

DIN 25201-4

ICS 21.060.10; 21.060.30

Ersatz für
DIN 25201-4:2004-06**Konstruktionsrichtlinie für Schienenfahrzeuge und deren
Komponenten –
Schraubenverbindungen –
Teil 4: Sichern von Schraubenverbindungen**

Design guide for railway vehicles and their components –
Bolted joints –
Part 4: Securing of bolted joints

Méthode de conception pour véhicules ferroviaires et ses constituants –
Raccords à vis –
Partie 4: Protection des raccords à vis

Gesamtumfang 67 Seiten

DIN-Normenausschuss Fahrweg und Schienenfahrzeuge (FSF)

Inhalt

	Seite
Vorwort	4
1 Anwendungsbereich	5
2 Normative Verweisungen	5
3 Begriffe	6
4 Allgemeines	8
4.1 Schraubenverbindungen für maschinenbauliche Anwendungen	8
4.2 Schraubenverbindungen für elektrische Anwendungen	8
4.3 Schweißen von Schraubenverbindungen	9
5 Sicherungsmaßnahmen	9
5.1 Allgemeines	9
5.2 Maßnahmen gegen Lockern	9
5.3 Maßnahmen gegen selbsttätiges Losdrehen	10
5.4 Maßnahmen gegen Verlieren	11
6 Anaerobe Flüssigklebstoffe	11
6.1 Anforderungen	11
6.1.1 Temperaturbereich	11
6.1.2 Beanspruchungsklassen	11
6.1.3 Viskositätsbereiche	11
6.2 Prüfung	12
6.3 Bezeichnung	12
Anhang A (normativ) Übersicht zur Schraubensicherung	13
Anhang B (normativ) Prüfvorschrift zum Nachweis der Losdrehesicherheit von gesicherten Schraubenverbindungen	15
B.1 Ziel und Versuchsarten	15
B.2 Prüfeinrichtung	15
B.3 Prüfgarnitur	16
B.4 Versuchsbedingungen	17
B.4.1 Prüffrequenz	17
B.4.2 Teileverwendung	17
B.4.3 Gegenlagen	17
B.4.4 Oberflächen	18
B.4.5 Produktklassen (Grenzmaße, Toleranzen)	18
B.4.6 Einbaulage der Schraubenverbindung	18
B.4.7 Klemmlängenverhältnis der Schraubenverbindung	18
B.5 Versuchsdurchführung	18
B.5.1 Verspannen und Vorspannkraft	18
B.5.2 Schmierung der Prüfgarnitur	19
B.5.3 Einstellversuche	19
B.5.4 Nachweisversuche	20
B.5.5 Messgrößen	20
B.6 Beurteilung	22
B.7 Prüfbericht	23
Anhang C (informativ) Selbsttätiges Losdrehen und Ermüdungsfestigkeit von Schraubenverbindungen bei Querbelastung	24
C.1 Allgemeines	24
C.2 Phänomenologie des selbsttätigen Losdrehens	24
C.3 Nichtlineare Quersteifigkeit	27
C.4 Nachweis des selbsttätigen Losdrehens	28
C.5 Maximal möglicher Gleitweg $u_{Q,max}$	29
C.6 Ermüdungsfestigkeit querbelasteter Schraubenverbindungen	29
C.7 Nachweis der Ermüdungsfestigkeit	30

Anhang D (informativ) Beispiel für ein Nachweisverfahren für Schraubenverbindungen mit seltenen hohen Querbelastungen	31
D.1 Allgemeines	31
D.2 Randbedingungen	32
D.3 Berechnungsgrundsätze	32
D.4 Berechnungsablauf	33
D.4.1 Belastung der Schraubverbindung	33
D.4.2 Daten der Schraubenverbindung	33
D.4.3 Berechnungsschritte	34
D.5 Ablaufdiagramm	47
D.6 Beispiel	54
D.7 Formelzeichen	63
Literaturhinweise	67

Bilder

Bild 1 — Darstellung der Zusammenhänge des selbsttätigen Lösens	9
Bild B.1 — Prinzipieller Aufbau der Prüfeinrichtung	16
Bild B.2 — Prüfblock	16
Bild B.3 — Montageposition am Prüfstand	19
Bild B.4 — Auswertung des Einstellversuchs	20
Bild B.5 — Beispiel für die Beurteilung der Sicherungswirkung anhand des Verlaufes der Vorspannkraft in Abhängigkeit der Lastwechselzahl	22
Bild C.1 — Querkraft- Querverschiebungs-Charakteristik	25
Bild C.2 — Mechanische Ersatzmodelle zur Beschreibung der Quersteifigkeit im Zustand 2	27
Bild C.3 — Zustand 3: additiver Anteil Gewindepandeln s infolge radialen Gewindespisels δ_s	28
Bild D.1 — Exemplarische Darstellung der Vorspannkraftabfalls für eine Laststufe im Vibrationstest	37
Bild D.2 — Versuchsanordnung zur Ermittlung des Vorspannkraftverlusts gleitender Verbindungen	39
Bild D.3 — Bruchkennlinie	41
Bild D.4 — Bruchkennlinie	42
Bild D.5 — Ermittlung der Lastwechselzahlen für die Vorschädigung	44
Bild D.6 — Bestimmung der Restdauerfestigkeit	45
Bild D.7 — Querbelastung der Restdauerfestigkeit	46
Bild D.8 — Axialbelastung der Restdauerzeitfestigkeit	46
Bild D.9 — Axialbelastung der Restdauerzeitfestigkeit	54
Bild D.10 — Beispiel Kennlinien Restvorspannkrafterhalt gesicherter Schraubenverbindungen M12, $l_K/d = 3,0$	59
Bild D.11 — Beispiel Kennlinien Bruchverhalten gesicherter Schraubenverbindungen M12, $l_K/d = 3,0$	60
Bild D.12 — Beispiel Vorbelastung Restdauerfestigkeit	62
Bild D.13 — Beispiel Ermittlung Restdauerfestigkeit	63

Tabellen

Tabelle 1 — Maßnahmen gegen Lockern	10
Tabelle 2 — Kurzzeichen, Beanspruchungsklasse und zugehörige Vergleichsfestigkeit	11
Tabelle 3 — Viskositätsbereiche in Abhängigkeit von Gewinde bzw. Spaltbreite	12
Tabelle A.1 — Übersicht zur Schraubensicherung	13
Tabelle B.1 — Für die Versuche einzustellende Vorspannkraft F_V	19
Tabelle D.1 — Belastungs- und Bewertungskriterien	31

Vorwort

Dieses Dokument wurde vom Unterausschuss NA 087-00-12-02 UA „Verbindungselemente“ im DIN-Normenausschuss Fahrweg und Schienenfahrzeuge (FSF) erarbeitet.

