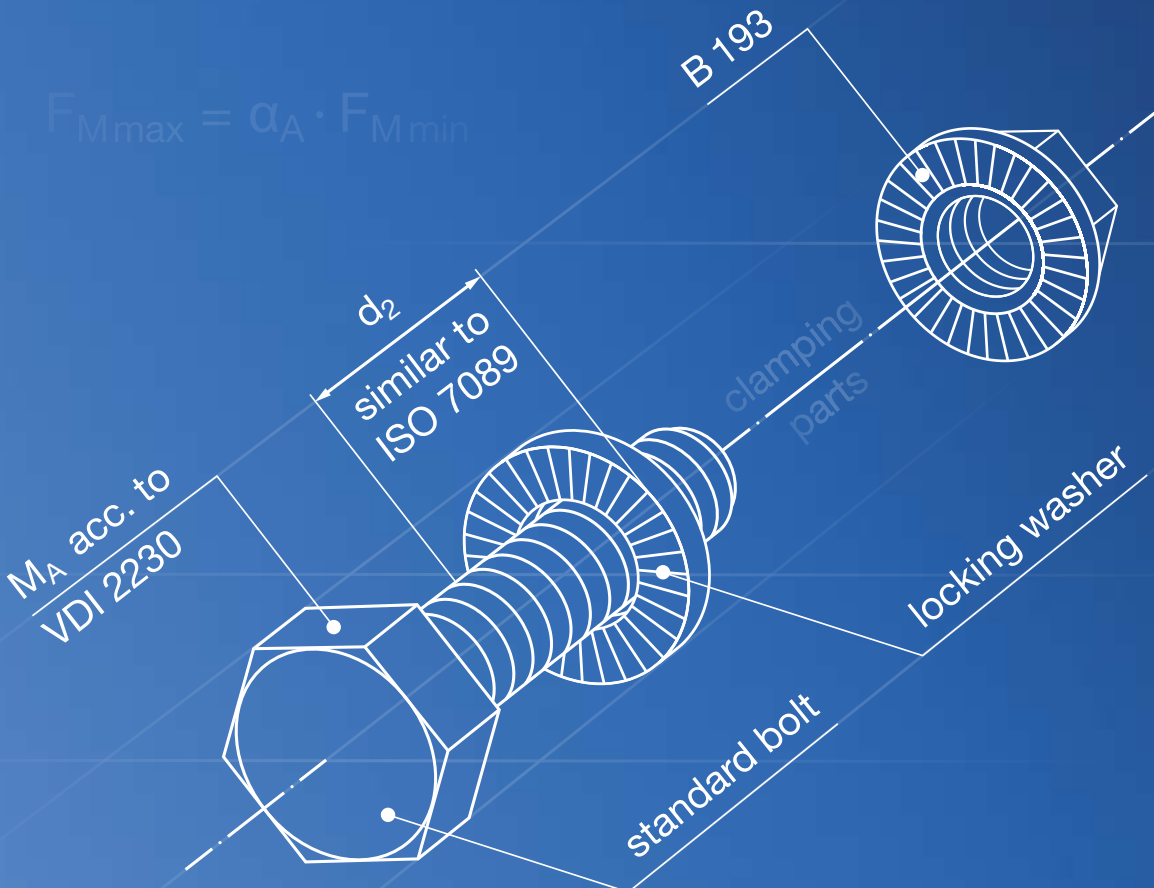


BÖLLHOFF

Technik rund um Schrauben

8. Auflage

$$F_{Mmax} = \alpha_A \cdot F_{Mmin}$$



BÖLLHOFF

TECHNIK RUND UM SCHRAUBEN

Böllhoff GmbH
Niederlassungen in Deutschland und Österreich
Bielefeld · Leipzig · München · Stuttgart · Traun

Weitere Gesellschaften in:
Argentinien · Brasilien · China · Frankreich · Großbritannien
Indien · Italien · Japan · Kanada · Mexiko · Polen
Rumänien · Russland · Schweiz · Slowakei · Spanien
Thailand · Tschechien · Türkei · Ungarn · USA



Wir schaffen erfolgreiche Verbindungen.

Böllhoff ist weltweit Partner für 360° Verbindungstechnik mit Montage- und Logistiklösungen. Als familiengeführtes Unternehmen stehen wir seit 1877 für langfristigen Erfolg durch Innovationskraft und Kundennähe. Wir kennen die spezifischen Anforderungen unserer Kunden aus allen Industrien und unterstützen sie dabei, erfolgreiche Verbindungen zu schaffen.

www.boellhoff.com

BÖLLHOFF

Einleitung

Im täglichen Umgang mit dem komplexen Gebiet der Verbindungstechnik stellen sich immer wieder Fragen, die über die normalen Angaben in Normen hinausgehen.

Dieses technische Handbuch soll dazu dienen, einen Überblick über die „Technik rund um Schrauben“ zu vermitteln, um den Anwender in diesen Fragen zu unterstützen.

Es soll Zusammenhänge zwischen den Produkten und ihren mechanischen Eigenschaften aufzeigen, Unterstützung bei der Auslegung, Sicherung und

Montage der Verbindungselemente geben, ihre Bedeutung erläutern sowie für die tägliche Arbeit wichtige Informationen zusammenfassen. 1987 erschien die erste Ausgabe der „Technik rund um Schrauben“. Der Inhalt der bis dato gültigen siebten Auflage von 2014 wurde für die Ihnen vorliegende Ausgabe umfassend überarbeitet und aktualisiert.

Sollten Sie eine weitergehende Unterstützung wünschen, steht Ihnen unser Team der Anwendungstechnik kompetent zur Seite.



ECOTECH: Die Verbindungsoptimierer stellen sich vor

ECOTECH ist ein im Markt einzigartiger Engineering Consulting Service, mit dem Böllhoff als Anbieter von 360° Verbindungstechnik und der Kompetenz als Hersteller und Dienstleister technologieoffene, produktneutrale Lösungen für verschiedene Branchen bietet. Das heißt, dass wir Ihnen immer die bestmögliche Verbindungstechnik unabhängig von Produkt, Hersteller oder Marke empfehlen.

Dadurch ergibt sich ein besonders hohes Potenzial an Kosteneinsparungen bei der Beschaffung und in der Nutzung der Verbindungstechnik für den Kunden. Indem ECOTECH die Verbindungstechnik perfektioniert, können Prozesse optimiert und so

Produktionskosten gesenkt werden. Damit werden vorhandene bzw. neue Schraubverbindungen angepasst und somit die Gesamtkosten reduziert. Standardisierung und Reduzierung steigern die Nachhaltigkeit im Sinne des richtigen Werkstoffs und der richtigen Oberfläche.

Inhaltsverzeichnis

Inhalt	Seite	Kapitel
Kategorien von Schrauben und Muttern	8 – 11	01
Auslegung einer Schraubenverbindung	12 – 21	02
Werkstoffe, Warenzeugnisse und Prüfbescheinigungen	22 – 41	03
Normen und Richtlinien für Verbindungselemente	42 – 55	04
Herstellung	56 – 63	05
Gewinde	64 – 72	06
Montageverfahren und Schraubensysteme	73 – 83	07
Direktverschraubungen	84 – 91	08
Schraubensicherungen	92 – 103	09
Dichtungstechnik	104 – 109	10
Korrosionsschutz	110 – 126	11
ECOTECH	127 – 128	12

Eine Vielzahl von Möglichkeiten und individuellen Anwendungen belegt, wie komplex und umfassend die Aufgabe sein kann, das ideale Verbindungselement für die vorgesehene Anwendung zu identifizieren bzw. zu qualifizieren.

Die Problematik zeigt sich insbesondere dann, wenn man sich die Variantenvielfalt im Zusammenhang mit der Kombinationsmöglichkeit aus Artikelattributen vor Augen führt.

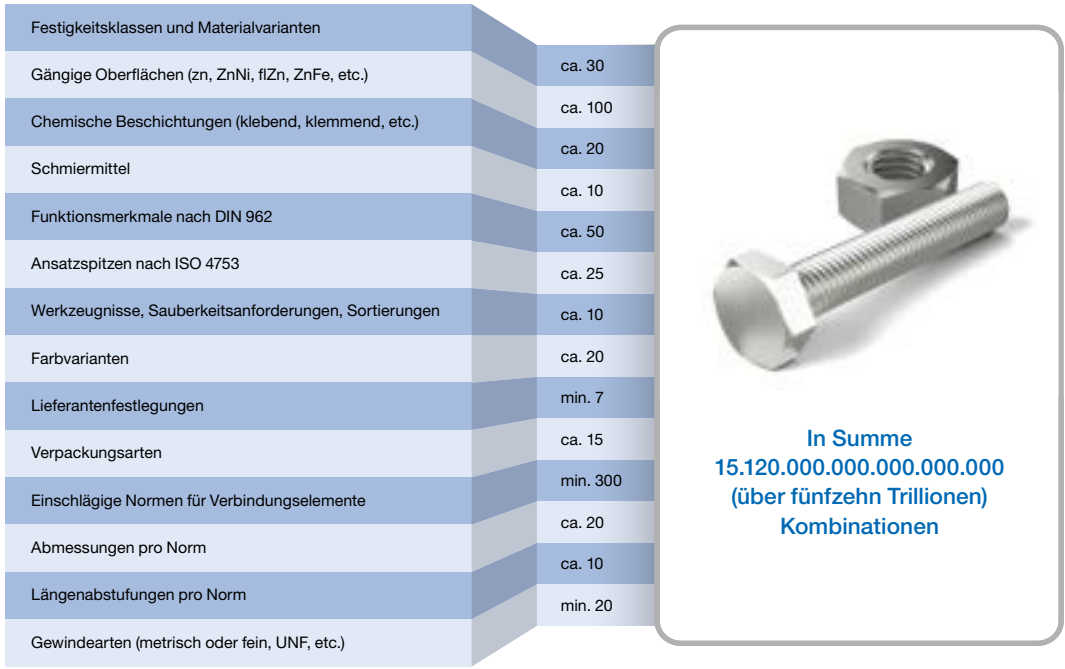


Bild 1.1 Darstellung der Komplexität von Verbindungselementen durch die Kombination von Attributen

Das Bild 1.1 verdeutlicht, dass sich allein aus diesen sehr klassischen Eigenschaften eine Vielfalt von mehr als fünfzehn Trillionen Verbindungselementen ergibt. Diese enormen Mengen an Artikeln lassen sich selbstverständlich nicht in einem Lager bevorraten. Daher ergibt sich die Fragestellung, wie man eine so diverse und umfängliche Sammlung von Produkten und Varianten sinnvoll klassifizieren kann.

Eine generelle und universell verwendbare Antwort lässt sich hier nicht geben. Denn klar ist, dass sich bei einer so großen Menge an Verbindungselementen und Kombinationsmöglichkeiten nicht alle Attribute in ein Cluster einordnen lassen. Trotzdem gibt es bei vielen Elementen eine Ähnlichkeit in Geometrie und / oder des möglichen Anwendungsbereichs.

Verschraubungsart

Schrauben-Muttern-Verbindung:

Diese Art der Verschraubung ist die wohl klassischste Art, eine Schraubenverbindung zu erzeugen. Hierfür werden mindestens zwei Elemente (Schraube und Mutter) miteinander verschraubt, wobei sich das Innengewinde auch in einem der zu montierenden Bauteile befinden kann.

Innenantriebe

Vorteile

- Gute Automatisierbarkeit
- Geringeres Gewicht
- Vielfalt an Antriebsarten

Nachteile

- Verschmutzungsrisiko
- Teilweise geringe Kraftübertragung z. B. Kreuzschlitzantriebe

Abgesehen von den Antriebsarten bzw. den geometrischen Ausführungen der Kopfform, lassen sich an Schrauben und Muttern Zusatzfunktionen applizieren. Beispiele hierfür sind:

Schraubensicherungen, die das Lösen der Schraubverbindung auch bei hohen dynamischen Belastungen verhindern sollen. Einfädelspitzen (siehe Bild 1.2), die auch unter widrigen Montage-situationen ein Beschädigen des Muttergewindes verhindern können.

Das sogenannte Cross Threading tritt insbesondere dann auf, wenn ein Monteur die Schraube schräg an das Muttergewinde ansetzt. Dann kann es bei klassischen Schrauben zu Beschädigungen an den Gewinden kommen. Abhilfe schaffen entsprechende Naviscrews, also Schrauben mit einer Findelspitze, die tiefer in das Gewinde eingreift (siehe Bild 1.3) und dadurch ein Zentrieren der Schraube ermöglicht.

