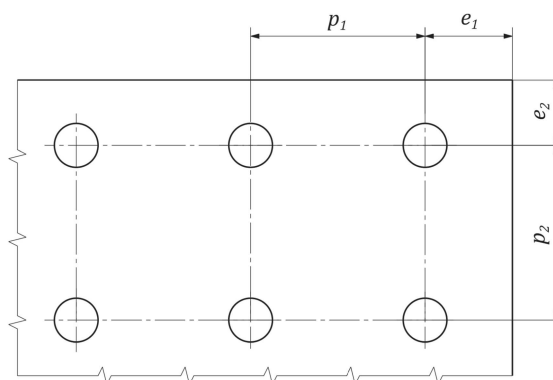


Bild 5 — Kantenabstand und Zwischenräume

Bei der Verwendung von Passschrauben muss der Kontakt zwischen dem Schraubenschaft und der Bauteilbohrung aufgrund von Fertigungstoleranzen und Verformungen sowie bei möglichem Gleiten in der Verbindung berücksichtigt werden. Der Sicherheitsnachweis gegen Schraubenlagerdruck basiert auf dem Scherquerschnitt unter der Annahme, dass die Querkräfte vollständig von den Schäften der Passschrauben aufgenommen werden. Der Auflagedruck in den Bohrungen muss ebenfalls nachgewiesen werden.

7.1.14 Zugänglichkeit für Werkzeuge und Anziehen

Bei der Konstruktion der Schraubverbindung muss die Zugänglichkeit der Schraubverbindung bei der Erstmontage und bei der Wiedermontage zu Wartungszwecken berücksichtigt werden. Bei Durchgangsverschraubungen muss die Zugänglichkeit auf beiden Seiten sichergestellt sein.

Dazu müssen zunächst die Montageverfahren für die Erst- und Wiedermontage sowie der Ort der Lasteinleitung des Anziehvorgangs (Mutter und / oder Schraubenkopf) bestimmt werden. Am Ort der Lasteinleitung muss ausreichend Bauraum freigehalten werden, damit das Montagewerkzeug angesetzt, gehandhabt und entfernt werden kann. Bei der Verwendung von Drehmomentschlüsseln ist bei der Handhabung ein ausreichender Bewegungsraum und eine gute Zugänglichkeit für die Drehbewegung des gesamten Werkzeugs erforderlich. Es sollte eine Drehbewegung von mindestens 60° ohne Unterbrechung möglich sein.

Bei Montagewerkzeugen, die eine Drehmomentabstützung erfordern (z.B. drehmomentgesteuertes Anziehen mit Hydraulikwerkzeug), muss ein geeigneter Abstützpunkt in der Nähe der Schraubverbindung vorgesehen werden.

Bei Durchsteckverbindungen muss die gegenüberliegende Seite der Lasteinleitung gegen Verdrehen gesichert werden. Außerdem muss ein geeigneter Einbauraum zum Gegenhalten vorgesehen sein, um ein geeignetes Werkzeug ansetzen zu können.

7.2 Mechanische Verbindung — Festigkeitsnachweis

7.2.1 Allgemeines

Für die Anwendung des Festigkeitsnachweises nach dieser Norm müssen die folgenden allgemein gebräuchlichen Konstruktionsprinzipien berücksichtigt werden:

- Funktionskriterien sind kein Schlupf und keine Trennung durch äußere Lasten;
- Das frei belastete Gewinde ist der kritische Querschnitt;
- drehmomentgesteuertes Anziehen mit Handschrauben im elastischen Bereich aller Werkstoffe.

Abweichungen von diesen Grundsätzen, wie z.B. unterschiedliche Montageverfahren, thermische Belastungen, Funktionskriterien, müssen gesondert berücksichtigt werden.

Die Festigkeitsbewertung muss in Übereinstimmung mit Normen oder Richtlinien nach diesen Grundsätzen erfolgen.

Für eine Schraubenverbindung müssen die folgenden Kriterien bewertet werden:

- das Schraubenausweichen im montierten Zustand und das daraus abgeleitete Anzugsdrehmoment;
- Funktionsanforderungen wie keine Trennung und kein Schlupf;
- Nachgiebigkeit der Schraube unter Betriebsbedingungen und Belastungen;
- Ermüdungsfestigkeit;

- Flächenpressung;
- Eingriff des Gewindes.

ANMERKUNG Übliche Verfahren sind in VDI 2230 oder NF E 25-030 beschrieben.

Für Schraubenverbindungen mit geringem Sicherheitsniveau (z. B. kleine Innenbefestigungen, Befestigung von Rohren oder Kabeln) darf ein vereinfachter Festigkeitsnachweis geführt werden.

7.2.2 Schraubenfließverhalten im montierten Zustand

Im montierten Zustand sollte die Vergleichsspannung in der Schraube unter Berücksichtigung der Axialspannung (Normal- und Biegespannung) und der Torsionsspannung infolge des Anziehdrehmoments 90 % der Streckgrenze der Schraube nicht überschreiten.

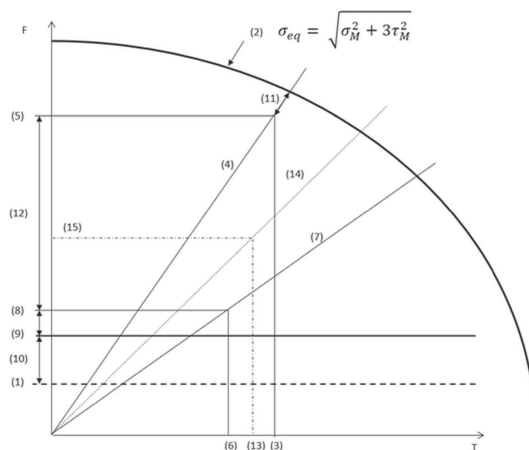
ANMERKUNG 1 Torsionsspannungen können mit dem plastischen Widerstandsmoment bestimmt werden.