DIN 25201, *Konstruktionsrichtlinie für Schienenfahrzeuge und deren Komponenten — Schraubenverbindungen*, besteht aus den folgenden Teilen:

- Teil 1: Einteilung, Kategorien der Schraubenverbindungen
- Teil 2: Konstruktion — Maschinenbauliche Anwendungen
- Teil 3: Konstruktion — elektrische Anwendungen
- Teil 4: Sichern von Schraubenverbindungen
- Teil 5: Korrosionsschutz
- Teil 6: Anschlussmaße
- Teil 7: Montage

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

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

Änderungen

Gegenüber DIN 25201-4:2004-06 wurden folgende Änderungen vorgenommen:

- a) vollständige redaktionelle Überarbeitung ;
- b) Abschnitt 3 „Begriffe“ wurden aktualisiert;
- c) Anhang B (normativ) „Prüfvorschrift zum Nachweis der Losdrehsicherheit von gesicherten Schraubenverbindungen“ neu aufgenommen;
- d) Anhang C (informativ) „Selbsttätiges Losdrehen und Ermüdungsfestigkeit von Schraubenverbindungen bei Querbelastung“ neu aufgenommen;
- e) Anhang D (informativ) „Nachweisverfahren für Schraubenverbindungen mit seltenen hohen Querbelastungen“ neu aufgenommen.

Frühere Ausgaben

DIN 25201: 1986-11
DIN 25202: 1992-04
DIN 25203: 1992-04
DIN 25201-4: 2004-06

1 Anwendungsbereich

Dieses Dokument ist anzuwenden für das Sichern von Schraubenverbindungen im Schienenfahrzeugbereich. Es soll den Konstrukteur bei der grundlegenden Auswahl von Schraubenverbindungen unterstützen und ihm Systematiken und Begriffe näherbringen.

2 Normative Verweisungen

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

DIN 267-27, *Mechanische Verbindungselemente — Teil 27: Schrauben aus Stahl mit klebender Beschichtung, Technische Lieferbedingungen*

DIN 267-28, *Mechanische Verbindungselemente — Teil 28: Schrauben aus Stahl mit klemmender Beschichtung, Technische Lieferbedingungen*

DIN 969:2020-02, *Verbindungselemente mit Gewinde — Schwingfestigkeitsversuch bei Axialbelastung — Prüfverfahren und Auswertung der Ergebnisse*

DIN 6796, *Spannscheiben für Schraubenverbindungen*

DIN 7349, *Scheiben für Schrauben mit schweren Spannhülsen*

DIN 25201-2:2015-12, *Konstruktionsrichtlinie für Schienenfahrzeuge und deren Komponenten — Schraubenverbindungen — Teil 2: Konstruktion — Maschinenbauliche Anwendungen*

DIN 65151, *Luft- und Raumfahrt — Dynamische Prüfung des Sicherungsverhaltens von Schraubverbindungen unter Querbeanspruchung (Vibrationsprüfung)*

DIN 65209:2010-04, *Luft- und Raumfahrt — Scheiben, gesenkt*

DIN EN 1993-1-8, *Eurocode 3: Bemessung und Konstruktion von Stahlbauten — Teil-1-8: Bemessung von Anschlüssen*

DIN EN 10139, *Kaltband ohne Überzug aus weichen Stählen zum Kaltumformen — Technische Lieferbedingungen*

DIN EN 12663-1:2015-03, *Bahnanwendungen — Festigkeitsanforderungen an Wagenkästen von Schienenfahrzeugen — Teil 1: Lokomotiven und Personenzüge (und alternatives Verfahren für Güterwagen)*

DIN EN 13749, *Bahnanwendungen — Radsätze und Drehgestelle — Festlegungsverfahren für Festigkeitsanforderungen an Drehgestellrahmen*

DIN EN 15865:2009, *Klebstoffe — Bestimmung der Drehfestigkeit von anaeroben Klebstoffen auf geklebten Gewinden*

DIN EN 20273, *Mechanische Verbindungselemente; Durchgangslöcher für Schrauben*

DIN EN ISO 683-1, *Für eine Wärmebehandlung bestimmte Stähle, legierte Stähle und Automatenstähle — Teil 1: Unlegierte Vergütungsstähle*

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

DIN EN ISO 2320, *Mechanische Verbindungselemente — Muttern aus Stahl mit Klemmteil — Funktionelle Eigenschaften*

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

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

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

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

DIN EN ISO 7090, *Flache Scheiben mit Fase — Normale Reihe — Produktklasse A*

DIN EN ISO 7092, *Flache Scheiben — Kleine Reihe — Produktklasse A*

DIN EN ISO 7093-1, *Plain washers — Large series — Product grades A*

VDI 2230 Blatt 1:2015-11, *Systematische Berechnung hochbeanspruchter Schraubenverbindungen — Zylindrische Einschraubenverbindungen*

VDI 2230 Blatt 2:2014-12, *Systematische Berechnung hochbeanspruchter Schraubenverbindungen — Mehrschraubenverbindungen*

3 Begriffe

Für die Anwendung dieses Dokuments gelten die folgenden Begriffe.

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

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

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

3.1

Lösen

Oberbegriff, der Lockern und selbsttätiges Losdrehen zusammenfasst

Anmerkung 1 zum Begriff: Lösen geht mit dem Verlust der Vorspannkraft einher.

3.2

Lockern

Verlust der Vorspannkraft infolge von Setzen und Relaxationserscheinungen sowie durch Überschreiten der Grenzflächenpressungen (plastisches Fließen)

3.3

Setzen

Einebnen von Oberflächen der Trennfugen, des Gewindes und der Kopf- und Mutterauflage

3.4

Kriechen

zeitabhängiges Überschreiten der Werkstofffließgrenze der Schraubenverbindung bei Übergangstemperaturen durch Relaxation

3.5**selbsttätiges Losdrehen**

Vorspannkraftverlust infolge einer Relativbewegung zwischen Schrauben- und Mutterngewinde in Losdrehrichtung, wenn die Reibung an den Auflageflächen des Schraubenkopfes und der Mutter bzw. die Selbsthemmung im Gewinde durch Systemkräfte überwunden werden

3.6**betrieblicher Lastfall**

Betriebs- oder zyklische Belastungen, die ohne Beeinträchtigung der vollen Funktionsfähigkeit und Tragfähigkeit einer Verschraubung dauerhaft bzw. entsprechend der vorgesehenen Lebensdauer ertragbar sind

Anmerkung 1 zum Begriff: z. B. Lastfälle entsprechend DIN EN 12663-1:2015-03, 5.6.