Dabei wird durch das Anziehen der Schrauben-Muttern-Verbindung eine Klemmkraft auf die einzelnen Komponenten übertragen. Bei der Wahl der Schraube können geometrisch folgende Unterscheidungen getroffen werden:

Außenantriebe

Vorteile

- Gute Werkzeugverfügbarkeit
- Kein Verschmutzungsrisiko
- Gute Zugänglichkeit

Nachteile

- Höheres Gewicht
- Mehr Platzbedarf für das Montagewerkzeug
- Manipulationsschutz eingeschränkt



Bild 1.2 Darstellung einer Naviscrew

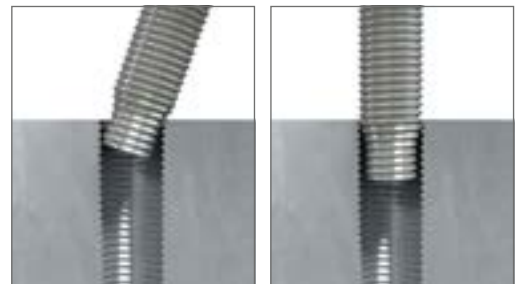


Bild 1.3 Einschraubsituation bei Verwendung einer Naviscrew

Direktverschraubung

Bei den Direktverschraubungen entfällt das zusätzliche Mutternelement bzw. es muss kein Gewinde in den Montagekomponenten erzeugt werden, denn die Direktverschraubung generiert sich ihr eigenes Aufnahmegewinde in das Einschraubteil. Weitere Details hierzu werden im Kapitel 8 ausführlich erläutert. Wesentlich für diesen Abschnitt ist jedoch die Differenzierung der Verbindungselemente in diesem Cluster hinsichtlich ihres Einsatzfalls. Im Allgemeinen ermöglichen die Materialien, in die die Schrauben eingeschraubt werden sollen, Unterscheidungen vorzunehmen.



Bild 1.4 Gewindefurchende Schraube

Blechschauben

Blechschauben werden für den Einsatzzweck in Blechen, zumeist dünnwandigen Stahl-, Edelstahl- oder Leichtmetall-Materialien verwendet.

Hier lassen sich drei verschiedene Produkttypen unterscheiden. Blechschauben für vorhandene Bohrungen, also Schrauben, bei denen im Werkstück bereits durch einen Bohr-, Stanz- oder Laserprozess ein Einschraubloch vorgesehen ist.

Alternativ, wenn die Lochvorbereitung an dem Werkstück nicht vorbereitet werden kann oder soll, können auch Bohrschrauben eingesetzt werden, welche an der Gewindespitze ein Bohrwerkzeug appliziert haben.

Eine weitere Variante für Blechschauben ohne Vorloch sind sogenannte Dünnblechschauben. Diese verfügen über eine ausgeprägte Spitzengeometrie, welche das dünne Blech (meist < 1 mm) durchdringt und einen Durchzug ausformt. Der Vorteil ist, dass neben der Prozessbeschleunigung zusätzlich mehr Gewindegänge in den Eingriff kommen und so höhere Lasten übertragen werden können.



Bild 1.5 QUICK FLOW® Dünnblechschaube für Dünnbleche ohne Vorloch



Bild 1.6 AMTEC®-Schrauben für thermoplastische Kunststoffe

Einsatz in Kunststoffen

Für Kunststoffe werden spezielle Flankengeometrien und Kerndurchmesser konstruktiv vorgesehen, um so eine optimale Performance in den Kunststoffen zu gewährleisten. Es lassen sich unterschiedliche Gewindetypen unterscheiden, die je nach Art des Kunststoffes (Thermo- oder Duroplaste) zum Einsatz kommen.

Metallische Werkstoffe

Bei metallischen Werkstoffen finden sich eine Vielzahl von Schrauben, die normativ definiert sind (DIN 7500) und von Haus aus ein metrisches bzw. metrisch kompatibles Gewinde bei der Erstmontage erzeugen. Diese ermöglichen eine sehr wirtschaftliche Fertigung, können aber im Wartungsfall durch Standardschrauben ausgetauscht werden.

Sonderformen

Ferner gibt es auch Sonderformen von Schrauben, die für einen festen Anwendungsfall entwickelt worden sind und in Standards der DIN oder der ISO definiert werden. Beispiele hierfür sind sogenannte Ringschrauben nach DIN 580, die zum Heben von Lasten geeignet sind oder aber auch Werksnormen, bei denen zusätzliche Sicherungsfunktionen mit gängigen Verbindungselementen kombiniert werden wie z. B. bei unserem RIPP LOCK® Portfolio.

Die Produktvielfalt zeigt, dass es nicht die eine „richtige“ Schraube bzw. das „richtige“ Verbindungselement gibt. Stattdessen kommt es auf eine sinnvolle Auswahl und Kombination geeigneter Artikelattribute an. Durch clevere Kombination von Eigenschaften können neue Anwendungsfelder erschlossen werden und vorhandene Konstruktionen sowohl ökonomisch als auch technisch verbessert werden.

Auslegung einer Schraubenverbindung

Die Schraube gehört zu den universellen und weit verbreiteten Verbindungselementen.

Aufgrund von unterschiedlichen Anforderungen an Verbindungen in unterschiedlichsten Branchen und Einsatzfällen, haben sich mit der Zeit bestimmte Schraubenarten wie z. B. metrische Schrauben, gewindefurchende Schrauben, Blech- und Dünnblechschrauben, Holzschrauben, etc. in der Industrie etabliert.

Neben Sonderlösungen steht heute eine große Vielzahl international genormter und weltweit verfügbarer Verbindungselemente in verschiedenen Formen, Abmessungen, Werkstoffen und Festigkeitsklassen zur Auswahl.

Für die Auslegung von bestimmten Schraubenverbindungen wurden entsprechende Regeln festgelegt und in Normen festgehalten, s. Tabelle 2.1.

Inhalt	Kapitel
DIN EN 1591	Teil 1 bis 5: Flansche und Verbindungen – Regeln für die Auslegung von Flanschverbindungen mit runden Flanschen und Dichtung (siehe auch DIN EN 1515)
AD 2000 Merkblatt B7	Berechnung von Druckbehältern – Schrauben
VDI-Richtlinie 2230	Systematische Berechnung hochbeanspruchter Schraubenverbindungen
DVS 2241	Teil 1: Direktverschraubung von Formteilen aus Kunststoffen
DIN 7500	Gewindefurchende Schrauben für Metalle
DIN EN ISO 13445	Unbefeuerte Druckbehälter – Teil 3: Konstruktion
DIN 15018	Teil 1 bis 3: Krane; Stahltragwerke; Grundsätze für Stahltragwerke
DIN 18800	Stahlbauten – Teil 1: Bemessung und Konstruktion
DIN 25201	Teil 2 und 3: Konstruktionsrichtlinie für Schienenfahrzeuge und deren Komponenten – Schraubenverbindungen

Tabelle 2.1 Regeln und Normen zur Auslegung von Schraubenverbindungen (ohne Anspruch auf Vollständigkeit)

So werden im Bereich des Maschinenbaus kritische Schraubenverbindungen nach der VDI 2230 als hochfeste, vorgespannte und gleitfeste Verbindungen ausgelegt und berechnet. Demnach muss das Anziehdrehmoment so festgelegt werden, dass die resultierende Vorspannkraft zu einem reinen Reibschluss in der Trennfuge zwischen den Bauteilen führt und diese sich nicht gegeneinander verschieben lassen. Eine Auslegung auf Lochleibung, wie z. B. bei Passschrauben oder Nietverbindungen, ist im Maschinenbau nicht zulässig, da sich hier die Bauteile auf dem Schraubenschaft abstützen.

Im Bereich des Druckgeräte- und Rohrleitungsbaus werden je nach Behälterart, z. B. befeuert oder unbefeuert, und je nach Anforderungen, Flanschverbindungen mit Dichtungen im Hauptschluss nicht nach der VDI 2230, sondern u. a. nach der DIN EN 1591, der DIN EN ISO 13445 oder AD 2000-Merkblatt B7 ausgelegt. Zur Beurteilung der Belastungsvorgänge werden die Auslastungsgrade für Flansch, Schrauben und Dichtung ermittelt.

Gewindefurchende Schrauben müssen nicht nur mehrere Bauteile miteinander verbinden, sondern auch fähig sein, ein Gegengewinde zu formen. Die Auslegung, um diese Anforderungen zu erfüllen, wird für gewindefurchende Schrauben in Metall in der DIN 7500 und für gewindefurchende Schrauben in Kunststoff in der DVS 2241 behandelt. Eine genormte, rein rechnerische Auslegung ist aufgrund der vielfältigen Einflussgrößen derzeit nicht vorhanden. Es sind daher immer Verschraubungsversuche, in denen u. a. der Vorbohrungsdurchmesser, das Füge- und das Überdrehmoment ermittelt werden, notwendig.

Letztendlich ist die Auslegung von Schraubenverbindungen stark vom Anwendungsfall und den Anforderungen an die Verbindung abhängig. Aktuell gibt es einige genormte Werke zur Auslegung von Schraubenverbindungen. Im Folgenden soll die Auslegung nur im Bereich des Maschinenbaus betrachtet werden.

Konstruktionsprinzip

Die Tragfähigkeit einer Schraube hängt stark von der Schraubengeometrie und von den auf die Schraube wirkenden Montage- und Betriebskräften ab. Wirkt auf die Schraube eine zu hohe Belastung, so versagt die Schraube am Ort der geringsten Tragfähigkeit.

Betrachtet man die Schraube im Detail, so kann die Schraube in mehrere Tragfähigkeitsbereiche unterteilt werden. In Bild 2.1 sind die Tragfähigkeitsbereiche dargestellt und die in diesen Bereichen möglichen Schrauben-Versagensarten eingezeichnet.

	Tragfähigkeit	Versagensort	Versagen durch:
Kopf	$F_{S\text{ Kopf}}$	1	Abscheren des Schraubenkopfes
		2	Bruch am Übergang Kopf - Schaft
Schaft	$F_{B\text{ Schaft}}$	3	Bruch im ungekerbten Schaftteil
freies belastbares Gewinde	$F_{B\text{ Gewinde}}$	4	Bruch im Gewindeauslauf
		5	Bruch im freien belasteten Gewinde
im Eingriff befindliches Gewinde	$F_{S\text{ Gewinde}}$	6	Bruch im ersten tragenden Gewindegang
		7	Abstreifen des im Eingriff befindlichen Bolzen- und/oder Muttergewindes

Bild 2.1 Konstruktionsprinzip für Schraubenverbindungen im Maschinenbau
 (Quelle: Schraubenverbindungen – Grundlagen, Berechnung, Eigenschaften, Handhabung – Wiegand, Kloos, Thomala)

Bei der Auslegung von Schraubenverbindungen im Maschinenbau hat sich seit langem das Konstruktionsprinzip bewährt. Das Konstruktionsprinzip verlangt, dass die Tragfähigkeiten des Schraubenkopfes, des Schraubenschaftes und des im Eingriff befindlichen Gewindes einzeln betrachtet höher sind als die Tragfähigkeit im freien belasteten Gewinde.

$$\text{Konstruktionsprinzip: } \begin{matrix} < F_{S\text{ Kopf}} \\ F_{B\text{ Gewinde}} < F_{B\text{ Schaft}} \\ < F_{S\text{ Gewinde}} \end{matrix}$$

Vereinfacht gesagt, soll die Schraube im Fall einer Überbeanspruchung der Schraubverbindung im freien, belasteten Gewinde brechen.

Mit der Abstimmung der Tragfähigkeiten auf diese Art und Weise, wird im Fall einer Überbeanspruchung einerseits eine definierte Versagensgrenze der Schraubenverbindung sichergestellt. Andererseits wird der bevorstehende Schraubenbruch an dieser Stelle i. d. R. durch eine vorangehende, plastische Verformung in Form einer Einschnürung und folglich durch z. B. Undichtigkeiten oder Geräuschentwicklung gelockerter Teile vorangekündigt. Demnach besteht die Möglichkeit einer rechtzeitigen Reparatur, bevor das Schadensereignis eintritt.

Nach diesem Konstruktionsprinzip sind die meisten metrischen Norm-Schrauben und Norm-Muttern ausgelegt. Bei Ausnahmen wie z. B. bei der DIN 6912 – Zylinderschraube mit niedrigem Kopf oder der DIN EN ISO 4036 – niedrige Sechskantmutter, wird auf die reduzierte Belastbarkeit explizit in den entsprechenden Produktnormen hingewiesen.

Auslegung

Bei einer klassischen Schraubenverbindung werden mindestens zwei Bauteile mittels Form- und Kraftschluss miteinander verbunden, s. Bild 2.2. Durch das bei der Montage aufgebraachte Anziehdrehmoment wird in der Schraube indirekt eine Montagevorspannkraft erzeugt. Aufgrund der erzeugten Vorspannkraft wird die Schraube gelängt, die Bauteile gegeneinander verspannt sowie verkürzt und in allen Trennfugen ein Reibschluss erzeugt. Ob eine Schraubenverbindung gut ausgelegt ist, zeigt sich meist erst im Betrieb, wenn auf die Schraubenverbindung zusätzlich äußere Betriebskräfte wirken.