ANMERKUNG 2 Bei Verfahren, bei denen die Streckgrenze der Schraube kontrolliert überschritten wird (z. B. streckgrenzenkontrolliertes Anziehen, winkelkontrolliertes Anziehen), kann die Auslastung 90 % der Streckgrenze überschreiten.

ANMERKUNG 3 Um ein abgerundetes Anzugsmoment zu erreichen, darf die maximale Ausnutzung um 90 % ± 3 % variieren.

Die Vorspannung bei $R_{p0,2}$ bezieht sich auf die Streckgrenze, die sich aus der Festigkeitsklasse der Schraube ergibt.

Die Vorspannung ist ein Ergebnis des Anziehvorgangs und hängt von den geometrischen Abmessungen der Schraubverbindung, den Reibungskoeffizienten und dem Anziehdrehmoment ab. Insbesondere die Reibwerte und die Genauigkeit des Anziehvorgangs beeinflussen die resultierende Vorspannung. Daher streut die Vorspannung zwischen einem Minimalwert und einem Maximalwert. Die Beziehung zwischen der Drehmomentstreuung und der Vorspannkraft ist in Bild 6 dargestellt.



Legende

- (1) erforderliche Vorspannung
- (2) Vorspannung bei $R_{p0,2}$
- (3) Höchstanziehmoment
- (4) Mindestreibungskoeffizient im Gewinde und im Bereich der Kopfauflage
- (5) Höchstvorspannung $F_{M,max}$
- (6) Mindestanziehmoment
- (7) Höchstreibungskoeffizient im Gewinde und im Kopflagerbereich
- (8) Mindestvorspannung $F_{M,min}$
- (9) Mindestvorspannung inkl. Setzung
- (10) Sicherheit gegen funktionelle Anforderungen (z. B. Rutschen, Trennen, ...)
- (11) Sicherheit gegen Streckgrenze
- (12) Anziehungsfaktor
- (13) Nennanziehmoment
- (14) Nennreibungskoeffizient im Gewinde und im Bereich der Kopfauflage
- (15) Nennvorspannung

Bild 6 — Lasten auf Schraubverbindungen im montierten Zustand

Das angewandte Anzugsdrehmoment streut in einem Bereich zwischen einem maximalen und einem minimalen Anzugsdrehmoment. Der Mittelwert muss für das Anziehen verwendet werden und sollte daher in die Dokumentation aufgenommen werden. Die Drehmomentstreuung wird in Leistungsklassen nach Abschnitt 9 eingeteilt.

ANMERKUNG 4 Für das drehmomentgesteuerte Anziehen mit einem manuellen Drehmomentschlüssel kann ein Bereich von $\pm 20\%$ angenommen werden.

Die Reibungskoeffizienten sind abhängig von den Werkstoffen, Oberflächenbeschichtungen und der Schmierung.

Die Höchstspannung in der Schraube ist abhängig von

- dem maximalen Anzugsmoment und
- Mindestreibungskoeffizienten im Gewinde und in der Kopflagerfläche.

Die Nennwerte der geometrischen Abmessungen, z. B. Gewindedurchmesser, Steigung, Form des Schraubenkopfes, dürfen berücksichtigt werden.

ANMERKUNG 5 Das vorherrschende Drehmoment von selbstsichernden Muttern beeinflusst ebenfalls die Torsionsspannungen.

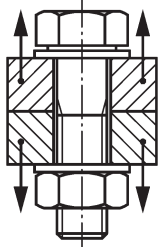
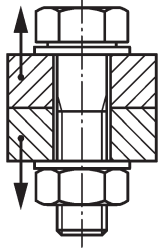
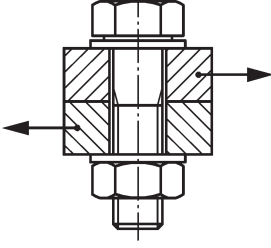
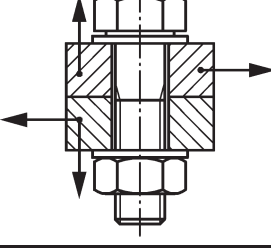
Bei Einhaltung der oben genannten Kriterien (Vergleichsspannung in der Schraube ist kleiner als 90 % der Streckgrenze der Schraube) ist das höchste Anziehdrehmoment begrenzt.

7.2.3 Funktionelle Anforderungen

Eine Schraubenverbindung nach dieser Norm verbindet zwei oder mehr Bauteile so, dass das Auftreten von Schlupf oder Trennung der verbundenen Bauteile verhindert wird, aber eine Demontage möglich ist. Die Vorspannung gewährleistet, dass die auf die Bauteile wirkenden Axial-, Biege- und Querkräfte während der Bemessungslebensdauer ohne Relativbewegung und ohne Trennung der verbundenen Bauteile übertragen werden können.

Die übertragenen statischen oder dynamischen Kräfte, die auf die Bauteile wirken, entsprechen den in Tabelle 16 aufgeführten. Scherkräfte auf eine einzelne Schraubenverbindung können durch Querkräfte auf die verbundenen Bauteile, aber auch durch Verformungen der mit mehreren Schrauben verbundenen Bauteile verursacht werden.