3.7**außergewöhnlicher Lastfall**

maximale Belastungen, die unter Aufrechterhaltung der vollen Funktionsfähigkeit und Tragfähigkeit einer Verschraubung ertragbar sind

Anmerkung 1 zum Begriff: z. B. Lastfälle entsprechend DIN EN 12663-1:2015-03, 5.4.

Anmerkung 2 zum Begriff: Außergewöhnliche Lastfälle werden auch als statische Lastfälle bezeichnet.

3.8**Gleitfest**

keine Relativbewegung zwischen den verspannten Bauteilen durch Querkräfte

3.9**Überlastung**

außerordentliche Belastung die zur Reduzierung der Vorspannkraft in der Schraubenverbindung (z. B. durch Überschreiten der Grenzflächenpressung) oder Überschreitung der Haftreibung zwischen den verspannten Bauteilen führt

3.10**Losbrechmoment**

M_{LB}

Anfangsdrehmoment, das benötigt wird, um in einer vorgespannten Verbindung eine Axialbelastung zu vermindern oder zu eliminieren

[QUELLE: DIN EN 15865:2009, Begriff 3.4]

3.11**Weiterdrehmoment**

M_P

Drehmoment, das nach der ersten Relativbewegung der Schraubenverbindung bei einem festgelegten Drehwinkel der Mutter gemessen wird

[QUELLE: DIN EN 15865:2009, Begriff 3.5, modifiziert – Satz gekürzt]

3.12

Vergleichsfestigkeit τ_{ver}

Festigkeitsbereich, der den einzelnen Beanspruchungsklassen zugeordnet ist. Sie ergibt sich im Allgemeinen aus dem Losbrechdrehmoment. Ist jedoch das Weiterdrehmoment größer, wird dieses zur Bestimmung der Vergleichsfestigkeit eingesetzt

$$\tau_{\text{ver}} = \frac{2M_{\text{LB}}}{d_2^2 \pi l} \text{ oder}$$

$$\tau_{\text{ver}} = \frac{2M_{\text{P}}}{d_2^2 \pi l}$$

4 Allgemeines**4.1 Schraubenverbindungen für maschinenbauliche Anwendungen**

Schraubenverbindungen sind konstruktiv so auszulegen, dass die bei der Montage aufgebrachte Vorspannkraft erhalten bleibt, bzw. die durch Setzungen, thermische Ausdehnung oder wiederholte außergewöhnliche Querbelastungen reduzierte Vorspannkraft für die Übertragung der einwirkenden Kräfte nachweislich ausreicht.

Schraubenverbindungen müssen grundsätzlich so dimensioniert sein, dass bei betrieblichen Lastfällen (Ermüdungslastfälle) ein Gleiten der verspannten Bauteile gegeneinander sicher ausgeschlossen ist. Werden Schrauben für alle Lastfälle gleitfest ausgelegt, keine zusätzlichen Schraubensicherungen gegen Losdrehen erforderlich.

Wird bei außergewöhnlichen Belastungen ein Formschluss (Passung) zur Übertragung der Querkräfte eingesetzt, so ist die zusätzliche Biegespannung in der Schraube aufgrund der möglichen Querverschiebung mit der Passungstoleranz im Spannungsnachweis (Streckgrenzkriterium) der Schraube zu berücksichtigen. Die Festigkeit des Formschlusses ist nachzuweisen. Es ist eine Losdrehsicherung einzusetzen. Die Passungstoleranz sollte kleiner als der Verschiebeweg $u_{\text{Q,kons}}$ sein (siehe C.4).

Ist eine gleitfeste Auslegung unter außergewöhnlichen Belastungen nicht möglich und sollen größere Gleitwege toleriert werden, so ist ein gesonderter experimenteller und/oder rechnerischer Nachweis erforderlich, der die Anforderungen an Losdrehsicherheit und Ermüdungsfestigkeit nachweist. Nach einem Gleiten müssen die volle Funktionsfähigkeit und Tragfähigkeit der Verschraubung erhalten bleiben.

Ein Losdrehen ist nicht zu erwarten, wirken die außergewöhnlichen Belastungen ausschließlich in eine Richtung. Bei nicht gleitfester Auslegung gleiten die Bauteile dann gegeneinander, bis es zur Anlage bzw. vollständigen Formschluß (z. B. Anlage der Schrauben in der Bohrung) kommt. Es sind entsprechende Festigkeitsnachweise zu führen.

Bei extrem hohen dynamischen Kräften (z. B. „Stöße“ im nicht abgefederten Fahrwerksbereich) sind größere Auslegungssicherheiten und zusätzliche Sicherungsmaßnahmen (siehe Abschnitt 5) in Betrachtung zu ziehen.

4.2 Schraubenverbindungen für elektrische Anwendungen

Sie sind konstruktiv so auszulegen, dass ein Mindestkontaktdruck erhalten bleibt. Um das sicherzustellen, ist immer

- bei Einschraubverbindungen mindestens ein Sicherungselement und
- bei Durchsteckverbindungen auf beiden Seiten mindestens ein Sicherungselement

gegen Lockern und bei zu erwartenden Relativbewegungen auch gegen selbsttätiges Losdrehen mit zu verspannen. Eine Auswahl an Sicherungselementen ist Tabelle A.1 zu entnehmen. Die Verwendung von Klebstoffen ist zur Sicherung von Schraubenverbindungen, die Betriebs- und Fehlerströme führen, nicht zugelassen.

Schraubenverbindungen für elektrische Anwendungen sind so zu konstruieren, dass ein Losdrehen der Verschraubung aufgrund von Kabelbewegungen, die ein Drehmoment um die Schraubenachse erzeugen, vermieden wird.

4.3 Schweißen von Schraubenverbindungen

Das Schweißen von Schraubenverbindungen ist nur zulässig, wenn die Schrauben oder Muttern eine nachgewiesene Schweißseignung besitzen, (z. B. Anschweißbolzen, Anschweißmutter).

Das Sichern von Schraubenverbindungen mit Schweißpunkten ist nicht zulässig.

5 Sicherungsmaßnahmen

5.1 Allgemeines

Im Bild 1 werden die Zusammenhänge des Vorspannkraftverlustes, der im Allgemeinen als Lösen bezeichnet wird, dargestellt. Es werden Maßnahmen aufgezeigt, die dem Vorspannkraftverlust entgegenwirken.