Bei der Auslegung einer klassischen Schraubenverbindung im Maschinenbau wird der Vorspannkraft eine große Bedeutung beigemessen, s. Bild 2.3. Die Vorspannkraft muss in einer relativ aufwendigen Berechnung ermittelt werden. Für die Berechnung werden die Gestalt der Schraubenverbindung sowie die zum Ertragen der Vorspannkraft erforderlichen mechanischen Eigenschaften der Verbindungselemente festgelegt.

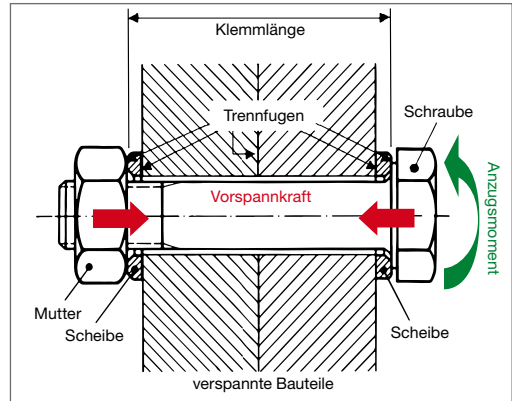


Bild 2.2 Montagezustand einer vorgespannten Schraubenverbindung

Ebenfalls wird das zur Erzeugung der Vorspannkraft ausgewählte Montageverfahren in der Berechnung berücksichtigt. In bestimmten Fällen muss überprüft werden, ob die erzeugte Vorspannkraft auch im Betrieb erhalten bleibt und ob ggf. eine Sicherungsmethode vorgesehen werden muss.

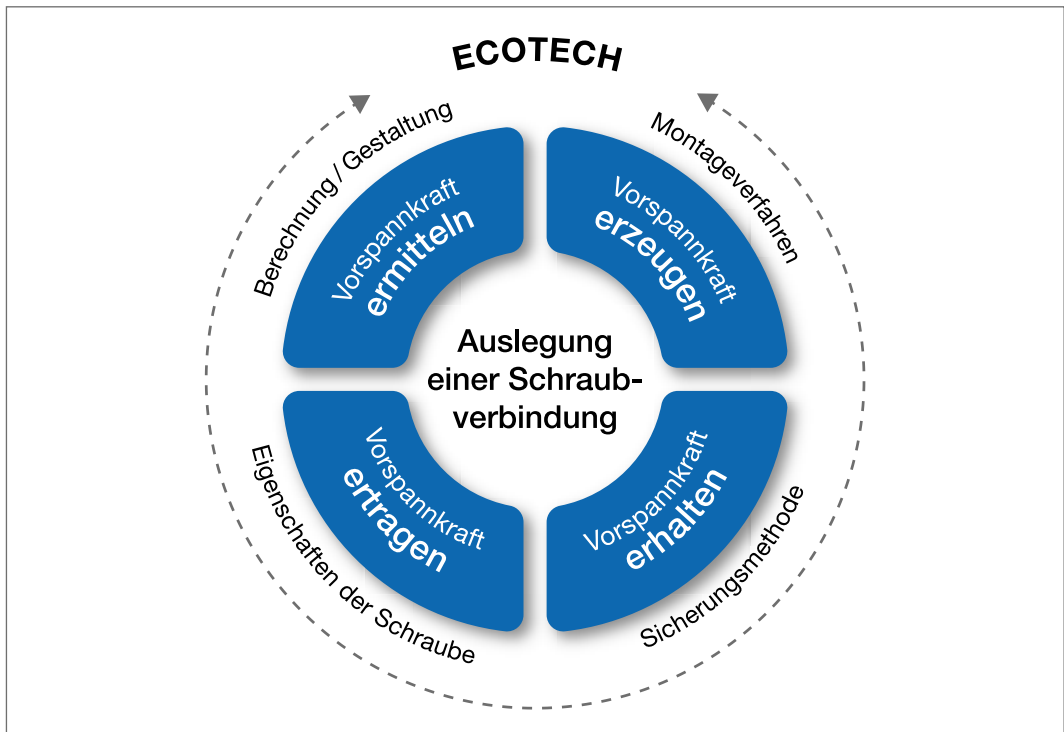


Bild 2.3 Bedeutung der Vorspannkraft bei der Auslegung einer Schraubenverbindung

Eine systematische Vorgehensweise zur funktions- und betriebssicheren Auslegung von hochfesten Schraubenverbindungen stellt die national und international anerkannte Richtlinie VDI 2230 dar.

Die Richtlinie ist in zwei Teile gegliedert. Im ersten Teil sind detaillierte Rechenschritte zur Berechnung von Einschraubenverbindungen (EV) festgelegt.

Der zweite Teil beschäftigt sich mit Mehrschraubenverbindungen (MV). Darin werden unter Berücksichtigung des Verformungsverhaltens, der Gesamtstruktur und des Zusammenwirkens aller Schrauben einerseits analytische Berechnungsverfahren zur Ermittlung der Lastverteilung auf die einzelnen Schraubstellen einer MV aufgezeigt.

Andererseits werden Möglichkeiten des Einsatzes der Finite-Elemente-Methode (FEM) als numerisches Verfahren zur Schraubenberechnung dargestellt. Dabei werden FEM insbesondere zur Berechnung von MV in geometrisch komplexen Strukturen, bei denen die Berechnung mit analytischen Verfahren schwer ist, eingesetzt.

Im Regelfall wird zu Beginn einer Schraubenberechnung die vorliegende MV analysiert und die höchstbelastete Schraubenverbindung mit ihren Belastungsgrößen ermittelt und virtuell herausgelöst.

Die so herausgelöste EV mit ihren bekannten Belastungs- und Geometriegrößen wird entsprechend den in der VDI 2230 Blatt 1 festgelegten Schritten R0 bis R13, s. Tabelle 2.2, berechnet.

Randbedingungen		
Funktion, Belastung, Geometrie, Werkstoffe, Festigkeitsklassen, Oberflächen, Anziehverfahren, Anziehgeräte		
Vorgaben		
R0	Nenn Durchmesser, Grenzabmessung	d G
R1	Anziehfaktor	α_A
R2	Mindestklemmkraft	F_{Kerf}
Verspannungsdreieck		
R3	Aufteilung der Betriebskraft Kraftverhältnis	F_{SA}, F_{PA} Φ
R4	Vorspannkraftänderungen	$F_Z, \Delta F'_{Vth}$
R5	Mindestmontagevorspannkraft	F_{Mmin}
R6	Maximalmontagevorspannkraft	F_{Mmax}
Beanspruchungsfälle und Festigkeitsnachweise		
R7	Montagebeanspruchung	$\sigma_{red, M}, F_{Mzul}$
R8	Betriebsbeanspruchung	$\sigma_{red, B}, S_F$
R9	Schwingbeanspruchung	$\sigma_a, \sigma_{ab}, S_D$
R10	Flächenpressung	p_{max}, S_P
R11	Mindesteinschraubtiefe	m_{effmin}
R12	Gleiten, Abscheren	S_G, T_{max}
R13	Anziehdrehmoment	M_A

Tabelle 2.2 Berechnungsschritte nach VDI 2230 Blatt 1 (Quelle: VDI 2230-1)

Diese Berechnung kann grob in drei Abschnitte gegliedert werden.

Im **ersten Abschnitt**, Schritte R0 bis R2, wird u. a. der Schraubendurchmesser überschlägig ermittelt, das Anziehverfahren sowie der Anziehfaktor, der die Streuung zwischen maximaler und minimaler Montagevorspannkraft bestimmt, festgelegt und die für die weitere Berechnung erforderliche Klemmkraft berechnet bzw. definiert.

Der Schwerpunkt des **zweiten Abschnitts**, Schritte R3 bis R6, liegt in der Berechnung der Montagevorspannkraft.

$$F_{Mmax} = \alpha_A [F_{Kerf} + (1 - \Phi) F_A + F_Z + \Delta F_{Vth}]$$

Bei der Berechnung werden alle auf die Verbindung wirkenden Belastungen wie die erforderliche Klemmkraft, die maximalen Betriebskräfte, die Setzkräfte sowie die thermischen Belastungen berücksichtigt.

Die erforderliche Klemmkraft wird durch die Anforderungen an die Übertragung der Querkräfte durch Reibschluss in der Trennfuge, Abdichten gegen Medien oder Verhindern des Aufklaffens in der Trennfuge bestimmt. Die Setzkraft ist von der Anzahl der Trennfugen sowie der Nachgiebigkeit der Schraube als auch der verspannten Teile abhängig.

Auf diese Weise wird die Höhe der Montagevorspannkraft ausreichend festgelegt, so dass es im Betrieb unter allen auftretenden Belastungen zu keiner Relativbewegung zwischen den Bauteilen kommt.

Die ermittelten Größen können in einem Verspannungsdiagramm, s. Bild 2.4, dargestellt werden. Anschaulich wird z. B., wie sich eine auftretende Betriebskraft entsprechend der Elastizität der Schraube und der verspannten Teile verteilt. Bei einer Zugbeanspruchung nimmt die Schraubensatzkraft nur relativ gering zu, die in der Fuge verbleibende Klemmkraft nimmt aber relativ stark ab.

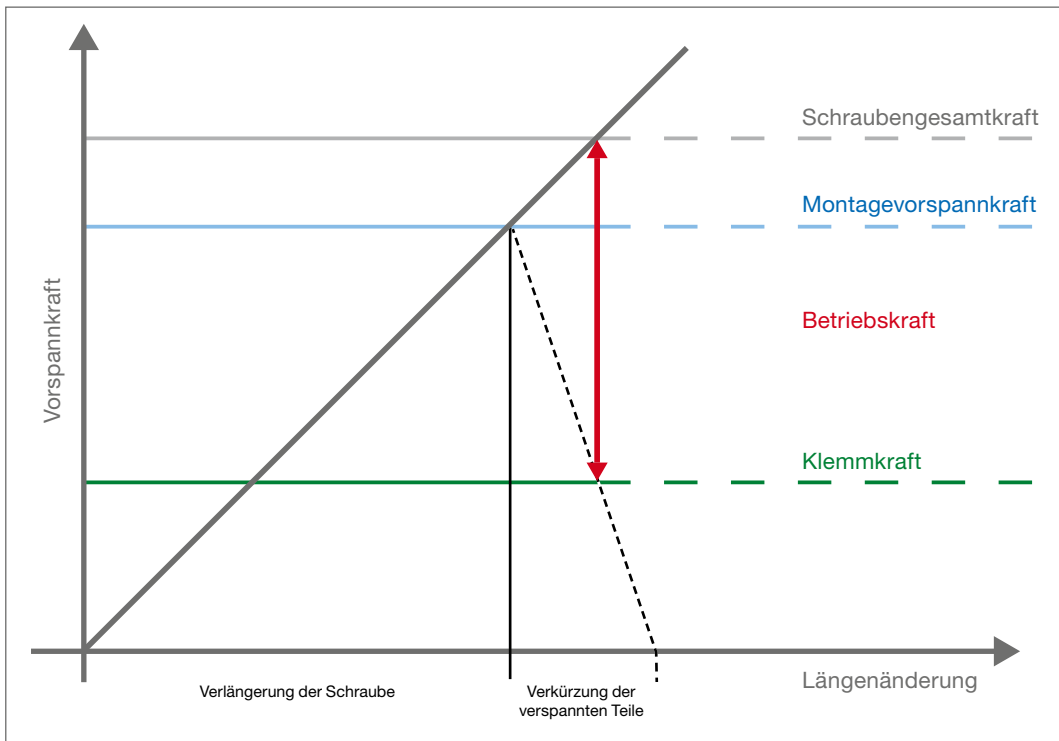


Bild 2.4 Verspannungsdiagramm

Im **dritten Abschnitt**, Schritte R7 bis R12, werden Beanspruchungsfälle im Montagezustand, aber vor allem im Betriebszustand berechnet und die Festigkeitsnachweise für jeden Beanspruchungsfall erbracht.

Um Schraubenversagen auszuschließen, werden die unter Vorspannung und Betriebsbelastung entstehenden Beanspruchungen in der Schraube gegen die Mindeststreckgrenze des Schraubenmaterials nachgewiesen.

Um Kriechvorgänge zu vermeiden, die eine Verringerung der Vorspannung nach sich ziehen würden, wird sichergestellt, dass die aufgrund der festgelegten Montagevorspannkraft erreichte Flächenpressung die zulässige Grenzflächenpressung der verspannten Teile nicht überschreitet.

Um bei Überbelastung der Verbindung sicherzustellen, dass die Schraube im freien Gewinde oder im Schraubenschaft entsprechend dem Konstruktionsprinzip versagt, wird dafür gesorgt, dass die vorhandene Einschraubtiefe die Mindesteinschraubtiefe nicht unterschreitet.

Damit Gleiten auszuschließen ist, wird ebenfalls sichergestellt, dass die in der Verbindung auftretende minimale Restklemmkraft die zur Übertragung der Querkräfte erforderliche Klemmkraft, nicht unterschreitet.