Tabelle 16 — Lasten auf die Schraube

Kräfte, die auf die angeschlossenen Bauteile wirken	Lasten auf die Schraube
	reine Zugbelastung (konzentrische Axialkraft)
	Zug- und Biegebelastung (außermittige Axialkraft)
	Schub- und Biegebelastung (Querkraft)
	kombinierte Belastung (Zug-, Biege- und Querkraft)

Die Vorspannung der Schraube muss in jedem Fall größer sein als die zur Erfüllung der Funktionsanforderungen erforderliche Vorspannung.

Daher muss die minimale Vorspannung, die sich aus dem Anziehvorgang ergibt, unter Einbeziehung der Streuung dieses Vorgangs berücksichtigt werden (siehe Bild 6). Der Bereich zwischen Mindest- und Höchstvorspannung kann durch den Anziehfaktor oder direkt durch die Kombination aus Streuung der Reibungskoeffizienten und Anziehdrehmoment bestimmt werden.

ANMERKUNG 1 Anhang D enthält Beispiele für die Bestimmung des Anziehfaktors.

Setzungen aufgrund von Oberflächenrauigkeit und Oberflächenbehandlung (z. B. Lackierung) der montierten Teile verringern diese Mindestvorspannung und müssen berücksichtigt werden. Der Verlust der Vorspannung aufgrund von Setzungen sollte in Übereinstimmung mit der Literatur beurteilt oder durch Versuche bewertet werden.

Eine axiale Belastung der Schraubenverbindung kann die Einspannkraft an der Grenzfläche verringern; die Verringerung hängt von dem Verhältnis der Elastizität der eingespannten Teile und der Schraube ab. Die Einspannkraft darf nicht kleiner als Null sein. Bei exzentrisch belasteten Verbindungen und einseitiger Öffnung der Grenzfläche nehmen die Schraubenkräfte progressiv zu; dies muss bei der Festigkeitsbewertung berücksichtigt werden. In diesem Fall sollte das elastische Verhalten der eingespannten Bauteile bestimmt werden (z. B. durch FE-Berechnung oder Prüfung), um sicherzustellen, dass die Bauteile im statischen und im Ermüdungslastfall um die Bohrung herum in Kontakt bleiben (Kriterium „keine Trennung“).

Die Teile werden durch die Vorspannung der Schraube eingespannt. Querbelastrungen werden durch die Einspannkraft an der Schnittstelle und die Reibung in der Schnittstelle übertragen (Kriterium „kein Schlupf“). Die Verringerung der Einspannkraft aufgrund einer axialen Belastung der Schraubenverbindung muss mit berücksichtigt werden. Der Reibungskoeffizient in der Schnittstelle könnte in einem bestimmten Bereich variieren. Der Mindestreibwert in diesem Bereich sollte berücksichtigt werden. Die Reibwerte sollten der Fachliteratur entnommen oder durch Versuche ermittelt werden.

Im Allgemeinen darf in keinem Lastfall ein Gleiten der Bauteile auftreten. Dies kann durch Reibung oder durch Presspassung zwischen den gefügten Bauteilen erreicht werden. Bei Betriebsbelastungen sollte keine Übergangspassung verwendet werden.

Wenn ein Gleiten unter außergewöhnlichen Belastungen zulässig ist, sollte die Verbindung analysiert werden, um einen begrenzten Gleitweg und keinen Verlust der Vorspannung zu sicherzustellen, wobei bei der Analyse Folgendes zu berücksichtigen ist:

- Sicherheitsniveau;
- Selbstlockerung durch Rotation;
- ausreichende Schraubenfestigkeit nach dem Rutschen und ausreichende Restfestigkeit für normale Betriebslasten;
- Lage am Zug (Radsatz, Drehgestell, innerhalb oder außerhalb des Wagenkastens);
- Wartungszugänglichkeit und -konzept;
- Sicherungsmaßnahmen;
- Belastungshäufigkeit in Abhängigkeit vom Fahrzeugbetrieb und der Kraft, die die Schraubverbindung ohne Abrutschen aushalten kann;
- Erfahrung im Betrieb.

Es müssen zusätzliche Nachweise (Berechnungen oder Versuche) durchgeführt werden, die das Risiko von Rotationslockerungen und Ermüdungsversagen (Biegebeanspruchung durch Schlupf und Axialkraft durch Betriebslasten) berücksichtigen. Wenn eine Verbindung rutscht, muss ihre volle Funktionsfähigkeit und Belastbarkeit erhalten bleiben.

ANMERKUNG 2 Außergewöhnliche Lastfälle und normale Betriebslasten können Beschleunigungen nach Normen (z. B. EN 12663-1, EN 13749) sein, die auf die Schnittstellen von nicht lastübertragenden Gerätebefestigungen einwirken.

Wird bei außergewöhnlichen Belastungen ein Formschluss (Übergangspassung) zur Übertragung der Querkraften verwendet, sollten die zusätzlichen Biegespannungen in der Schraube aufgrund der möglichen Querverschiebung mit der Passungstoleranz im Spannungsnachweis (Streckgrenze) der Schraube berücksichtigt werden. Die Festigkeit des Formschlusses sollte nachgewiesen werden. Die Passungstoleranz sollte kleiner sein als die theoretische Grenzverschiebung.

ANMERKUNG 3 Grenzverschiebung ist der Punkt, an dem die Querkraft zur doppelten Biegung der Schraube den Reibwiderstand unter dem Schraubenkopf oder der Mutter übersteigt.