Eine Auswahl von Sicherungselementen wird in Tabelle A.1 aufgeführt. Sicherungselemente, die in ihren funktionalen Eigenschaften oder in einer Kombination ihrer funktionalen Eigenschaften, den aufgeführten Elementen entsprechen oder diese übertreffen, sind ebenfalls zulässig.

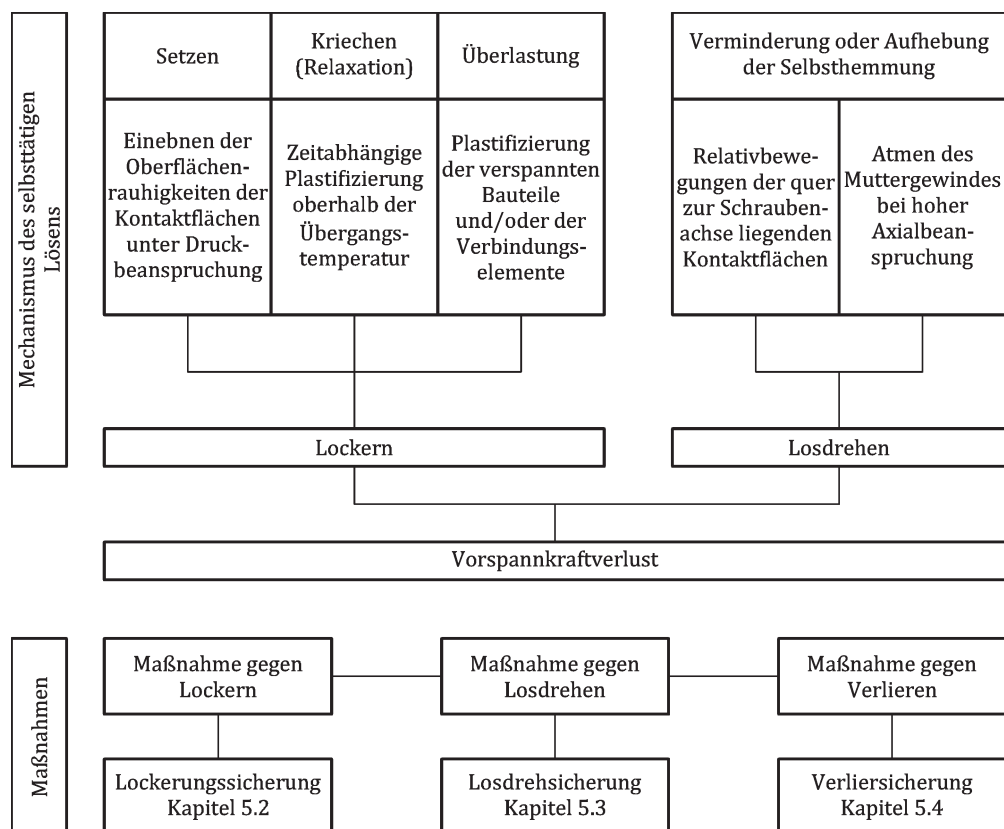


Bild 1 — Darstellung der Zusammenhänge des selbsttätigen LöSENS

5.2 Maßnahmen gegen Lockern

Maßnahmen gegen Lockern werden in Tabelle 1 aufgeführt.

Tabelle 1 — Maßnahmen gegen Lockern

Maßnahme	Wirksam gegen		
	Setzen	Kriechen	Überlast
Gestaltung von Verbindungen mit großer Nachgiebigkeit der Schrauben (Vergrößern der Klemmlänge; Verwendung von Dehnhülsen, Dehnschaftschraube)	ja	ja	ja
Verringern der Flächenpressung durch Vergrößerung der Auflageflächen	ja	ja	ja
Verringerung der Anzahl der Trennfugen	ja	bedingt	nein
Verwenden von Schrauben mit erhöhter Festigkeit zur Vergrößerung der Montagevorspannkraft	bedingt	nein	nein
Verwenden von federnden Verbindungselementen (z. B. Spannscheiben), jedoch unter der Bedingung, dass — die wirksame Federkraft dieser Elemente der erforderlichen Vorspannkraft der Schraubenverbindung angepasst ist, — das eingefügte Teil nicht das Risiko einer zusätzlichen signifikanten Setzung mit sich bringt, — die Elastizität der Verbindungselemente während der gesamten Lebensdauer der Verbindung erhalten bleibt.	ja	nein	nein
Verringern der Rautiefen	ja	nein	nein
Vermeiden von dicken Beschichtungen	ja	nein	nein

5.3 Maßnahmen gegen selbsttätiges Losdrehen

Zur effektiven Sicherung der Schraubenverbindungen gegen selbsttätiges Losdrehen müssen folgende Vorgaben eingehalten sein:

- Gleitfest auslegen nach VDI 2230 Blatt 1:2015-11, d. h. kein Gleiten an den Klemmflächen, für außergewöhnliche und betriebliche Lastfälle; oder
- Gleitfest auslegen nach VDI 2230 Blatt 1:2015-11 für betriebliche Belastungen und zusätzliche formschlüssige Verbindung (z. B. spielbehafteter Formschluss) für die außergewöhnlichen Belastungen. Es ist ein gesonderter experimenteller oder rechnerischer Nachweis erforderlich, der die Anforderungen an Losdrehesicherheit und Ermüdungsfestigkeit nachweist. Durch ein wiederholtes, gegebenenfalls wechselseitiges Gleiten der verspannten Bauteile gegeneinander wird die Schraube zusätzlich zur axialen Belastung beansprucht. Ein Verfahren hierfür ist in Anhang D beschrieben.

Weitere Maßnahmen die dem Losdrehen entgegenwirken:

- Erhöhung der Montagevorspannkraft;
- Erhöhung der Elastizität der Schraube;
- Erhöhung der Reibung an den Auflageflächen von Schraube und Mutter;
- Reibung in der Trennfuge erhöhen (Erhöhung der Sicherheit gegen Gleiten);

- Verwendung von wirksamen sperrenden Sicherungselementen zur Verhinderung der Relativbewegung von Schraube bzw. Mutter (siehe Anhang A). Die Wirksamkeit muss durch Prüfung der Elemente mit dem Verfahren nach Anhang B nachgewiesen sein;
- Verkleben des Gewindes
 - a) mit anaerobem Klebstoff. Die Anforderungen sind mit dem Lieferanten oder Hersteller festzulegen. Die Drehfestigkeit ist nach DIN EN 15865 „Klebstoffe — Bestimmung der Drehfestigkeit von anaeroben Klebstoffen mit geklebten Gewinden“ zu prüfen;
 - b) mit mikroverkapseltem Klebstoff. Die funktionellen Eigenschaften und deren Prüfung sind in DIN 267-27 festgelegt.
- Erhöhung der Sicherungswirkung im Gewinde durch spezielle Gewindegeometrien, Nachweis nach Anhang B.