Im Falle eines Nichterfüllens der Festigkeitsnachweise muss die Berechnung durch z. B. Abänderung der Schraubengeometrie, der Schraubengröße oder der Schraubenfestigkeit in einer erneuten Iterationsschleife durchgeführt werden.

Im Falle, dass die Schraube nach der überschlägigen Durchmesserermittlung überdimensioniert ist, wird – z. B. durch Reduktion der Festigkeitsklasse – die Ausnutzung der physikalischen Eigenschaften der Schraube erhöht. Als Richtwert gilt: Die Vorspannkraft sollte so hoch sein, dass die Schraube bis zu min. 75 % ihrer Streckgrenze vorgespannt ist. Nach VDI 2230 wird eine 90%ige Ausnutzung der Mindeststreckgrenze angestrebt. Auf diese Weise wird die Schraube optimal und mit einer 10%igen Sicherheit ausgenutzt, bevor die plastische Verformung einsetzt.

Zuallerletzt wird im Schritt R13 das zur Erzeugung der erforderlichen Montagevorspannkraft notwendige Anziehdrehmoment berechnet.

$$M_A = F_M \left(0,16 \cdot P + 0,58 \cdot d_2 \cdot \mu_G + \frac{D_{KM}}{2} \cdot \mu_K \right)$$

$$M_A = M_{Gst} + M_{GR} + M_K$$

Das Anziehdrehmoment setzt sich aus dem Gewindesteigungsmoment, dem Gewindereibmoment und dem Kopfreibmoment zusammen. In die Berechnung fließen u. a. auch die beiden Reibzahlen im Gewinde und unter Kopf ein.

Eine nach der VDI 2230 ausgelegte und verschraubte Schraubenverbindung ist im Regelfall sicher ausgelegt. Beim Auftreten von dynamischen Belastungen – speziell Vibrationen – können jedoch Effekte auftreten, die dazu führen, dass sich eine Schraubenverbindung löst, obwohl zulässige Grenzwerte nicht überschritten werden, s. Bild 2.5. Verursacht wird das selbsttätige Losdrehen durch zeitlich die Richtung wechselnde, vibrierende Querkkräfte senkrecht zur Schraubenachse. Dabei wird die Reibung bzw. die Selbsthemmung im Gewinde und an den Auflageflächen des Schraubenkopfes und der Mutter aufgehoben.

Eine genormte Berechnung, um das selbsttätige Losdrehen zu verhindern, existiert aktuell nicht. Die Theorie des selbsttätigen Losdrehens wird in der DIN 25201-4 beschrieben. In der Norm ist auch eine vergleichende Prüfung zur Bewertung von Sicherungselementen beschrieben. Die Bewertung der Schraubenverbindung, in Abhängigkeit von der gewählten Frequenz und Amplitude, erfolgt durch den Vergleich zwischen der vorliegenden Querverschiebung und der theoretischen Grenzverschiebung.

Erfahrungsgemäß wird bei einem Klemmlänge/ Nenndurchmesser-Verhältnis von $l_K/d_{\text{nenn}} > 5$, geringer Trennfugenzahl, ausreichender Vorspannkraft und wenn keine erhöhten dynamischen Belastungen zu verzeichnen sind, bei metallischen Bauteilen im Regelfall keine zusätzlichen Sicherungsmaßnahmen gegen selbsttätiges Lösen erforderlich. Anderenfalls sollte der Einsatz einer zusätzlichen Schraubensicherung, siehe Kapitel 9, in Erwägung gezogen werden.

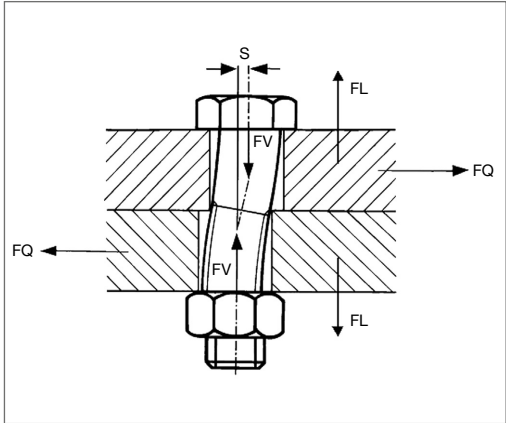


Bild 2.5 Selbsttätiges Losdrehen und die Grenzverschiebung S

Einfluss der Reibung

Da bei der Montage der Schraube die Vorspannkraft nur indirekt über das Montage-Anziehdrehmoment eingestellt werden kann, kommt der genauen Kenntnis der Reibungsverhältnisse eine entscheidende Bedeutung zu. Dabei ist zwischen der Reibung im Gewinde selbst und an den Auflageflächen zu unterscheiden.

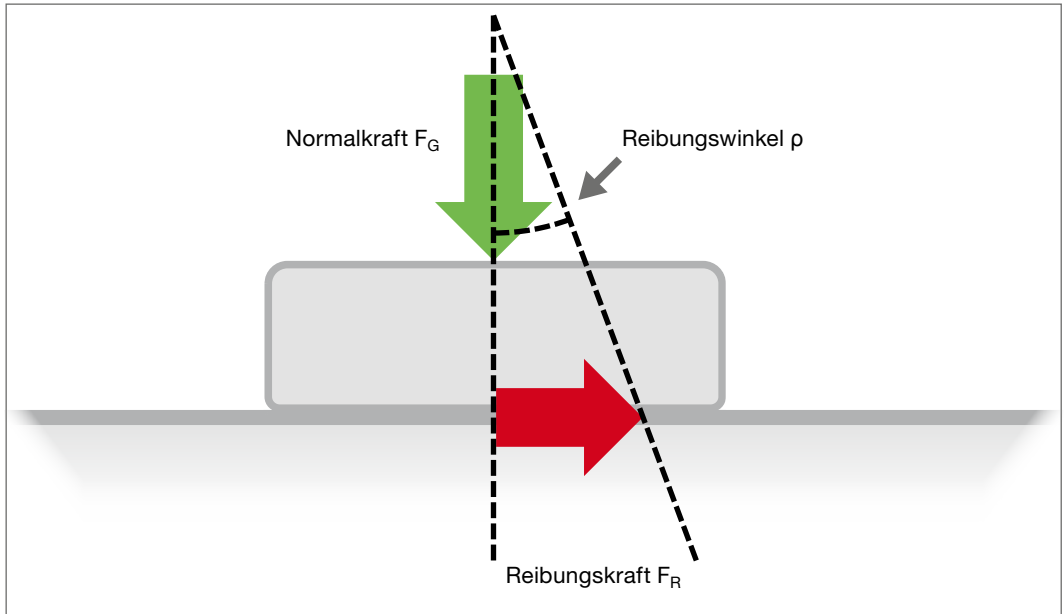


Bild 2.6 Zusammenhang zwischen Normal- und Reibkraft

Der Reibungswinkel ρ beschreibt das Verhältnis zwischen der Normalkraft F_G und der dadurch hervorgerufenen Reibkraft F_R .

Bezogen auf eine Schraubverbindung, kann in erster Näherung die Normalkraft mit der Vorspannkraft gleichgesetzt werden.

Solange der Steigungswinkel ϕ des Gewindes kleiner ist als der Reibungswinkel ρ , ist das Gewinde selbstsichernd. Um diesen Effekt zu optimieren, kann also entweder die Gewindereibung erhöht oder die Gewindesteigung reduziert werden.

Der Einfluss der Reibung an den Auflageflächen ist wesentlich schwieriger zu erfassen. Es kann allerdings festgehalten werden, dass eine erhöhte Reibung z. B. unter dem Schraubenkopf bei vorgegebenem Anziehdrehmoment einerseits zu einer geringeren Vorspannkraft führt, andererseits aber einem selbsttätigen Losdrehen der Schraube entgegenwirkt.

Gestaltung

Die Auswahl des erforderlichen Schraubendurchmessers und der nötigen Festigkeitsklasse beruht auf einer genauen Kenntnis aller auftretenden Belastungen und ist somit vom jeweiligen Einsatzfall abhängig.

Für die Bestimmung der Schraubenlänge lassen sich jedoch einige allgemeingültige Empfehlungen geben. Entscheidend dabei ist, dass ausreichend tragende Gewindgänge im Eingriff sind, um die auftretenden Kräfte zu übertragen.

Es ist dabei zwischen einer Durchsteckverbindung und einer Verschraubung in ein Gewindefackloch zu unterscheiden:

Bei der Auslegung von Durchsteckverbindungen ergibt sich die Nennlänge der Schraube aus der Summe der Klemmlänge l_k und des Schraubenüberstands v (gem. DIN 78 Schraubenüberstände). Speziell die Einhaltung dieser Überstände ist unbedingt zu beachten, um eine sichere Verbindung zu gewährleisten.

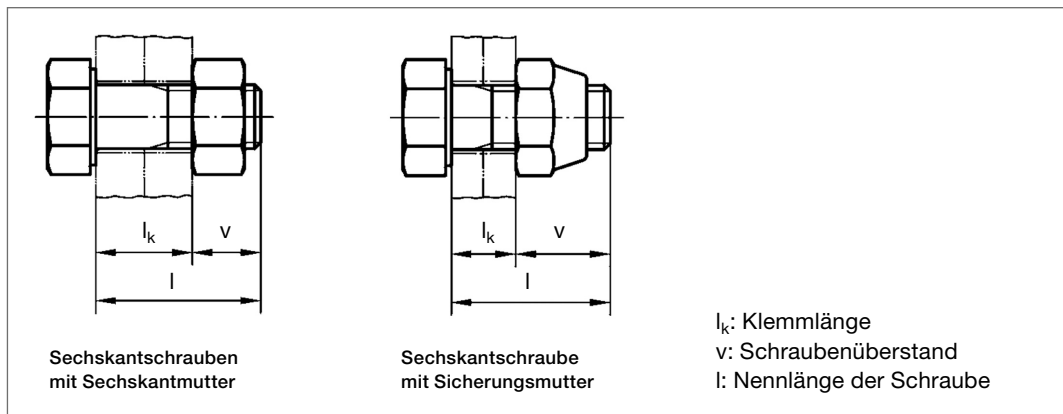


Bild 2.7 Durchsteckverschraubung – Schraubenüberstände nach DIN 78

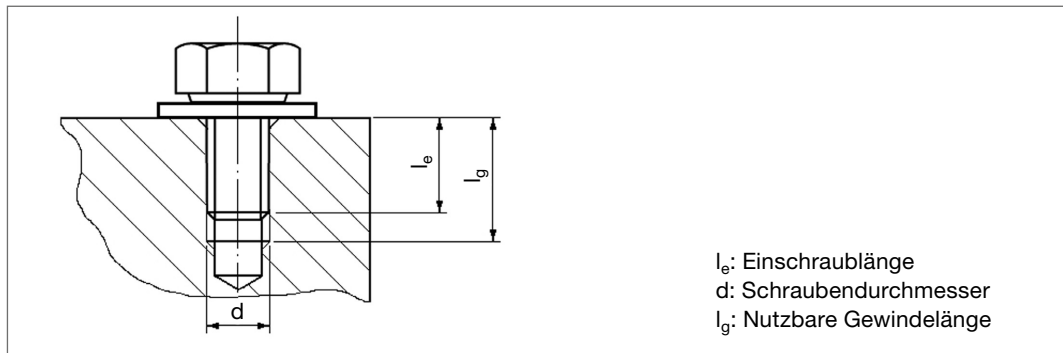


Bild 2.8 Sacklochverschraubung

Die Zuordnung der Schraube zu einer Mutter mit Hilfe der Festigkeitsklasse (eine Schraube der Festigkeitsklasse 8.8 soll mit einer Mutter der Klasse 8 oder höher gepaart werden) ist sehr eindeutig.

Dagegen hängt bei einer Sacklochverschraubung die erforderliche Einschraublänge l_e von der Festigkeit des Werkstoffs des jeweiligen Bauteils ab, in welchem das Innengewinde eingebracht wurde, siehe Tabelle 2.3.

Werkstoff der Bauteile		Einschraublänge l_e bei Festigkeitsklasse der Schraube			
		3.6 / 4.6	4.8...6.8	8.8	10.9
Stahl mit R_m N/mm ²	≤ 400	0,8 · d	1,2 · d	–	–
	400 ... 600	0,8 · d	1,2 · d	1,2 · d	–
	> 600...800	0,8 · d	1,2 · d	1,2 · d	1,2 · d
	> 800	0,8 · d	1,2 · d	1,0 · d	1,0 · d
Gusseisen		1,3 · d	1,5 · d	1,5 · d	–
Kupferlegierungen		1,3 · d	1,3 · d	–	–
Leichtmetalle [ⓐ]	Al-Gusslegierungen	1,6 · d	2,2 · d	–	– [ⓑ]
	Rein-Aluminium	1,6 · d	–	–	– [ⓑ]
	Al-Leg. ausgehärtet	0,8 · d	1,2 · d	1,6 · d	– [ⓑ]
	nicht ausgehärtet	1,2 · d	1,6 · d	–	– [ⓑ]
Weichmetalle, Kunststoffe		2,5 · d	–	–	–

ⓐ Bei dynamischer Belastung ist hierfür l_e um etwa 20 % zu erhöhen.