ANMERKUNG 4 Wenn eine Verbindung wechselnden Querbewegungen ausgesetzt ist und das Schlupfkriterium nicht erfüllt ist, besteht die Gefahr des Selbstlockerns. Wirkt die Querkraft nur in eine Richtung und ist das Schlupfkriterium nicht erfüllt, so rutscht die Verbindung einmal, bis z. B. das Schraubengewinde die Bohrung berührt; die Gefahr des Selbstlockerns ist begrenzt.

Die Einflussparameter zur Beurteilung dieser Kriterien sind daher:

- Mindestvorspannung, die den Anziehvorgang berücksichtigt;
- Verlust der Vorspannung durch Setzungen;
- Einspannkraft in der Schnittstelle aufgrund von Axiallasten unter Berücksichtigung des Lastfaktors und des Kraftangriffspunkts;
- Mindestreibungswert in der Trennschicht.

7.2.4 Nachgeben der Schraube unter Betriebslast

Im Betrieb darf die Vergleichsspannung in jedem Abschnitt der Schraube die Streckgrenze der Schraube nicht überschreiten.

Die Schraube wird durch Kräfte auf die Schraubenverbindung belastet, und zwar durch

- Axialspannungen aufgrund der Vorspannung und der Axiallast,
- Scherspannungen durch den Anziehvorgang und
- Biegespannungen aufgrund der exzentrischen Lasteinleitung.

Die Spannungen sollten nach dem Konzept der Nennspannungen berechnet werden. Die drei Spannungskomponenten sind nach der von-Mises-Hypothese zu kombinieren und dürfen die Streckgrenze der Schraube nicht überschreiten.

Die maximalen Axialspannungen infolge der maximalen Vorspannung sind vom Anziehverfahren abhängig (siehe Bild 6). Zusätzliche Axialspannungen in der Schraube werden durch axiale Belastungen der Schraubenverbindung in Abhängigkeit vom Lastfaktor und bei exzentrischer Belastung vom Lasteinwirkungspunkt verursacht.

Scherspannungen in der Schraube werden durch den Anzugsmomentprozess verursacht. Aufgrund von Relaxationseffekten auf Torsionsspannungen darf eine Reduktion von 50 % durch das Gewindedrehmoment angenommen werden.

Im Falle einer exzentrisch wirkenden Kraft auf die Verbindung wird die Schraube zusätzlich durch Biegespannungen belastet. Bei exzentrisch wirkenden Kräften kann eine geringere Vorspannung zu höheren Biegespannungen führen. In diesem Fall sollte die Vergleichsspannung unter Berücksichtigung der Biegespannung bei minimaler Vorspannung abgeschätzt werden.

Die Einflussgrößen für den Festigkeitsnachweis im Betrieb sind daher:

- die maximale Vorspannung (und die minimale Vorspannung bei exzentrischer Belastung);
- die Scherspannungen aufgrund des Gewindedrehmoments, das durch den Anziehvorgang verursacht wird;
- die auf die Verbindung wirkenden Axialkräfte unter Berücksichtigung des Lastfaktors und des Kraftangriffspunkts;
- den jeweiligen Nennquerschnitt der Schraube;
- Streckgrenze der Schraube.

7.2.5 Flächenpressung

Die Nennflächenpressung in jeder Grenzfläche innerhalb der Schraubverbindung sollte die Grenzflächenpressung des Werkstoffs der eingespannten Bauteile und der Verschraubungselemente nicht überschreiten.

Eine Überschreitung der Grenzflächenpressung kann zum Kriechen (zeitabhängiges plastisches Fließen des Werkstoffes) führen. Kriechen kann zum Verlust der Vorspannung und damit zum Funktionsverlust der Schraubverbindung führen.

Für jede Grenzfläche (z. B. zwischen Mutter und Scheibe, Scheibe und Bauteil, zwischen den eingespannten Bauteilen) sollte die Nenngröße der Fläche unter Berücksichtigung von Fasen und Größe des Verformungskörpers bewertet werden.

Die Schraubenkraft aufgrund der maximalen Vorspannung (siehe Bild 6) und zusätzliche Schraubenkräfte aufgrund von Kräften, die auf die verbundenen Teile wirken, sollten berücksichtigt werden.

ANMERKUNG 1 Bei erhöhter Temperatur darf die Streckgrenze des Werkstoffs sinken und bei unterschiedlichen Wärmeausdehnungskoeffizienten der Werkstoffe kann sich die Vorspannung erhöhen.

Flächenpressungsgrenzen dürfen der Fachliteratur entnommen werden. Der Mittelwert aus Streck- und Zugspannung darf als Flächenpressungsgrenze verwendet werden.

Einflussgrößen sind daher die

- Nenngröße der Kontaktflächen einschließlich Fasen,
- die maximale Schraubenkraft aufgrund der maximalen Vorspannung und der äußeren Kräfte, die den Belastungsfaktor berücksichtigt haben,
- Flächenpressungsgrenze der montierten Teile.

7.2.6 Kriechen

Bei kriecheempfindlichen Werkstoffen (z. B. Aluminium, Kupfer) sollte das Kriechen bewertet werden. Eine Methode zur Beurteilung des Kriechens ist die Bewertung der Flächenpressung bei der Mindestvorspannung F_{Vmin} . Der zulässige Wert sollte die Streckgrenze nicht überschreiten (Empfehlung für Aluminiumwerkstoffe: 80 % $R_{p0,2}$). Andere Randbedingungen wie Temperatur und Geometrie (dünnwandige oder dickwandige Bauteile) können den Wert nach oben oder unten verändern (Versuche empfohlen).