5.4 Maßnahmen gegen Verlieren

Die Selbsthemmung kann durch den Einsatz von entsprechenden klemmenden Elementen im Gewinde der Schraube oder der Mutter erhöht werden. Verliersicherungen (z. B. Muttern mit Klemmteil) können einen Verlust der Vorspannkraft nicht verhindern, sie verhindern nur ein Auseinanderfallen der Verbindung. (siehe Tabelle A.1)

Die funktionellen Eigenschaften und deren Prüfung sind in DIN EN ISO 2320 und DIN 267-28 festgelegt.

6 Anaerobe Flüssigklebstoffe

6.1 Anforderungen

6.1.1 Temperaturbereich

Die Anforderungen gelten für den Temperaturbereich – 40 °C bis 100 °C.

6.1.2 Beanspruchungsklassen

Je nach Anforderung wird für die klebende Schraubensicherung nach drei Beanspruchungsklassen unterschieden. Diese werden durch Vergleichsfestigkeiten (siehe Tabelle 2) abgegrenzt.

Tabelle 2 — Kurzzeichen, Beanspruchungsklasse und zugehörige Vergleichsfestigkeit

Kurzzeichen	Beanspruchungsklasse	Vergleichsfestigkeit
		τ_{ver} N/mm
N	niedrigfest, leicht demontierbar	3 bis 6
M	mittelfest, demontierbar	7 bis 15
H	hochfest, schwer demontierbar	über 16

6.1.3 Viskositätsbereiche

Durch die Wahl unterschiedlicher Viskositätsbereiche (siehe Tabelle 3) kann je nach Gewinde bzw. Spaltbreite ein Auslaufen des Flüssigklebstoffes während der Aushärtung vermieden werden.

Tabelle 3 — Viskositätsbereiche in Abhängigkeit von Gewinde bzw. Spaltbreite

Kennzahl	Viskositätsbereich mPa s	Gewinde	Maximale Spaltbreite mm
1	niedrigviskos: ≤ 200	$\leq M 10$	0,1
2	mittelviskos: von 200 bis 1 000	$\leq M 24$	0,2
3	hochviskos: von 1 000 bis 8 000	$\geq M 16$	0,25

6.2 Prüfung

Die Zugehörigkeit des Klebstoffes zu einer Beanspruchungsklasse wird an der Originalschraubenverbindung durch Ermittlung des Losbrechmomentes M_{LB} oder des Weiterdrehmoment M_P geprüft. Die Prüfung erfolgt nach DIN EN 15865.

Zusätzliche Prüfungen an der für den jeweiligen Einsatzzweck bestimmten Schraubenverbindung können erforderlich sein, da sich die Beanspruchungsklasse bei anderen Randbedingungen als denen in DIN EN 15865 festgelegten — insbesondere aufgrund von Oberflächenbeschichtungen der Verbindungselemente — ändern kann.

6.3 Bezeichnung

Bezeichnung eines Flüssigklebstoffes (FK), der Beanspruchungsklasse H und mit Viskositätsbereiche der Kennzahl 3.

Klebstoff DIN 25201 — 4 — FK — H3

Anhang A (normativ)

Übersicht zur Schraubensicherung

Tabelle A.1 — Übersicht zur Schraubensicherung

Ursachen des Vorspannkraftabfalls	Sicherungsart	Funktionsart	Auswahl zu Sicherungselementen	Anwendungshinweise		
Lockern	Lockerungs-Sicherung	-	-	Schrauben/Muttern	Scheiben	
				Festigkeitsklasse	Härteklasse	
					200 HV	300 HV
		mitverspannt Flächenpressung herabsetzend	Scheibe nach DIN 7349 DIN EN ISO 7089 DIN EN ISO 7090 DIN EN ISO 7092 DIN EN ISO 7093-1	8.8/8	ja	ja
				10.9/10	nein	ja
				A2-70/A4-80	ja	nein
		mitverspannt federnd	Spannscheibe nach DIN 6796	8.8/8	Reduzierung von Setzkraftverlusten; Federkennwerte sind in der Schraubenauslegung zu berücksichtigen.	
			Sperrkantring ^a	8.8/8 A2-70 A4-80	für elektrische Anwendungen	

Tabelle A.1 (fortgesetzt)

Ursachen des Vorspannkraftabfalls	Sicherungsart	Funktionsart	Auswahl zu Sicherungselementen	Anwendungshinweise
Selbsttätiges Losdrehen	Losdrehsicherung (Nachweis nach Anhang B)	sperrend, z. T. mitverspannt	Elemente mit Nachweis nach Anhang B, z. B.: Rippsschraube, Rippmutter, Keilsicherungsscheiben, Sperrkantscheibe	Überall dort anzuwenden, wo hoch vorgespannte Schraubenverbindungen wechselnden Querbelastrungen ausgesetzt sind und keine gehärteten Oberflächen vorhanden sind. Härte der Auflagefläche muss niedriger als die der Auflageflächen von Schraube und Mutter bzw. der mitverspannten Elemente sein. Diese Sicherungselemente sind nur wirksam, wenn sie direkt unter dem Schraubenkopf und der Mutter angeordnet sind.
		klebend	Mikroverkapselter Klebstoff entsprechend DIN 267-27	Anwendbar, wenn die Härte der Auflagefläche niedriger als die der Sperrverzahnung ist. Temperaturabhängig. Einsatz bei elektrischen Anwendungen nicht erlaubt. Bei Einsatz von Klebstoffen dürfen die Gewinde nicht geschmiert werden.
			Flüssigklebstoff	Die Temperaturgrenzen für die zur Anwendung kommenden Klebstoffe sind unbedingt zu beachten. Einsatz bei elektrischen Anwendungen nicht erlaubt. Bei Einsatz von Klebstoffen dürfen die Gewinde nicht geschmiert werden.
	Verliersicherung	klemmend	Muttern mit Klemmteil nach DIN EN ISO 7040, DIN EN ISO 7042, Schrauben mit Kunststoff-Beschichtung im Gewinde nach DIN 267-28	Dort einzusetzen, wo es bei Schraubenverbindungen primär darum geht, eine restliche Vorspannkraft zu erhalten und die Verbindung gegen Auseinanderfallen zu sichern. Für Muttern und Schrauben mit Kunststoffeinsatz ist die Temperaturabhängigkeit zu beachten. Bei elektrischen Anwendungen darf es zu keiner Spannbildung durch Ganzmetallmuttern kommen.
^a Sicherungselemente, die einen ständigen Kontaktdruck zwischen den verspannten Teilen sicherstellen z. B. Spannscheiben, Sperrkantscheiben und Sperrkantring.				