Quelle: Roloff/Matek

ⓑ Feingewinde erfordern eine um etwa 25 % größere Einschraublänge.

ⓐ Für Schrauben höherer Festigkeit ist die Scherfestigkeit des Innengewindewerkstoffes gemäß VDI 2230 zu berücksichtigen.

Tabelle 2.3 Mindesteinschraubtiefen in Grundlochgewinde (Quelle: Roloff/Matek)

Bei der Bestimmung der Nennlänge von Schrauben sind die möglichen Toleranzen der Teile zu berücksichtigen, die verschraubt werden sollen. Ferner sind die Längentoleranzen der Schrauben und die Toleranzen der Mutternhöhe zu beachten.

Die errechnete Länge ist – wann immer möglich – auf die in den jeweiligen Produktnormen (Maßnormen) angegebene nächstgrößere Nennlänge zu runden.

Gegenüber den o. g. Vorgaben für die Mindesteinschraublänge in Abhängigkeit von Schrauben- und Bauteilfestigkeit kann die Einschraublänge durch den Einsatz von HELICOIL® Gewindeeinsätzen reduziert werden. Siehe DIN 8140.

Beispiel:

Schraube M 8 mit Festigkeitsklasse 10.9

in Aluminium mit einer Zugfestigkeit von

$R_m = 250 \dots 270 \text{ N/mm}^2$

und zulässiger Scherspannung

$T_{zul} = 0,7 \times R_m = 180 \text{ N/mm}^2$

Ohne HELICOIL®:

Gewindelänge min $2 \times d$ (gemäß VDI 2230)

Mit HELICOIL®:

Gewindelänge $1,5 \times d$ (gemäß DIN 8140 T1 3.1)

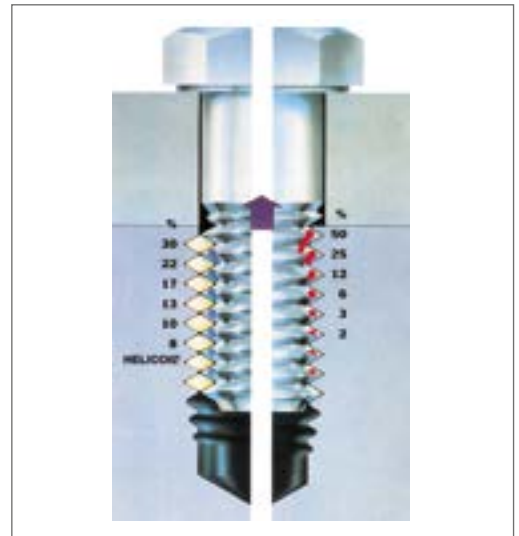


Bild 2.9 Reduktion der Einschraublänge und gleichmäßigere Kraftverteilung im Gewinde durch den HELICOIL®-Einsatz

Für den Anwender ist die Belastbarkeit der Verbindungsteile und damit ihre mechanischen Eigenschaften entscheidend. Diese Eigenschaften werden nicht nur durch den verwendeten Werkstoff bestimmt, sondern auch durch den Herstellungsprozess, bei dem sich die Materialeigenschaften verändern können.

Der Drahtabschnitt des Vormaterials hat andere Eigenschaften als die fertige Schraube, die kaltumgeformt und vergütet ist.

Der Hersteller wählt den Werkstoff innerhalb der Normvorgaben aus, mit dem er bei dem fertigen Teil die geforderten Eigenschaften erreicht und liefert. (Verantwortung des Herstellers bzw. Lieferanten)

Der Anwender wählt die Festigkeitsklasse aus, die für seinen Anwendungsfall die richtigen mechanischen Eigenschaften hat. (Verantwortung des Konstrukteurs)

Schrauben aus Stahl

Für Schrauben werden 10 Festigkeitsklassen unterschieden.

Festigkeitsklassen	3.6	4.6	4.8	5.6	5.8	6.8	8.8	9.8	10.9	12.9
--------------------	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	------	------

Die Festigkeitsklassen werden mit zwei Zahlen, die durch einen Punkt getrennt sind, bezeichnet. Die erste Zahl entspricht 1/100 der Mindestzugfestigkeit in N/mm². Die zweite Zahl gibt das 10fache des Verhältnisses zwischen der unteren Streckgrenze (oder 0,2 Dehngrenze) und der Zugfestigkeit in N/mm² an.



Bild 3.1 Kennzeichnung der Festigkeitsklasse auf dem Schraubenkopf

Kennzeichnung am Beispiel der Festigkeitsklasse 5.6:

1. Zahl: $5 \times 100 \text{ N/mm}^2 = 500 \text{ N/mm}^2 = \text{Mindestzugfestigkeit}$

2. Zahl: $(6 \times 500) : 10 \text{ N/mm}^2 = 60 \% \text{ von } 500 \text{ N/mm}^2 = 300 \text{ N/mm}^2 = \text{Streckgrenze}$

Bezeichnungssystem der Festigkeitsklassen

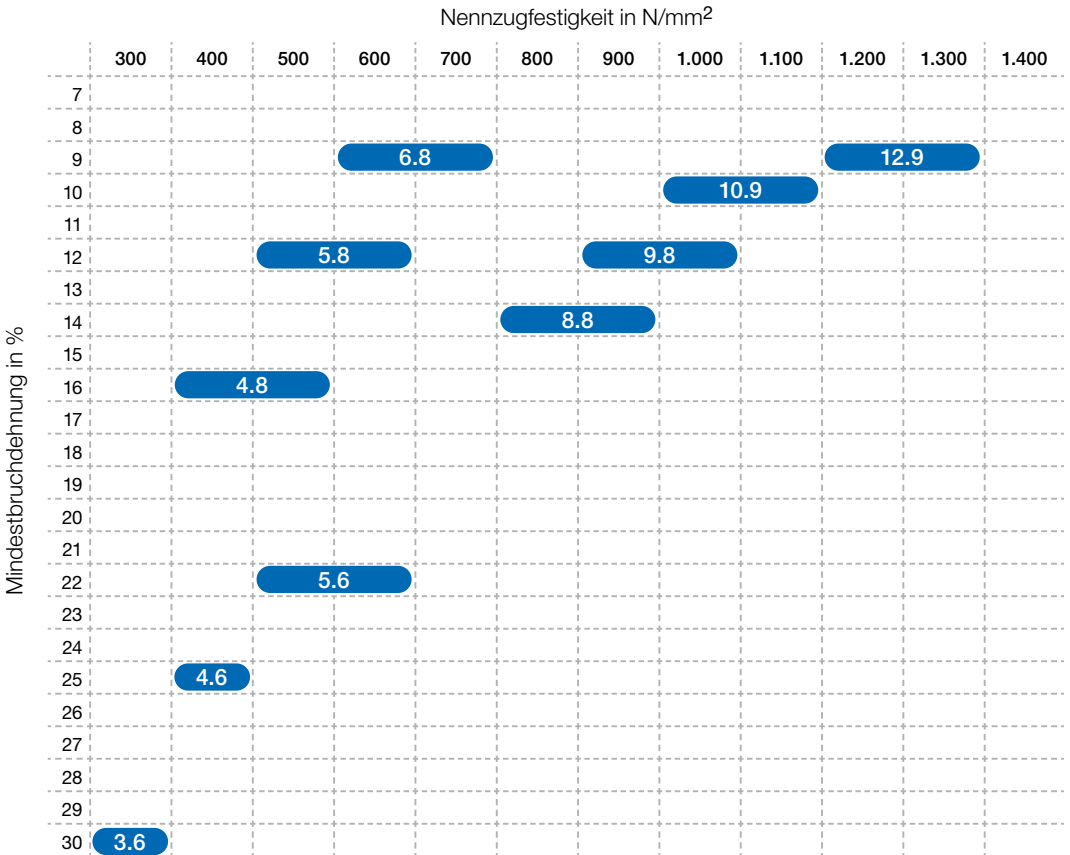


Tabelle 3.1 Festigkeitsklassen (Quelle: DIN EN ISO 898-1)

Die aufgeführten Festigkeitsklassen gelten nicht für alle Arten genormter Schrauben.

In den einzelnen Produktnormen ist eine sinnvolle Auswahl der Festigkeitsklassen getroffen worden.

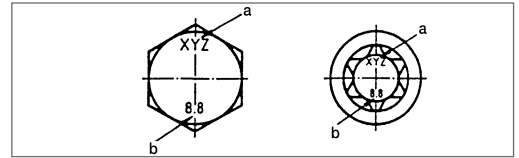
Mechanische und physikalische Eigenschaften

Nr.	Mechanische oder physikalische Eigenschaft		Festigkeitsklassen									
			4.6	4.8	5.6	5.8	6.8	8.8		9.8	10.9	12.9/ 12.9
								d ≤ 16 mm	d > 16 mm	d ≤ 16 mm		
1	Zugfestigkeit, R _m , N/mm ²	nom.c	400		500		600	800		900	1000	1200
		min.	400	420	500	520	600	800	830	900	1040	1220
2	Untere Streckgrenze, R _{eL} ^d , N/mm ²	nom.c	240	–	300	–	–	–	–	–	–	–
		min.	240	–	300	–	–	–	–	–	–	–
3	0,2 %-Dehngrenze, R _{p0,2} , N/mm ²	nom.c	–	–	–	–	–	640	640	720	900	1080
		min.	–	–	–	–	–	640	660	720	940	1100
4	0,004 8 d Dehngrenze für ganze Schrauben, R _{pf} , N/mm ²	nom.c	–	320	–	400	480	–	–	–	–	–
		min.	–	340e	–	420e	480e	–	–	–	–	–
	Spannung unter Prüfkraft, S _{pf} , N/mm ²	nom.	225	310	280	380	440	580	600	650	830	970
5	Prüffestigkeits-Verhältnis	S _{p,nom} /R _{eL min} oder	0,94	0,91	0,93	0,90	0,92	0,91	0,91	0,90	0,88	0,88
		S _{p,nom} /R _{p0,2 min} oder										
6	Prozentuale Bruchdehnung einer abgedrehten Probe, A, %	min.	22	–	20	–	–	12	12	10	9	8
7	Prozentuale Brucheinschnürung einer abgedrehten Probe, Z, %	min.			–			52		48	48	44
8	Bruchverlängerung einer ganzen Schraube, A _f (siehe auch Anhang C)	min.	–	0,24	–	0,22	0,20	–	–	–	–	–
9	Kopfschlagzähigkeit		Kein Bruch									
10	Vickershärte, HV F ≥ 98 N	min.	120	130	155	160	190	250	255	290	320	385
		max.	220 g				250	320	335	360	380	435
11	Brinellhärte, HBW F = 30 D ²	min.	114	124	147	152	181	238	242	276	304	366
		max.	209 g				238	304	318	342	361	414
12	Rockwellhärte, HRB	min.	67	71	79	82	89	–				
		max.	95,0 g				99,5	–				
12	Rockwellhärte, HRC	min.	–				22		23	28	32	39
		max.	–				32		34	37	39	44
13	Oberflächenhärte, HV 0,3	max.	–				h			h, i		h, j
14	Höhe der nichtentkohlten Gewindezone, E, mm	min.	–				½ H1			¾ H1		¾ H1
	Tiefe der Auskohlung im Gewinde, G, mm	max.	–				0,015					
15	Härteabfall nach Wiederanlassen (Härten), HV	max.	–				20					
16	Bruchdrehmoment, MB, Nm	min.	–				nach ISO 898-7					
17	Kerbschlagarbeit, KV ^{k, l} , J	min.	–	27		–	27	27	27	27	m	
18	Oberflächenzustand nach		ISO 6157-1 ⁿ									

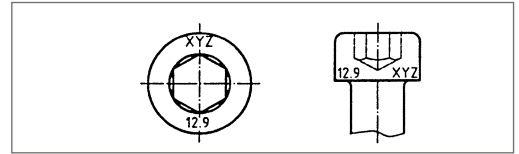
Tabelle 3.2 Den Festigkeitsklassen zugeordnete mechanische und physikalische Eigenschaften (Quelle: DIN EN ISO 898-1)

Kennzeichnung für Schrauben aus Stahl

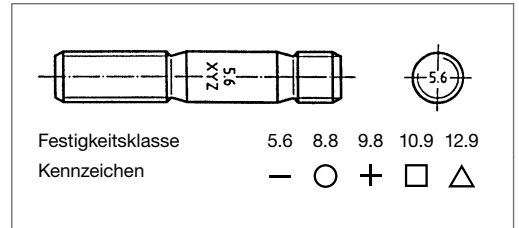
Sechskantschrauben und Außensechsrund alle Festigkeitsklassen ab Gewindedurchmesser M 5 mit Hersteller (a) und Festigkeitsklasse (b).