7.2.7 Einschraubtiefe

Die kritische Einschraubtiefe bzw. Mutternhöhe ist erreicht, wenn die Tragfähigkeit der Gegengewinde der Zugfestigkeit des frei belasteten Schraubengewindes entspricht.

Die rechnerisch erforderliche Mindesteinschraubtiefe muss größer sein als die ausgelegte. Fasen und unvollständige Enden von Gewinden sollten berücksichtigt werden.

Einflussgrößen sind daher die

- Nennmaße der Gewindeform,
- die Länge der Gegengewinde,
- die Zugfestigkeit der Schraube und der Mutter (oder des Gewindeteils).

Toleranzen der Gegengewinde dürfen berücksichtigt werden.

7.2.8 Ermüdungsnachweis

Der berechnete Nenn-Ermüdungsspannungsbereich sollte die Ermüdungsgrenze der Schraube in keinem Querschnitt der Schraube überschreiten.

In der Regel wird ein Dauerfestigkeitsnachweis geführt. Dazu wird der Nennspannungsbereich mit der Dauerfestigkeitsgrenze der Schraube verglichen, die in den Berechnungsrichtlinien der Normen angegeben ist, wobei eine Überlebenswahrscheinlichkeit berücksichtigt wird, die in den einschlägigen Normen für Wagenkästen und Drehgestelle angegeben ist. Für andere Belastungen können die entsprechenden Lastzyklen in Betracht gezogen werden.

Die Ermüdungsspannung hängt von der Änderung der auf die Verbindungsteile wirkenden Kräfte ab. Bei außermittig wirkenden Kräften sind auch die daraus resultierenden Biegespannungen zu berücksichtigen. Das Trennen von eingespannten Bauteilen führt zu hohen dynamischen Belastungen in der Schraube und kann zum Ermüdungsversagen führen.

Für die Ermüdungsspannung müssen die folgenden Parameter berücksichtigt werden:

- axiale Ermüdungskräfte;
- Belastungsfaktor auf der Grundlage der Elastizität der Schraube und der eingespannten Bauteile;
- bei exzentrischen Kräften zusätzliche Biegespannungen.

7.2.9 Versagen

Wenn das Funktionskriterium kein Gleiten/kein Trennen nicht erfüllt ist (z. B. Tragfähigkeit, begrenztes Gleiten zulässig, ...), muss die Versagenssicherheit unter Berücksichtigung der Teilsicherheitsbeiwerte der einschlägigen Festigkeitsnormen (z. B. EN 12663-1, EN 15227) nachgewiesen werden.

Bei axialer Belastung muss die Spannung im jeweiligen Schraubenquerschnitt kleiner sein als die Zugfestigkeit der Schraube. Bei seitlicher Belastung muss die Scherspannung im betreffenden Schraubenquerschnitt kleiner sein als die Scherfestigkeit der Schraube.

Bei gleichzeitiger Einwirkung von Axial- und Querkraften ist ein Interaktionsnachweis erforderlich.

ANMERKUNG VDI 2230-1 oder EN 1999-1-8 geben weitere Informationen.

7.2.10 Sicherheitsfaktoren für den Festigkeitsnachweis

Bei der Berechnung von Schraubverbindungen werden verschiedene Parameter (z. B. Reibwerte, Festigkeitswerte) berücksichtigt. Diese Parameter unterliegen einer gewissen Streuung. Um ein bestimmtes Sicherheitsniveau der Schraubverbindung zu erreichen, muss die Streuung dieser Parameter berücksichtigt werden. Tabelle 17 gibt einen Hinweis auf die Eigenschaften der verwendeten Parameter.

Die Sicherheitsfaktoren sollten die Unsicherheiten innerhalb des Bewertungsprozesses abdecken.

Für Lasten aus Bahnnormen ist ein Tragsicherheitsfaktor von $\gamma_L = 1,0$ ausreichend.

Tabelle 17 — Sicherheitskonzept zur Festigkeit

Last	Kriterium	Sicherheitskonzept zur Festigkeit der Schraubverbindung
Vorspannung	90 % der Streckgrenze der Schraube	Mindestwerte für die Streckgrenze der Schraube Höchste Vorspannung
Ermüdungslast	Kein Ermüdungsversagen	Überlebenswahrscheinlichkeit der Schraubenermüdungsfestigkeit nach einschlägigen Normen (z. B. EN 12663-1 und EN 13749)
	Kein Gleiten und keine Trennung	Mindestreibwerte an der Grenzfläche Mindestvorspannung
Außergewöhnliche Last	Keine bleibende Verformung (z. B. Streckgrenze)	Mindestwerte für die Streckgrenze der Schraube Höchste Vorspannkraft
	Kein Gleiten und kein Trennen	Mindestvorspannung Minimale Reibwerte an der Grenzfläche
Bruchlast	Kein Versagen	Mindestwerte für die Schraubenzugfestigkeit Teilsicherheitsbeiwert nach EN 12663-1 für Rohkarosserien ($S_2 = 1,5$) oder EN 13749 für Drehgestelle ($S_2 = 1,5$)

Die statistische Charakterisierung der Mindest- und Höchstparameter ist in Abschnitt 10 vorgeschrieben.

ANMERKUNG Für die Bewertung der außergewöhnlichen Belastungen ist die Anwendung des Teilfaktors $S_1 = 1,15$ nach EN 12663-1 und EN 13749 nicht erforderlich.