Anhang B (normativ)

Prüfvorschrift zum Nachweis der Losdrehbarkeit von gesicherten Schraubenverbindungen

B.1 Ziel und Versuchsarten

Die Prüfvorschrift ist ein allgemeines Qualifizierungsverfahren für die prinzipielle Funktionsfähigkeit eines Sicherungselementes gegen selbsttätiges Losdrehen unter dynamischer Querbelastung (Vibration).

Ziel der Prüfung ist die Ermittlung und vergleichende Beurteilung des Sicherungsverhaltens von Schraubenverbindungen gegen selbsttätiges Losdrehen bei dynamischer Querbelastung unter definierten Prüfbedingungen. Die Beurteilung erfolgt durch den Vergleich der Ergebnisse aus

- Einstellversuchen an ungesicherten Schraubenverbindungen und
- Nachweisversuchen an den mit Sicherungselementen gesicherten Schraubenverbindungen.

Die Einstellversuche dienen dazu, die effektive Querverschiebung s_Q (Lastamplitude) als Bezugsgröße für die in den Nachweisversuchen zu bestimmende Sicherungswirkung auf der jeweiligen Prüfeinrichtung zu ermitteln.

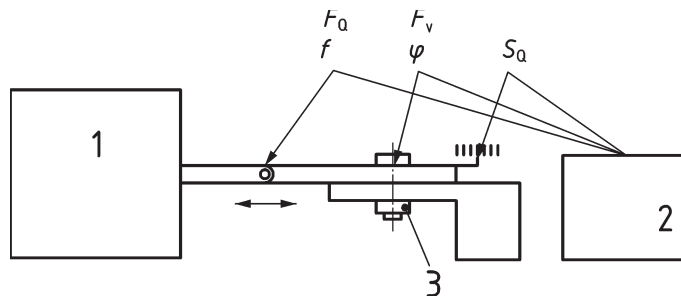
Für die Risikoklasse H und M sind die Prüfergebnisse mit den Randbedingungen des konkreten Einsatzfalls in Relation zu setzen. Liegen deutlich abweichende Randbedingungen (z. B. größere Verschiebewege) vor, so ist das Sicherungselement mit den konkreten Randbedingungen zu testen. Bei Sicherungselementen, die in Verschraubungen der Risikoklasse G eingesetzt werden, ist eine Übereinstimmung der Prüfparameter mit dem konkreten Einsatzfall nicht erforderlich.

Die dem Montageverfahren (Einteilung und Streuung siehe DIN 25201-2:2015-12, Tabelle 3) zugrunde liegende geringste Vorspannkraft wird berücksichtigt (Im Schienenfahrzeugbau üblich: drehmomentgesteuerte Montage). Eine Übertragung der Prüfergebnisse auf andere Prüfparameter (Durchmesser, Oberflächen, Werkstoffe, Schmierzustände, Vorspannkraftniveau) ist nicht zulässig.

Bei den Vorgaben dieser Prüfvorschrift wird unterstellt, dass die Prüfgarnitur auch bei voller Vorspannkraft (Anziehfaktor $\alpha_A = 1$) eine vergleichbare Sicherungswirkung erreichen.

B.2 Prüfeinrichtung

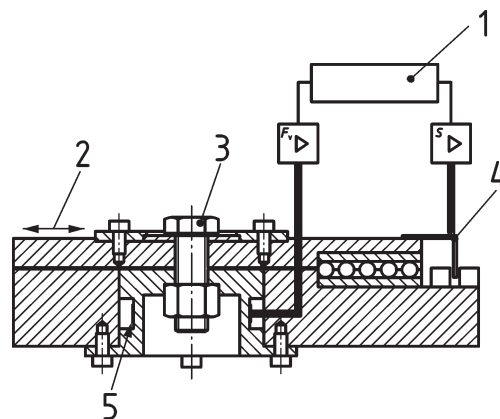
Die Prüfeinrichtung zur Durchführung der Einstell- und Nachweisversuche muss DIN 65151 entsprechen. Der prinzipielle Aufbau der Prüfeinrichtung mit den erforderlichen Messgrößen Vorspannkraft F_V , Querverschiebungsamplitude s_Q , Prüffrequenz f , Lastwechselzahl N , und den optionalen Messgrößen Querkraftamplitude F_Q und dem Losdrehwinkel φ geht aus dem Bild B.1 hervor. Das Beispiel eines Prüfblocks zeigt Bild B.2.



Legende

- 1 Kraft- oder Wegerregung
- 2 Datenaufnahme und -auswertung
- 3 Schraubenverbindung, Probe

Bild B.1 — Prinzipieller Aufbau der Prüfeinrichtung



Legende

- 1 Datenaufnahme und -auswertung
- 2 Verschiebeweg
- 3 Schraubenverbindung, Probe
- 4 Wegaufnehmer
- 5 Kraftmesseinheit

Bild B.2 — Prüfblock

B.3 Prüfgarnitur

Eine Prüfgarnitur besteht für den:

- Einstellversuch aus Schraube und Mutter oder Einschraubteil mit jeweils genormten Regelabmessungen und einer austauschbaren Gegenlage;
- Nachweisversuch aus Schraube und Mutter oder Einschraubteil mit jeweils genormten Regelabmessungen, dem zu prüfenden Sicherungselement und einer austauschbaren Gegenlage.

B.4 Versuchsbedingungen

B.4.1 Prüffrequenz

Die reguläre Prüffrequenz beträgt nach DIN 65151 12,5 Hz. Eine Prüfung mit anderen Prüffrequenzen kann vereinbart werden. Bei abweichenden Prüffrequenzen muss sichergestellt sein, dass die Prüfeinrichtung hierfür geeignet ist und keine Resonanzen das Prüfergebnis beeinflussen. Die Temperatur ist zu berücksichtigen.

B.4.2 Teileverwendung

Sofern nicht anders festgelegt sind nur neue unbenutzte Teile als Prüfgarnitur zu verwenden.

Die Sicherungselemente müssen den Serienteilen in Abmessung und Beschaffenheit vollständig entsprechen.

Die Gewinde aller Teile sind vor der Vibrationsprüfung durch Überschrauben (Prüfung der Einschraubfähigkeit) auf Beschädigungen, die das Prüfergebnis verfälschen können, zu prüfen.