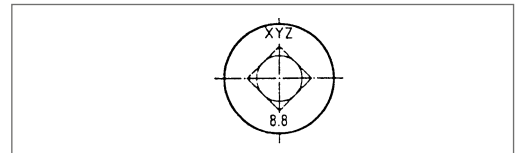
Zylinderschrauben mit Innensechskant und Innensechsrund für 8.8 und höher ab Gewindedurchmesser M 5 mit Hersteller und Festigkeitsklasse.



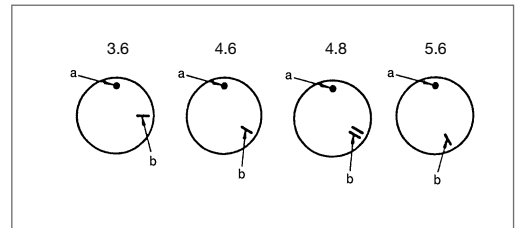
Stiftschrauben 5.6, 8.8 und höher ab Gewindedurchmesser M 5 mit Hersteller und Festigkeitsklasse oder Kennzeichen.



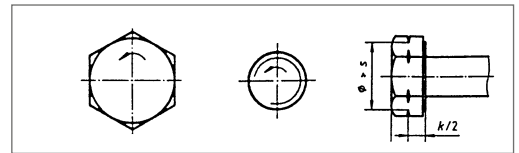
Flachrundschrauben mit Vierkantansatz 8.8 und höher ab Gewindedurchmesser M 5 mit Hersteller und Festigkeitsklasse.



Kleine Schrauben und andere Kopfformen Kennzeichnung nach dem Uhrzeigersystem 12-Uhr-Position durch einen Punkt oder das Herstellerzeichen (a). Die Festigkeitsklasse ist durch einen Strich (b) gekennzeichnet.



Schrauben mit Linksgewinde sind mit einem Pfeil auf dem Kopf oder am Gewindeende oder mit Einkerbungen am Sechskant markiert.



Schrauben mit reduzierter Belastbarkeit, die z. B. nicht über den erforderlichen Bruchquerschnitt des Schraubenkopfs verfügen, müssen nach DIN EN ISO 898-1 (2013) mit einer 0 vor der Festigkeitsklasse versehen sein (Beispiel 012.9). Die Produkte sind teilweise genormt, z. B. Zylinderschrauben mit niedrigem Kopf oder EN ISO 7380 Linsenkopfschrauben mit Innensechskant.

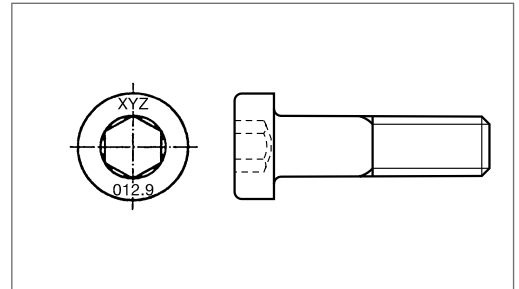


Bild 3.2 Kennzeichnungen auf Schrauben aus Stahl (Quelle: DIN EN ISO 898-1)

Muttern aus Stahl

Bei den Festigkeitsklassen für Muttern wird nur eine Kennzahl angegeben. Diese Zahl gibt ca.1/100 der Prüfspannung in N/mm² an. Das entspricht der Mindestzugfestigkeit der dazugehörigen Schraube.

Eine Schraube der Festigkeitsklasse 8.8 wird mit einer Mutter der Festigkeitsklasse 8 (oder höher)

gepaart. Die Schraube kann in dieser Verbindung bis zur Streckgrenze belastet werden.

Es existieren allerdings auch Muttern mit eingeschränkter Belastbarkeit (siehe nächste Seite).

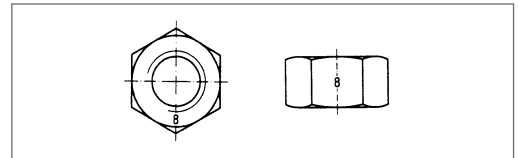
Prüfkräfte für Muttern ISO 4032 mit Regelgewinde

Gewinde d	Gewindesteigung mm	Nennspannungsquerschnitt des Prüfdorns mm ²	Festigkeitsklasse							
			4	5	6	8		10	12	
			Typ 1	Typ 1	Typ 1	Prüfkraft (As × S _p), N		Typ 1	Typ 1	Typ 2
M 3	0,5	5,03	–	2.600	3.000	4.000	–	5.200	5.700	5.800
M 3,5	0,6	6,78	–	3.550	4.050	5.400	–	7.050	7.700	7.800
M 4	0,7	8,78	–	4.550	5.250	7.000	–	9.150	10.000	10.100
M 5	0,8	14,2	–	8.250	9.500	12.140	–	14.800	16.200	16.300
M 6	1	20,1	–	11.700	13.500	17.200	–	20.900	22.900	23.100
M 7	1	28,9	–	16.800	19.400	24.700	–	30.100	32.900	33.200
M 8	1,25	36,6	–	21.600	24.900	31.800	–	38.100	41.700	42.500
M 10	1,5	58	–	34.200	39.400	50.500	–	60.300	66.100	67.300
M 12	1,75	84,3	–	51.400	59.000	74.200	–	88.500	98.600	100.300
M 14	2	115	–	70.200	80.500	101.200	–	120.800	134.600	136.900
M 16	2	157	–	95.800	109.900	138.200	–	164.900	183.700	186.800
M 18	2,5	192	97.900	121.000	138.200	176.600	170.900	203.500	–	230.400
M 20	2,5	245	125.000	154.400	176.400	225.400	218.100	259.700	–	294.000
M 22	2,5	303	154.500	190.900	218.200	278.800	269.700	321.200	–	363.600
M 24	3	353	180.000	222.400	254.200	324.800	314.200	374.200	–	423.600
M 27	3	459	234.100	289.200	330.500	422.300	408.500	486.500	–	550.800
M 30	3,5	561	286.100	353.400	403.900	516.100	499.300	594.700	–	673.200
M 33	3,5	694	353.900	437.200	499.700	638.500	617.700	735.600	–	832.800
M 36	4	817	416.700	514.700	588.200	751.600	727.100	866.000	–	980.400
M 39	4	976	497.800	614.900	702.700	897.900	868.600	1.035.000	–	1.171.000

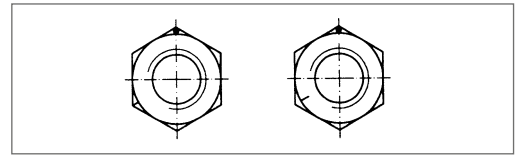
Tabelle 3.3 Prüfkräfte für Muttern nach ISO 4032 mit Regelgewinde (Quelle: DIN EN 20898-2)

Kennzeichnung für Muttern mit Festigkeitsklassen

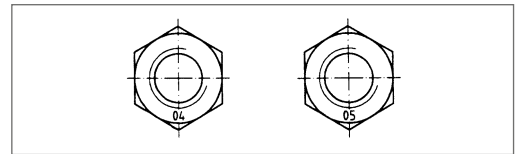
Sechskantmuttern aller Festigkeitsklassen ab Gewindedurchmesser M 5 auf der Auflage- oder Schlüsselfläche.



Kennzeichnung nach dem Uhrzeigersystem. Die 12-Uhr-Position wird durch einen Punkt oder das Herstellerzeichen festgelegt, die Festigkeitsklasse durch einen Strich.



Muttern mit Nennhöhen $\geq 0,5 D$ jedoch $< 0,8 D$ werden mit einer zweistelligen Zahl gekennzeichnet. Die Belastbarkeit dieser Muttern ist eingeschränkt.



Muttern mit Linksgewinde werden mit einem Pfeil auf der Auflagefläche oder mit Kerben am Sechskant gekennzeichnet.

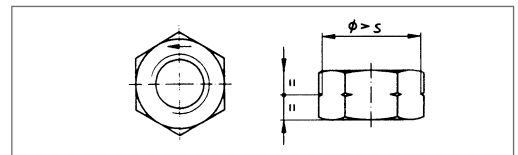


Bild 3.3 Kennzeichnungen auf Muttern aus Stahl (Quelle: DIN EN 20898-2)

Muttern mit eingeschränkter Belastbarkeit

Muttern nach der zurückgezogenen Norm **DIN 934** (mit Nennhöhen von ca. $0,8 D$) sind nicht mit Sicherheit bis zur Streckgrenze der dazugehörigen Schraube belastbar. Zur Unterscheidung wird die Kennzeichnung der Festigkeitsklasse durch zwei senkrechte Balken vor und hinter der Kennzahl ergänzt, z. B. I8I statt 8.

Muttern mit Nennhöhen $\geq 0,5 D$, jedoch $< 0,8 D$ werden mit den Festigkeitsklassen 04 und 05 gekennzeichnet. Für diese flachen Muttern sind in DIN EN 20898-2 Prüfkräfte und Abstreiffestigkeitsfestigkeiten festgelegt.

Festigkeitsklasse der Mutter	Prüfspannung der Mutter N/mm ²	Mindestspannung in der Schraube vor dem Abstreifen in N/mm ² bei Paarung mit Schrauben der Festigkeitsklasse			
		6.8	8.8	10.9	12.9
04	380	260	300	330	350
05	500	290	370	410	480

Tabelle 3.4 Abstreiffestigkeitsfestigkeiten für Muttern mit Nennhöhen $\geq 0,5 D$, jedoch $< 0,8 D$ (Quelle: DIN EN 20898-2)

Für **Muttern mit Härteklassen** sind keine Prüfkräfte festgelegt. Die Festigkeitsklassen werden nach der Mindesthärte benannt. Die Zahlen geben 1/10 der Mindesthärte nach Vickers HV 5 an.

Mechanische Eigenschaft	Härteklasse							
	11 H		14 H		17 H		22 H	
	min	max	min	max	min	max	min	max
Vickershärte HV 5	110	185	140	215	170	245	220	300
Brinellhärte HBW 30	105	176	133	204	162	233	209	285

Tabelle 3.4 Härteklassen für Muttern ohne festgelegte Prüfkräfte (Quelle: DIN 267-24)

Gewindestifte

Gewindestifte und ähnliche nicht auf Zug beanspruchte Gewindeteile aus Kohlenstoffstahl und aus legiertem Stahl sind nach DIN EN ISO 898 Teil 5 genormt. Die Härteklassen orientieren sich an den Härten nach Vickers.

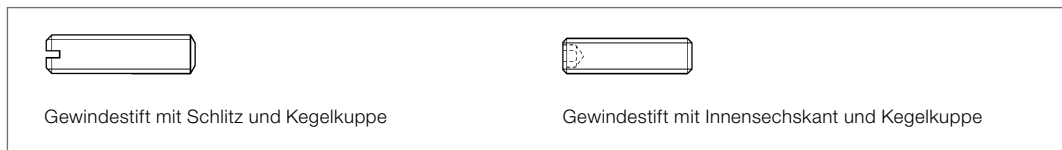


Bild 3.4 Gewindestifte

Mechanische Eigenschaft	Härteklasse			
	14 H	22 H	33 H	45 H
Vickershärte HV min	140	220	330	450

Tabelle 3.6 Bezeichnung der Härteklassen in Bezug auf die Vickershärte (Quelle: DIN EN ISO 898-5)

Eine Kennzeichnung auf den Verbindungselementen mit der Härteklasse ist für diese Teile nicht vorgeschrieben.

Schrauben und Muttern aus nichtrostenden Stählen

Neben Verbindungselementen aus Stahl mit den Festigkeitsklassen wie z. B. 8.8 oder 10.9 werden häufig Verbindungselemente aus nichtrostendem Stahl verwendet. Nichtrostender Stahl wird häufig eingesetzt, wenn z. B. besondere Anforderungen an die Korrosionsbeständigkeit oder Sauberkeit gestellt werden.

Bei Verbindungselementen aus niedriglegierten Stählen bildet sich auf der Oberfläche Eisenoxid. Der Stahl rostet. Zum Schutz vor Korrosion müssen Verbindungselemente aus niedriglegierten Stählen i.d.R. beschichtet werden. Bei Verbindungselementen aus legierten Stählen, mit einem Chromanteil ab 10,5 %, bildet sich an der Oberfläche Chromoxid. Die dünne Chromoxid-Schicht schützt das Verbindungselement vor Korrosion. Der Stahl ist rostbeständig.

Bezeichnungssysteme für nichtrostende Schrauben, Muttern und Gewindestifte

aus DIN EN ISO 3506-1 und DIN EN ISO 3506-2

Die rostbeständigen Schrauben und Muttern werden nach DIN EN ISO 3506 Teil 1 und Teil 2 in Stahlgruppen, Stahlsorten und Festigkeitsklassen eingeteilt.

Gewindestifte und ähnliche nicht auf Zug beanspruchte Verbindungselemente werden in DIN EN ISO 3506 Teil 3 in Stahlgruppen, Stahlsorten und Härteklassen eingeteilt.