7.3 Elektrische Verbindung

7.3.1 Allgemeines

Eine elektrische Schraubverbindung ist ein mechanisches Verbindungselement, das den Stromdurchgang durch die Schnittstelle zwischen zwei oder mehreren Bauteilen sicherstellt, indem es die erforderliche Flächenpressung erzeugt. Die elektrische Schraubverbindung hat elektrische und mechanische Eigenschaften.

Im Allgemeinen sollte eine elektrische Verbindung nicht mechanisch belastet werden.

EN 50343 definiert die Konstruktion und Bemessung von elektrischen Schraubverbindungen. Folgende Aspekte sind dort definiert:

- Bemessung der Leitungen in Abhängigkeit von der elektrischen Belastung;
- Art, Anzahl und Anordnung der leitenden Teile;
- Nenndurchmesser der Schraubverbindung in Abhängigkeit von den leitenden Bauteilen;
- Art und Behandlung der Oberflächen der leitenden Bauteile;
- Stromdichte in den leitenden Kontaktflächen;
- Bemessung der leitfähigen Kontaktflächen;
- Anpressdruck der Schraubverbindungen;
- Ausnutzung der Elastizitätsgrenze von Schrauben- und Muttermaterial;
- Vermeidung der Bewegung von Kabelschuhen.

Der maximale Außendurchmesser des Kopfes oder der Mutterauflage der elektrisch leitenden Kontaktflächen D sollte einen Wert von $D \leq 2,5 \cdot d$ nicht überschreiten.

Die Eigenschaften nach EN 50343 werden im Folgenden durch Vorgaben für die Auslegung und Montage von Schraubverbindungen im Hinblick auf die Dauerhaftigkeit und Zuverlässigkeit der Verbindung ergänzt.

Bei Verwendung einer elektrischen Schraubverbindung zur Erdung, die Teil einer mechanischen Schraubverbindung ist, müssen die nicht zur Erdung bestimmten Schrauben allen auf die Verbindung wirkenden mechanischen Belastungen mit ausreichender Sicherheit standhalten. Die vorgesehene Schraube muss sowohl die elektrischen als auch die mechanischen Anforderungen erfüllen. Diese für die elektrische Anwendung bestimmte Schraube muss deutlich gekennzeichnet sein.

7.3.2 Auswahl der Verbindungselemente

7.3.2.1 Allgemeines

Der Durchmesser der elektrischen Schraubverbindung wird durch den Innendurchmesser der Kabelanschlusselemente (z. B. Kabelschuh) in Anlehnung an die Vorgaben der EN 50343 definiert. Eine weitere Bemessungsvorschrift ist nicht erforderlich.

Es sollte eine technische Lösung gewählt werden, um galvanische Korrosion zwischen den leitenden Komponenten zu vermeiden, wenn die Kombination von Materialien zu einer elektrochemischen Potentialdifferenz von mehr als 300 mV nach 7.4 führt.

7.3.2.2 Sicherheitsniveau M und H

Es sollten Schrauben und Muttern mit Standardgewinde nach ISO 261 verwendet werden. Vorzugsweise sind Schrauben nach EN ISO 4017 und Muttern nach EN ISO 4032 aus nichtrostenden Stählen zu verwenden. Die Festigkeitsklasse der Schrauben und Muttern sollte mindestens A2-70 betragen.

Werden Schrauben und Muttern aus Kohlenstoffstahl oder legiertem Stahl verwendet (siehe EN ISO 898-1 oder EN ISO 898-2), muss Folgendes beachtet werden:

- die Festigkeitsklasse der Schraube sollte mindestens 5.8 betragen;
- die Festigkeitsklasse der Mutter sollte mit der Festigkeitsklasse der Schraube übereinstimmen;
- bei der Bestimmung der elektrochemischen Potentialdifferenz sollte das Beschichtungssystem der Verbindungselemente berücksichtigt werden;
- die Verwendung von Zinklamellenbeschichtungen nach EN ISO 10683 sollte für elektrisch leitende Elemente, die dem Stromfluss dienen, ausgeschlossen werden (da diese nur begrenzt elektrisch leitende oder isolierende Eigenschaften haben).

Gewindeschneidende oder gewindefurchende Schrauben dürfen nicht verwendet werden.

Bei stromführenden Schrauben sollte auf ausreichende Leitfähigkeit und Festigkeit des Schraubenmaterials geachtet werden.

Die Schraubverbindung sollte nach 7.5.2 gegen Lösen gesichert werden. Die Verwendung von Gewindesicherungsklebstoffen in elektrischen Schraubverbindungen ist für stromführende Schraubverbindungen im Normalbetrieb nicht zulässig.

7.3.2.3 Sicherheitsniveau L

Es sollten Schrauben und Muttern mit Regelgewinde nach ISO 261 verwendet werden.

Die Schraubverbindungen sollten gegen Lösen nach 7.5.2 gesichert werden. Die Verwendung von Gewindesicherungsklebstoffen in elektrischen Schraubverbindungen ist für stromführende Schraubverbindungen im Normalbetrieb nicht zulässig.

Die Verwendung anderer Gewindearten, z. B. gewindeschneidende oder gewindefurchende Schrauben, ist zulässig. Bei Verwendung von gewindeschneidenden oder gewindefurchenden Schrauben können Sicherungsmaßnahmen nach 7.5.2 entfallen.

7.3.3 Montage der Schraubverbindungen

7.3.3.1 Sicherheitsniveau M und H

Elektrische Schraubverbindungen mit Durchmesser $\leq M5$ werden ohne Schmierung montiert. Ab Durchmesser M6 sollte die Schmierung mit Fett unter dem Schraubenkopf oder auf dem Mutterhalter sowie auf dem Gewinde erfolgen, um ein Festfressen zu vermeiden und eine korrekte Vorspannung zu erreichen.