B.4.3 Gegenlagen

Die austauschbare Gegenlage ersetzt die Auflagefläche des Bauteils im Einbaufall. Ein Mitdrehen oder Gleiten der Gegenlage ist während der Prüfung (Anziehen, Vibration, Lösen) sicher zu verhindern.

Anforderungen bezüglich Härte und Werkstoff der Gegenlagen:

- Für Schrauben und Muttern mit Festigkeitsklassen ≤ 8.8 bzw. 8:
 - Nennhärte 200 HV. Härtebereich 185 HV bis 225 HV. Die Gegenlage ist vorzugsweise aus Kaltband nach DIN EN 10139 zu fertigen.
- Für Schrauben und Muttern mit Festigkeitsklassen ≤ 10.9 bzw. 10:
 - Nennhärte 300 HV. Härtebereich 295 HV bis 350 HV. Die Gegenlage ist aus verschleißfestem Vergütungsstahl, vorzugsweise nach DIN EN ISO 683-1, zu fertigen.
- Für Schrauben und Muttern aus nichtrostendem Stahl, die mit Scheiben nach DIN EN ISO 7089, DIN EN ISO 7090, DIN EN ISO 7093-1 oder ähnlichen Scheiben verbaut werden sollen:
 - Nennhärte 200 HV. Härtebereich 185 HV bis 225 HV. Die Gegenlage ist vorzugsweise aus Kaltband nach DIN EN 10139 zu fertigen.
- Bei der Prüfung mit Gegenlagen aus nichtrostendem Stahl sind Scheiben aus Werkstoffen nach DIN 65209:2010-04, Tabelle 2 zu verwenden.

Zur Sicherstellung der ebenen Auflage sind die Gegenlagen planparallel und eben zu schleifen. Die Rauheit der Oberfläche muss $R_a \leq 6,3 \mu\text{m}$ betragen. Die Schleifrichtung muss beim Einbau in Richtung der Querverschiebung des Oberschlittens weisen.

Der Bohrungsdurchmesser der Durchgangslöcher in den Gegenlagen muss DIN EN 20273 entsprechen:

- für Nenndurchmesser $\leq 16 \text{ mm}$ Durchgangsloch Reihe „fein“
- für Nenndurchmesser $> 16 \text{ mm}$ Durchgangsloch Reihe „mittel“

In Sonderfällen ist die Ausführung der Gegenlage mit dem Auftraggeber der Prüfung abzustimmen bzw. sie sollte dem Einbaufall der geprüft werden soll entsprechen.

B.4.4 Oberflächen

Die Oberflächen (unbehandelt, Korrosionsschutz) der Schraube und Mutter bzw. des Einschraubteils und des zu prüfenden Sicherungselements sind festzulegen, ggf. entsprechend des zu prüfenden Einbaufalls. Im Zweifel sollten die Oberflächenbeschichtungen der Schrauben und der Muttern der des zu prüfenden Sicherungselements entsprechen.

Die Gegenlagen sind blank und geschliffen.

B.4.5 Produktklassen (Grenzmaße, Toleranzen)

Die Produktklassen aller Teile der Prüfgarnitur sind festzulegen. Im Allgemeinen sollten die Teile der Produktklasse A oder B entsprechen.

B.4.6 Einbaulage der Schraubenverbindung

Die Schraubenverbindung ist als Durchsteckverbindung zu prüfen. Das zu prüfende Sicherungselement wird von dem querverschiebbaren Oberteil der Prüfeinrichtung aufgenommen. Das Verbindungselement (Mutter oder Schraubenkopf) im feststehenden Unterteil muss verdrehsicher angeordnet sein.

Es ist dieselbe Einbaulage bei den Einstell- und Nachweisversuchen zu verwenden. Diese ist im Prüfbericht anzugeben.

Ist dies aus Gestaltungsgründen nicht möglich (z. B. wenn das Sicherungselement Teil der Mutter ist), so kann die Schraube im feststehenden Teil der Prüfeinrichtung gehalten werden und das zu prüfende Sicherungselement wird von dem querverschiebbaren Oberteil der Prüfeinrichtung aufgenommen. Dies ist im Prüfbericht zu erwähnen. Die Einstellversuche mit den ungesicherten Schraubenverbindungen sind in diesem Fall mit der gleichen Einbaulage durchzuführen.

Die Übertragbarkeit auf Einschraubverbindungen ist zu bewerten. Hierbei ist insbesondere die Einschraublänge zu berücksichtigen.

B.4.7 Klemmlängenverhältnis der Schraubenverbindung

Das Klemmlängenverhältnis der zu prüfenden Schraubenverbindung muss $1,7 \pm 0,1$ betragen.

ANMERKUNG Die Erhöhung des Klemmlängenverhältnisses im Vergleich zum Einstellversuch wird bei der Prüfung von Sicherungselementen als Teil der Sicherungsfunktion angesehen.

B.5 Versuchsdurchführung

B.5.1 Verspannen und Vorspannkraft

Die Prüfgarnitur wird verspannt, bis die entsprechend des Montagefalls vorgegebene minimale Montagevorspannkraft erreicht ist. Die Vorspannkraft für das drehmomentgesteuerte Anziehen ist der Tabelle B.1 zu entnehmen und entspricht 50 % (siehe Anziehfaktor $\alpha_A = 2$) der in DIN 25201-2:2015-12, Tabelle C.1, angegebenen Montagevorspannkraft $F_{M\ Tab}$ für die Reibungszahl $\mu_G = 0,14$.

Die Schraubenverbindung ist langsam und gleichmäßig vorzuspannen (etwa 2 Umdrehungen je Minute). Ein Nachziehen bei Vorspannkraftabfall innerhalb von 30 s nach Montagebeginn ist zulässig. Die Grenzabweichungen für die Vorspannkraft beim Anziehen betragen $\pm 0,2$ kN, maximal 2 % der in der Tabelle B.1 vorgegebenen Werte. Bei chemischen Sicherungsmethoden ist abweichend die Mindestaushärtezeit der Produkte zu berücksichtigen.

Bei chemischen Sicherungen ist die Produktspezifische Aushärtezeit zu beachten.

Tabelle B.1 — Für die Versuche einzustellende Vorspannkkräfte F_V

Schrauben- festigkeitsklasse DIN EN ISO 898-1, DIN EN ISO 3506-1	Versuchsvorspannkraft F_V [kN] zur Prüfung von Elementen zur Losdreh Sicherung									
	M5	M6	M8	M10	M12	M16	M20	M24	M30	M36
8.8	3,5	5,0	9,1	14,4	21,0	39,4	64	92	146	214
10.9	5,2	7,3	13,3	21,1	30,8	57,9	91	130	208	304
A2-70	2,5	3,5	6,4	10,2	14,8	27,8	44	63		
A4-80	3,3	4,7	8,5	13,5	19,7	37,1	58			

ANMERKUNG Die Festigkeitsklasse Kl 100 von z. B. Rippsschrauben ist vergleichbar mit der Festigkeitsklasse 10.9 entsprechend DIN EN ISO 898-1.