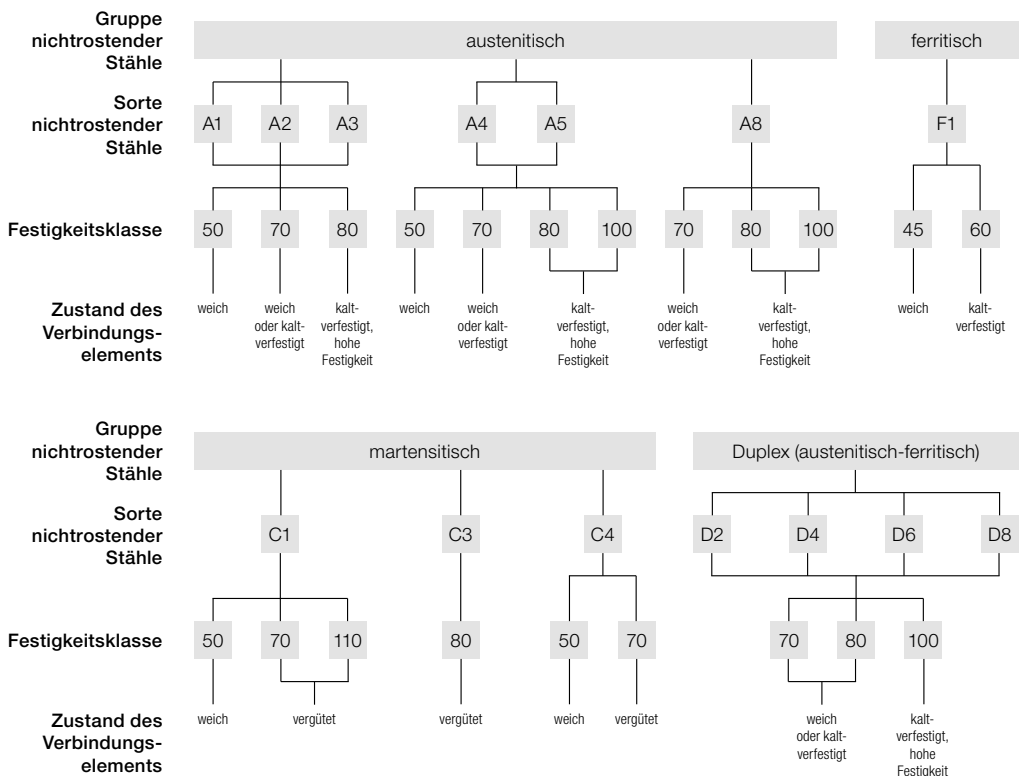


Bild 3.5 Bezeichnungssystem für nichtrostende Schrauben (Quelle: DIN EN ISO 3506-1:2020-08)

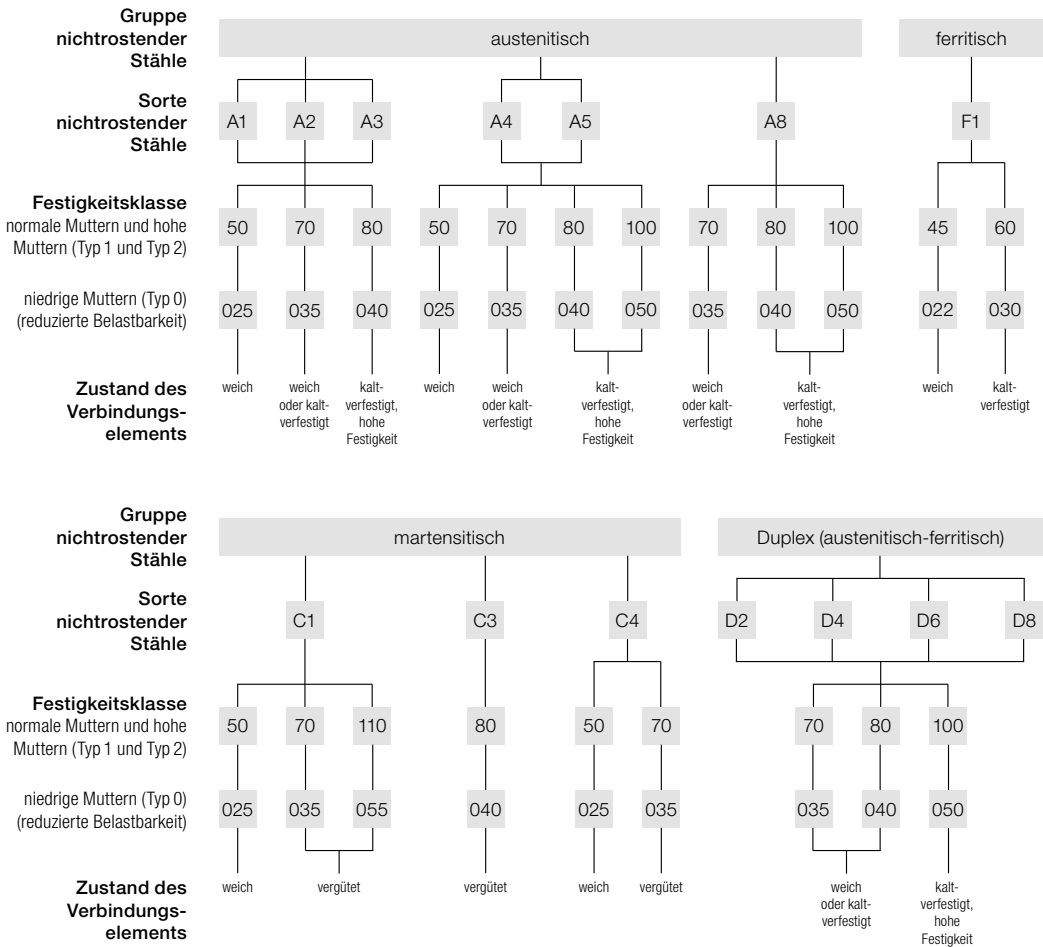


Bild 3.6 Bezeichnungssystem für nichtrostende Muttern (Quelle: DIN EN ISO 3506-2:2020-08)

Austenitische Chrom-Nickel-Stähle mit einem Legierungsbestandteil von 15 – 20 % Chrom und 5 – 15 % Nickel haben eine ausgezeichnete Korrosionsbeständigkeit, gute Duktilität, sind durch Kaltumformung härtbar und sind relativ gering magnetisierbar. Die Sorten A2 und A4 werden am häufigsten eingesetzt.

Duplex-Stähle mit einem Mikrogefüge mit austenitischen und ferritischen Phasen haben einen höheren Cr-Anteil und einen geringeren Ni-Anteil als austenitische Stähle. Duplex-Stähle haben eine ausgezeichnete Korrosionsbeständigkeit, sind durch Kaltumformung härtbar, weisen hohe Festigkeit auf und sind magnetisch.

Ferritische Stähle F1 sind durch Kaltumformung härtbar und magnetisch.

Martensitische Stähle sind durch Wärmebehandlung härtbar, haben eine geringe Duktilität und sind magnetisch. Martensitische Sorten C1, C2 und C3 weisen normalerweise eine geringere Korrosionsbeständigkeit auf als austenitische Sorten.

Austenitische Stähle

Austenitische Chrom-Nickel-Stähle sind durch Wärmebehandlung nicht härtbar. Teile in der Festigkeitsklasse 50 werden warmumgeformt oder spanabhebend gefertigt. Die höheren Festigkeitsklassen 70, 80 und 100 werden durch die Pressdrücke bei der Kaltumformung erreicht. Obwohl diese Stahlsorten nicht magnetisch sind, können die durch die Kaltumformung hergestellten Teile schwach magnetisch werden.

Die übergeordneten werkstoffspezifischen Aussagen sind in der ISO 3506-6:2020-04 zusammengefasst.

- A1** - Für spanabhebende Bearbeitung mit ca. 2 % Kupferanteil.
 - Relativ geringe Korrosionsbeständigkeit.
 - Nicht geeignet für salz- und chlorhaltiges Wasser.
- A2** - Häufig eingesetzte Stahlsorte mit ca. 18 % Chrom und ca. 8 % Nickel.
 - Gute Korrosionsbeständigkeit.
 - Nicht geeignet für salz- und chlorhaltiges Wasser.
- A3** - Eigenschaften ähnlich wie bei A2.
 - Stabilisiert mit Ti (Titan), Nb (Niob) oder Ta (Tantal), dadurch auch bei hohen Temperaturen keine Chromkarbidbildung.
- A4** - Häufig eingesetzter Werkstoff.
 - Höhere Korrosions- und Säurebeständigkeit als bei A2 durch 2–3 % Molybdänanteil, dadurch bedingt geeignet für salz- und chlorhaltiges Wasser.
 - Nicht geeignet für den Einsatz in Schwimmbädern, in denen Chlor als Reinigungsmittel verwendet wird, oder in Meeresumgebungen.
- A5** - Eigenschaften ähnlich wie bei A4.
 - Stabilisiert wie A3.
- A8** - Höhere Korrosions- und Säurebeständigkeit als bei A4 durch 6 % Molybdänanteil, dadurch geeignet für salz- und chlorhaltiges Wasser.
 - Geeignet für den Einsatz in Schwimmbädern, in denen Chlor als Reinigungsmittel verwendet wird und in Meeresumgebungen.

Schrauben aus diesen Stahlsorten werden in die Festigkeitsklassen 50, 70 und 80 eingeteilt. Diese Zahlen geben 1/10 der Mindestzugfestigkeit in N/mm² an.

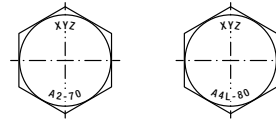
Sorte nichtrostender Stähle	Festigkeits- klasse	Zugfestigkeit		0,2 %-Dehngrenze		Bruchverlängerung	
		R _m min. MPa	R _{pf} min. MPa	A _{min.} mm	A _{min.} mm		
Austenitisch	A1, A2, A3,	50	500	210	0,6 d		
	A4, A5	70	700	450	0,4 d		
		80	800	600	0,3 d		
		50	500	210	0,6 d		
	A4, A5	70	700	450	0,4 d		
		80	800	600	0,3 d		
		100	1000	800	0,2 d		
		70	700	450	0,4 d		
	A8	80	800	600	0,3 d		
		100	1000	800	0,2 d		

Tabelle 3.7 Mechanische Eigenschaften von Schrauben aus austenitischen Stählen (Quelle: DIN EN ISO 3506-1)

Kennzeichnungen auf Schrauben und Muttern aus rost- und säurebeständigen Stählen

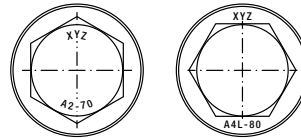
Sechskantschrauben mit Gewinde $\geq M5$ mit voller Belastbarkeit

auf der Kopfstirnfläche oder auf der Schlüsselfläche mit Hersteller, Stahlsorte und Festigkeitsklasse



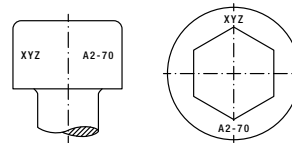
Sechskantschrauben mit Flansch und mit Gewinde $\geq M5$ mit voller Belastbarkeit

auf der Kopfstirnfläche oder auf dem Flansch mit Hersteller, Stahlsorte und Festigkeitsklasse



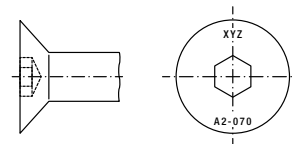
Schrauben mit Innensechskant oder Innensechsrund mit Gewinde $\geq M5$ mit voller Belastbarkeit

auf der Kopfstirnfläche oder an der Seite des Kopfes mit Hersteller, Stahlsorte und Festigkeitsklasse



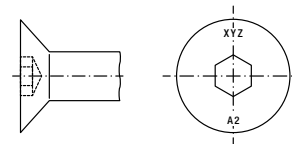
Schrauben mit Gewinde $\geq M5$ und mit reduzierter Belastbarkeit und Gewindelänge $b \geq 3d$ (Zugversuch möglich)

mit Hersteller, Stahlsorte und Festigkeitsklasse, wobei der Festigkeitsklasse die Ziffer „0“ vorangestellt werden muss



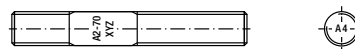
Schrauben mit Gewinde $\geq M5$ und mit reduzierter Belastbarkeit und Gewindelänge $b < 3d$ (Zugversuch nicht möglich)

mit Hersteller und Stahlsorte; Festigkeitsklasse darf nicht angegeben werden



Stiftschrauben mit Gewinde $\geq M5$

auf dem gewindefreien Schaft mit Hersteller, Stahlsorte und Festigkeitsklasse oder auf dem mutterseitigen Ende mit der Stahlsorte



Schrauben mit Linksgewinde $\geq M5$

auf der Kopfstirnfläche oder auf dem Gewindeende mit einem nach links zeigenden Pfeil

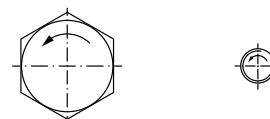
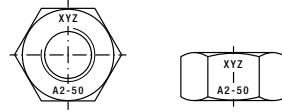