Kontaktfett muss auf die Schnittstellen aus Aluminium aufgetragen werden, um Oxidbildung zu vermeiden, die einen Anstieg des elektrischen Widerstands verursachen kann.

ANMERKUNG Um zwei Fettsorten auf der Schraubverbindung zu vermeiden, kann ein Fett sinnvoll sein, das beide Anforderungen (geringer elektrischer Widerstand zwischen den Schnittstellen und geeignetes Reibungsfenster zum Anziehen) erfüllt.

Wenn der Hersteller des zu montierenden Bauteils keine Drehmomente angegeben hat, sollten beim Anziehen von elektrischen Schraubverbindungen vorzugsweise die in Tabelle 18 aufgeführten Anzugsmomente verwendet werden. Dies gilt auch, wenn die Festigkeitsklasse der verwendeten Verbindungselemente die bevorzugte Festigkeitsklasse A2-70 überschreitet.

Tabelle 18 — Anziehdrehmomente für elektrische Schraubverbindungen mit Nenndurchmessern zwischen M4 und M20

Nenndurchmesser	Schmierung	$\mu_{\min}$ [1]	$\mu_{\max}$ [1]	Anziehdrehmoment T_A Nm
M4	keine	0,20	0,35	2
M5				4
M6	Stützfläche und Gewinde	0,12	0,20	5
M8				12
M10				25
M12				42
M16				105
M20				200

Die in Tabelle 18 aufgeführten Drehmomente wurden mit den folgenden Randbedingungen bestimmt:

- a) Schrauben EN ISO 4017;
- b) Muttern EN ISO 4032 (für Durchgangsschraubenverbindungen);
- c) Reibwerte:
 - 1) M4 und M5 (ungeschmiert):
 - i) $\mu_{\text{tot,min,unlub}} = 0,2$;
 - ii) $\mu_{\text{tot,max,unlub}} = 0,35$.
 - 2) M6 bis M20 (geschmiert):
 - i) $\mu_{\text{tot,min,lub}} = 0,12$;
 - ii) $\mu_{\text{tot,max,lub}} = 0,20$.
- d) Festigkeitsklasse A2-70;
- e) Streckspannungsausnutzung $v = 0,75$ (nach EN 50343);
- f) Leistungsklasse CP20.

Eine Mindestanpresskraft nach dem Anziehen von $p_{\min} \geq 15$ MPa in den elektrisch leitenden Kontaktbereichen ist sichergestellt, wenn

- die o. g. Montagespezifikationen eingehalten werden und
- der maximale Außendurchmesser des Kopfes oder der Mutterauflage der elektrisch leitenden Kontaktflächen $D \leq 2,5 \cdot d$ beträgt.

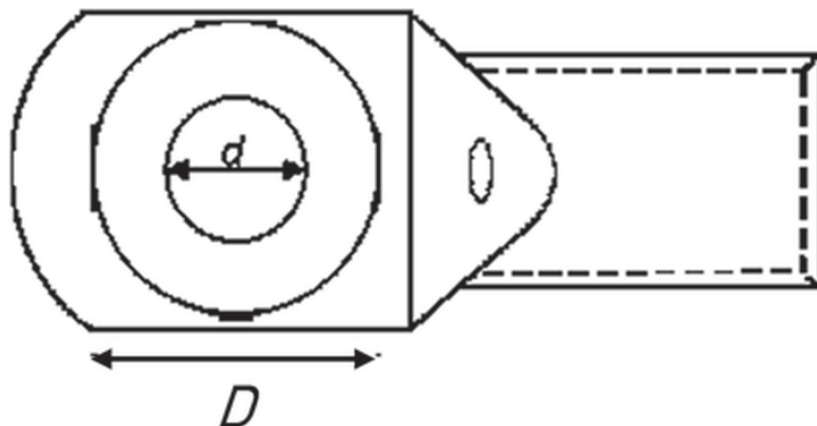


Bild 7 — Abmessungen zur Berechnung der effektiven Kontaktfläche A

Die effektive Kontaktfläche A für die Stromübertragung wird wie folgt berechnet

$$A = \frac{\pi}{4} \cdot (D^2 - d^2)$$

7.3.3.2 Sicherheitsniveau L

Werden Schrauben und Muttern mit Regelgewinde nach ISO 261 verwendet, sollten die Montagevorschriften des Sicherheitsniveau M und H angewendet werden.

Werden gewindeschneidende oder gewindefurchende Schrauben verwendet, sollte der Montageprozess so gestaltet werden, dass nach der Montage ein fester Sitz der Verbindung gegeben ist.

7.4 Korrosion

7.4.1 Allgemeines

7.4 gibt einen Überblick über geeignete Werkstoffe und Beschichtungen für Schraubenverbindungselemente. Darüber hinaus wird das Verhalten von beschichteten und unbeschichteten Werkstoffen, insbesondere bei der Kombination von unterschiedlichen Werkstoffen und Beschichtungen, aufgezeigt.

7.4.2 Schutzwirkung von Beschichtungen und Werkstoffen in Verbindungselementen

Im Anwendungsbereich dieses Dokuments werden hauptsächlich die folgenden Beschichtungen und Werkstoffe für den Korrosionsschutz von Verbindungselementen verwendet:

- Galvanische Überzüge nach EN ISO 4042, EN ISO 2081, EN ISO 19598;
- Nicht elektrolytisch aufgebrachte Zinklamellenüberzüge nach EN ISO 10683, EN 13858;
- Mechanisch abgeschiedene Zinküberzüge nach EN 12683;
- Feuerverzinkung nach DIN 1461;
- Korrosionsbeständige Verbindungselemente aus nichtrostendem Stahl (A2 und A4) nach EN ISO 3506-1 und EN ISO 3506-2.