Bei abweichenden Abmessungen, Festigkeitsklassen und Anziehverfahren müssen die Vorspannkkräfte entsprechend festgelegt werden.

Beim Verspannen ist darauf zu achten, dass die Durchgangsbohrungen der zueinander verschiebbaren Platten konzentrisch zueinander ausgerichtet sind (siehe Bild B.3; Start bei Querverschiebung 0 mm). Die Grenzabweichungen der Konzentrizität müssen bis M12 $\pm 0,05$ mm und ab M14 $\pm 0,10$ mm betragen.



Bild B.3 — Montageposition am Prüfstand

B.5.2 Schmierung der Prüfgarnitur

Alle Kontaktflächen (Schraubenkopf- bzw. Mutterauflage, Auflage des Sicherungselementes und die Gegenlage) und das verschraubte Gewinde sind mit einem für den Anwendungsfall geeigneten Schmierstoff, z. B. Festschmierstoffpaste auf MoS₂-Basis oder Gleitlack zu versehen. Bei der Prüfung von chemischen Gewinde Sicherungen muss die Auflagefläche geschmiert werden, das Gewinde darf nicht geschmiert werden.

Eine durch eventuelles „Fressen“ vorgetäuschte Sicherungswirkung kann durch Auswertung des Anzieh- und oder Losdrehmoments und durch visuelle Überprüfung der Oberflächen der Prüfteile nach der Prüfung festgestellt werden. Prüfungen bei denen „Fressen“ auftritt, dürfen nicht für die Bewertung herangezogen werden.

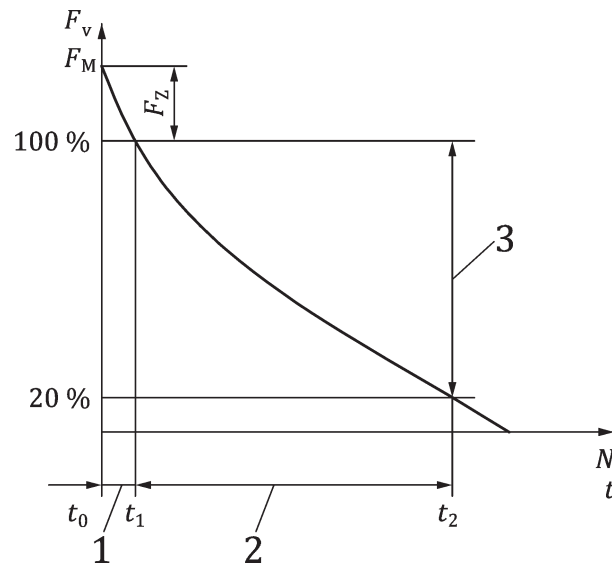
ANMERKUNG Beim Einsatz von bestimmten Sicherungselementen kann das Losdrehmoment erhöht sein.

B.5.3 Einstellversuche

Die Einstellversuche sind an einer ungesicherten Schraubenverbindung mit der gleichen Einbaulage und den gleichen Parametereinstellungen, wie sie für die Nachweisversuche zur Bestimmung der Sicherungswirkung des zu prüfenden Sicherungselementes vereinbart sind, durchzuführen.

Bei den Einstellversuchen wird die effektive Querverschiebung durch entsprechende Einstellungen des Antriebs der Prüfeinrichtung (Hub) variiert. Die Prüfung wird nach dem Setzen (2 min bis höchstens 3 min) gestartet. Ein gültiger Einstellversuch, d. h. mit einer Querverschiebung, bei der nach 300 $\pm$ 100 Lastwechseln ein nahezu vollständiger Vorspannkraftverlust von mindestens 80 % (bezogen auf die Vorspannkraft beim Start des Einstellversuchs), bzw. Restvorspannkraft maximal 20 % eintritt, siehe Bild B.4, muss aus Gründen der Reproduzierbarkeit dreimal mit neuen Teilen durchgeführt werden. Diese Querverschiebung wird den Nachweisversuchen zugrunde gelegt. Da sich die effektive Querverschiebung aufgrund des Vorspannkraft-

verlusts infolge Losdrehens und der daraus resultierenden abnehmenden Quersteifigkeit der Verbindung bei nicht geregelten Antriebssystemen während des Vibrationsversuchs ändert, sollte diese im 2. Lastwechsel ausgewertet werden.



Legende

- 1 Setzen
- 2 Vibrationstest
- 3 Auswertebereich
- F_M Montagevorspannkraft, in N
- F_V Vorspannkraft, in N
- F_Z Vorspannkraftverlust durch Setzen, in N
- N Lastwechselzahl
- t Zeit, in s
- t_0 Abschluss Montage, in s
- t_1 Abschluss Setzen/Start Vibrationstest, in s
- t_2 Abschluss Vibrationstest, in s

Bild B.4 — Auswertung des Einstellversuchs

B.5.4 Nachweisversuche

Die Nachweisversuche sind bis

- zum vollständigen Vorspannkraftverlust durchzuführen oder
- nach 2 000 Lastwechseln abubrechen.

Je Messreihe sind 12 Versuche durchzuführen.

Für Typprüfungen muss jeder Durchmesser, jede Oberflächenbeschichtung, jeder vorgesehene Schmierzustand und jede Gegenlage (Werkstoff, Oberfläche) durch den Nachweisversuch erfolgreich geprüft werden. Eine Übertragung eines Nachweisversuches auf andere Nenndurchmesser darf nicht erfolgen.

B.5.5 Messgrößen

Während der Einstell- und Nachweisversuche sind die folgenden Parameter zu messen und zu protokollieren:

- Montagevorspannkraft F_M ;
- Vorspannkraft zu Beginn des Vibrationsversuchs ($t = t_1$) F_V ;
- Eingestellte Querverschiebung $s_{Q, \text{leer}}$;
- Effektive Querverschiebung unter Last $s_{Q, \text{eff}}$ und
- Anzahl der Lastwechsel N ;
- Anziehdrehmoment M_A ;
- Losdrehmoment M_L ;
- Optional: Querkraft F_Q ;
- Optional: Losdrehwinkel während des Vibrationsversuchs φ ;
- Optional: Anziehdrehwinkel φ_A ;
- Optional: Losdrehwinkel φ_L .