Verbindungselemente und Kontaktflächen, die nicht an sich korrosionsbeständig sind oder keine korrosionsbeständige Oberflächenbehandlung aufweisen, sollten nach der Montage beschichtet werden (z. B. Lack, Farbe).

Der Schutzgrad von verzinkten Zinküberzügen und nicht elektrolytisch aufgetragenen Zinklamellenüberzügen ist in Tabelle 19 und Tabelle 20 angegeben.

Für Verbindungselemente mit einer Nennzugfestigkeit > 800 MPa sollten Maßnahmen zur Vermeidung von Wasserstoffversprödung nach EN ISO 4042 durchgeführt werden.

Tabelle 19 — Schichtdicke und Korrosionsbeständigkeit gängiger Zink- und Zinklegierungsüberzugssysteme in Abhängigkeit vom Gewindenennendurchmesser nach EN ISO 4042

Beschichtungssysteme auf Zinkbasis	Code	Mindestdauer des neutralen Salzsprühtests für Trommelbeschichtung ^a			
		[Stunden]			
		Keine Korrosion der Beschichtung (Weißrost)	Keine Korrosion des Grundmetalls (Rotrost)		
			Gewindedurchmesser d (mit Toleranzfeldlage g)		
			M2,5 bis M8	M10 bis M22	M24 und höher
			Beschichtungsstärke ^d [µm]		
			5	8	12
Zn, transparent passiviert ^b	Zn//An/T0	8	48	72	96
Zn, schillernd passiviert ^b	Zn//Cn/T0	72	120	192	240
Zn, schillernd passiviert, versiegelt ^b	Zn//Cn/T2	120	168	240	288
Zn, schwarz passiviert, versiegelt	Zn//Fn/T2	24 ^c	72	144	192
ZnFe, schillernd passiviert ^b	ZnFe//Cn/T0	96	144	216	264
ZnFe, schwarz passiviert, versiegelt ^b	ZnFe//Cn/T2	120	216	288	360
ZnFe, schwarz passiviert, versiegelt	ZnFe//Fn/T2	96 ^c	192	240	312
ZnNi, silbergrau, passiviert	ZnNi//Cn/T0	120	480	720	720 ^e
ZnNi, silbergrau passiviert, versiegelt	ZnNi//Cn/T2	168	600	720	720 ^e
ZnNi, schwarz passiviert	ZnNi//Fn/T0	48 ^c	360	600	720 ^e

Beschichtungssysteme auf Zinkbasis	Code	Mindestdauer des neutralen Salzsprühtests für Trommelbeschichtung ^a			
		[Stunden]			
		Keine Korrosion der Beschichtung (Weißrost)	Keine Korrosion des Grundmetalls (Rotrost)		
			Gewindedurchmesser d (mit Toleranzfeldlage g)		
			M2,5 bis M8	M10 bis M22	M24 und höher
		Beschichtungsdicke ^d [µm]			
		5	8	12	
ZnNi, schwarz passiviert, versiegelt	ZnNi//Fn/T2	120 ^c	480	720	720 ^e
Die Mindestdauer des neutralen Salzsprühtests sollte nicht als direkter Hinweis auf die Korrosionsbeständigkeit von beschichteten Verbindungselementen in allen Umgebungen, in denen sie verwendet werden könnten, angesehen werden. Siehe EN ISO 9227.					
^a Mit einem Zahnstangenverfahren wird die Auswirkung einer möglichen Beschädigung der Beschichtung reduziert und somit kann eine erhöhte Korrosionsbeständigkeit erreicht werden.					
^b Schwarze Flecken dürfen kein Grund zur Zurückweisung sein, da sie die Korrosionsbeständigkeit nicht beeinträchtigen.					
^c Grauschleier werden nicht als Weißkorrosion berücksichtigt.					
^d Vergrößerung des Gewindeflankendurchmessers um den Faktor 4 nach EN ISO 4042:2022, Anhang D berücksichtigt.					
^e Typischerweise wird eine höhere Korrosionsbeständigkeit erreicht, jedoch werden die Korrosionsprüfungen für die Anwendung dieses Dokuments nach 720 Stunden abgebrochen.					

Tabelle 20 — Schichtdicke und Korrosionsbeständigkeit von nicht-elektrolytisch aufgetragenen Zinklamellen-Überzugssystemen in Abhängigkeit vom Gewinde-Nenn Durchmesser nach EN ISO 10683

Gewindedurchmesser d (mit Toleranzfeldlage g)	Referenzschichtdicke des Beschichtungssystems ^{a,b} µm	Dauer des Salzprühtests (ohne Rotrost) Stunden
M2,5 bis M4	5	480
M5 bis M8	6	600
M10 bis M16	8	720
M18 und höher	10	960
^a Die Referenzschichtdicke umfasst die Grundsicht(en) und die Decksicht(en). Die Referenzschichtdicke dient nur als Richtwert. Die Zusammensetzung des Beschichtungssystems (nur Grundsicht, Grundsicht + Decksicht usw.) ist zum Zeitpunkt der Bestellung zu bestimmen. ^b Die Vergrößerung des Gewindeflankendurchmessers um den Faktor 4 nach EN ISO 10683:2018, Anhang B ist berücksichtigt.		