Bild 3.7 Beispiele für Kennzeichnungen auf Schrauben aus rostbeständigen Stählen (Quelle: DIN EN ISO 3506-1:2020-08)

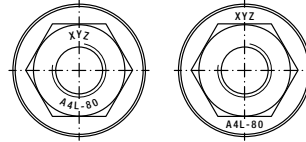
Sechskantmuttern mit Gewinde \geq M5 mit voller Belastbarkeit

auf der Oberseite der Mutter oder auf der Schlüssel­fläche mit Hersteller, Stahlsorte und Festigkeits­klasse



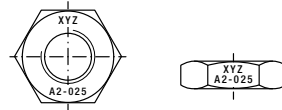
Sechskantmuttern mit Flansch und mit Gewinde \geq M5 mit voller Belastbarkeit

auf der Oberseite der Mutter oder auf dem Flansch mit Hersteller, Stahlsorte und Festigkeits­klasse



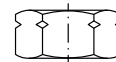
Sechskantmuttern mit Gewinde \geq M5 und mit reduzierter Belastbarkeit

mit Hersteller, Stahlsorte und Festigkeits­klasse, wobei der Festigkeits­klasse die Ziffer „0“ vorangestellt werden muss



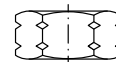
Sechskantmuttern mit Gewinde \geq M5 und Sorte A2 und Festigkeits­klasse 50 oder 025

mit einer Kerbe (alternative Kennzeichnung)



Sechskantmuttern mit Gewinde \geq M5 und Sorte A4 und Festigkeits­klasse 50 oder 025

mit zwei Kerben (alternative Kennzeichnung)



Muttern mit Linksgewinde \geq M5

auf der Oberseite der Mutter und auf der gleichen Fläche, auf der das Kennzeichen der Festigkeits­klasse angebracht ist mit einem nach links zeigenden Pfeil

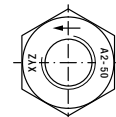


Bild 3.8 Beispiele für Kennzeichnungen auf Muttern aus rostbeständigen Stählen (Quelle: DIN EN ISO 3506-2:2020-08)

Bei austenitischen nichtrostenden Stählen mit niedrigem Kohlenstoffgehalt von höchstens 0,030 % können Verbindungselemente zusätzlich mit dem Buchstaben „L“ direkt nach der Stahlsorte gekennzeichnet werden. Beispiel: A4L-80.

Schrauben und Muttern aus warmfesten und kaltzähnen Stählen

Für den Einsatz bei sehr hohen und sehr niedrigen Temperaturen werden für Schrauben und Muttern in DIN 267 Teil 13 geeignete Werkstoffe empfohlen.

Für diese Anwendungsfälle gibt es keine Festigkeitsklassen. Der Konstrukteur legt den Werkstoff fest, der für die Betriebsbedingungen geeignet ist und den technischen Vorschriften entspricht.

Stähle und Nickellegierungen nach DIN EN 10269 für tiefe oder hohe Betriebstemperaturen

In DIN EN 10269 dokumentierter Temperaturbereich			Werkstoff				Härte HV der Schraube und / oder Mutter	
min	Langzeit ❶	Kurzzeit ❷	Kurzzeichen	Nummer	Kurzname	Zustand ❸	min	max
-120 °C	–	–	KB	1.5680	X12Ni5	+NT	157	203
-120 °C	–	–	KB	1.5680	X12Ni5	+QT	173	235
–	400 °C	500 °C	Y ❹	1.1181	C35E	+N	150	200
–	400 °C	500 °C	YK	1.1181	C35E	+QT	165	210
–	400 °C	–	YB	1.5511	35B2 ❺	+QT	165	210
-60 °C	500 °C	550 °C	KG	1.7218	25CrMo4	+QT	195	240
-100 °C	500 °C	–	GC	1.7225	42CrMo4	+QT	275	337
–	500 °C	550 °C	GA	1.7709	21CrMoV5-7	+QT	225	272
–	600 °C	500 °C	GB	1.7711	40CrMoV4-6	+QT	272	320
–	500 °C	600 °C	V ❻	1.4923	X22CrMoV12-1	+QT 1 ❷	256	303
–	500 °C	600 °C	VH ❷	1.4923	X22CrMoV12-1	+QT 2 ❷	287	367
–	600 °C	600 °C	VW	1.4913	X19CrMoVNbN11-1	+QT	287	367
–	650 °C	670 °C	S	1.4986	X7CrNiMoBNb16-16	+WW +P	210	272
-196 °C	650 °C	650 °C	SD	1.4980	X6NiCrTiMoVB25-15-2	+AT +P	287	367
-196 °C	650 °C	800 °C	SB	2.4952	NiCr20TiAl	+AT +P	320	417

❶ Obergrenze der Temperaturbereiche mit angegebenen Dehngrenzen und Zugfestigkeiten

❷ Obergrenze der Temperaturbereiche mit angegebenen Zeitdehngrenzen und Zeitstandfestigkeiten

❸ +N: normalgeglüht

+NT: normalgeglüht und angelassen

+QT: vergütet, d. h. gehärtet und angelassen

+WW: warmverfestigt

+AT: lösungsgeglüht und abgeschreckt

+P: ausscheidungsgehärtet

❹ Nur für Muttern

❺ Kennzeichen V für Werkstoff X22CrMoV12-1 nach DIN EN 10269 mit der 0,2 %-Dehngrenze $R_{p0,2} \geq 600 \text{ N/mm}^2$ (+QT 1)

❻ Kennzeichen VH für Werkstoff X22CrMoV12-1 nach DIN EN 10269 mit der 0,2 %-Dehngrenze $R_{p0,2} \geq 700 \text{ N/mm}^2$ (+QT 2)

❼ Siehe auch VdTÜV Werkstoffblatt 490

Tabelle 3.8 Stähle und Nickellegierungen für tiefe oder hohe Betriebstemperaturen (Quelle: DIN EN 10269)

Für den Einsatz von austenitischen Werkstoffen bei tiefen Temperaturen bis – 196 °C gilt die nachstehende Tabelle. Die Eigenschaften müssen den in DIN EN ISO 3506-1 und DIN EN ISO 3506-2

festgelegten Anforderungen für die jeweiligen Stahlsorten und Festigkeitsklassen entsprechen.

Anwendung von Schrauben aus nichtrostenden Stählen bei tiefen Temperaturen (nur austenitischer Stahl)

Stahlsorte		Untere Grenzwerte für die Betriebstemperatur bei Dauerbetrieb
A2, A3		– 196 °C
A4, A5	Schrauben ❶	– 60 °C
A4, A5	Stiftschrauben	– 196 °C

❶ In Verbindung mit dem Legierungselement Mo wird die Stabilität des Austenits reduziert und die Übergangstemperatur verschiebt sich auf höhere Werte, falls bei der Herstellung der Schraube größere Umformungsgrade angewendet werden.

Tabelle 3.8 Untere Betriebstemperatur-Grenzwerte bei Dauerbetrieb für Schrauben aus austenitischen Werkstoffen (Quelle: DIN EN ISO 3506-1:2020-08)

Sorte nichtrostender Stähle	Temperatur			
	+ 100 °C	+ 200 °C	+ 300 °C	+ 400 °C
A2, A3, A4, A5, A8	85	80	75	70
C1	95	90	80	65
C3	90	85	80	60
D2, D4, D6, D8	85	75	❷	❷

- ❶ Gegenwärtig sind keine Daten für die Festigkeitsklasse 100 verfügbar.
- ❷ Bei Sorten austenitischer, nichtrostender Stähle und Festigkeitsklasse 50 sollte der Hersteller von Verbindungselementen hinzugezogen werden; jedoch kann ein Schätzwert auf der Grundlage von EN 10269 (15) für Werkstoffe im Lösungsgelühten Zustand (+ AT) möglich sein.
- ❸ Bei nichtrostenden Duplex-Stählen wird eine Beanspruchung mit Temperaturen von mehr als + 250 °C aufgrund der Möglichkeit, dass eine 475 °C-Versprödung ausgelöst wird (α -Phase + α^1 -Phase) nicht empfohlen. Für Temperaturen von 250 °C bis einschließlich 315 °C ist es ratsam, einen erfahrenen Metallurgen für Verbindungselemente hinzuzuziehen (siehe auch ISO 3506-5 und ISO 3506-6).

Tabelle 3.9 Einfluss der Temperatur auf die 0,2 %-Dehngrenze $R_{p0.2}$ bei Verbindungselementen (Quelle: DIN EN ISO 3506-1:2020-08)

Schrauben und Muttern aus Nichteisenmetallen

Bei Nichteisenmetallen (NE) ist der Eisengehalt nicht höher als 50 %. Hierbei werden Leichtmetalle und Schwermetalle unterschieden.

Schwermetalle Kupfer und Kupferlegierungen, wie Messing, Kuproduer, u. a. Nickel und Nickellegierungen wie Monel

Leichtmetalle Aluminium und Aluminiumlegierungen, Titan und Titanlegierungen

Kennzeichen	Werkstoff		Gewinde- durchmesser d	Zugfestig- keit R _m N/mm ² min	0,2 %-Dehn- grenze R _{p0,2} N/mm ² min	Bruch- dehnung A % min
	Kurzzeichen	W-Nr.				
CU1	Cu-ETP oder Cu-FRHC	2.0060	d ≤ M 39	240	160	14
CU2	CuZn37 (alt Ms 63)	2.0321	d ≤ M 6	440	340	11
CU2	CuZn37 (alt Ms 63)	2.0321	M 6 < d ≤ M 39	370	250	19
CU3	CuZn39Pb3 (alt Ms 58)	2.0401	d ≤ M 6	440	340	11
CU3	CuZn39Pb3 (alt Ms 58)	2.0401	M 6 < d ≤ M 39	370	250	19
CU4	CuSn6	2.1020	d ≤ M 12	470	340	22
CU4	CuSn6	2.1020	M 12 < d ≤ M 39	400	200	33
CU5	CuNi1Si	2.0853	d ≤ M 39	590	540	12
CU6	CuZn40Mn1Pb	2.0580	M 6 < d ≤ M 39	440	180	18
CU7	CuAl10Ni5Fe4	2.0966	M 12 < d ≤ M 39	640	270	15
AL1	AlMg3	3.3535	d ≤ M 10	270	230	3
AL1	AlMg3	3.3535	M 10 < d ≤ M 20	250	180	4
AL2	AlMg5	3.3555	d ≤ M 14	310	205	6
AL2	AlMg5	3.3555	M 14 < d ≤ M 36	280	200	6
AL3	AlSiMgMn	3.2315	d ≤ M 6	320	250	7
AL3	AlSiMgMn	3.2315	M 6 < d ≤ M 39	310	260	10
AL4	AlCu4MgSi	3.1325	d ≤ M 10	420	290	6
AL4	AlCu4MgSi	3.1325	M 10 < d ≤ M 39	380	260	10
AL5	AlZnMgCu0,5	3.4345	d ≤ M 39	460	380	7
AL6	AlZn5,5MgCu	3.4365	d ≤ M 39	510	440	7

Tabelle 3.10 Mechanische Eigenschaften für Schrauben aus Nichteisenmetallen (Quelle: DIN EN 28839)

Mechanische Eigenschaften

Beim Zugversuch wird eine Schraube oder ein Probestab auf einer Prüfmaschine bis zum Bruch belastet. Unter der Belastung wird die Probe erst elastisch länger. Bei Entlastung geht das Teil in die

ursprüngliche Länge zurück. Bei einer größeren Belastung dehnt sich die Probe dauerhaft, das Teil wird plastisch verformt. Wird die Belastung weiter erhöht, bricht die Schraube oder der Probestab.



Bild 3.9 Zugversuch im akkreditierten Labor in Bielefeld

Beim Zugversuch werden folgende Werte ermittelt:

- R_e** Die **Streckgrenze** ist der Übergang von der elastischen in die plastische Verformung.
R_{eL} ist die untere Streckgrenze.
R_{eH} ist die obere Streckgrenze.
- R_{p0,2}** Die **Dehngrenze** wird für hochfeste Schrauben ab Festigkeitsklasse 8.8 an Stelle der Streckgrenze gemessen.
Es ist auch hier der Übergang von der elastischen in die bleibende (plastische) Verformung bei 0,2 % Längenveränderung zu beachten.
Für die Berechnung der Schraubenbelastung ist dieser Wert entscheidend.
- R_m** Mit dem Erreichen der **Zugfestigkeit** hat die Probe die höchste Belastung aufgenommen. Danach lässt der Widerstand nach und die Probe reißt.
Bei Schrauben darf der Bruch nicht unter dem Kopf eintreten, sondern im Gewinde oder im Schaft.
- A** Die **Bruchdehnung** ist die bleibende Verlängerung in %, bezogen auf die Ausgangslänge. Die Bruchdehnung wird an abgedrehten Probestäben ermittelt.

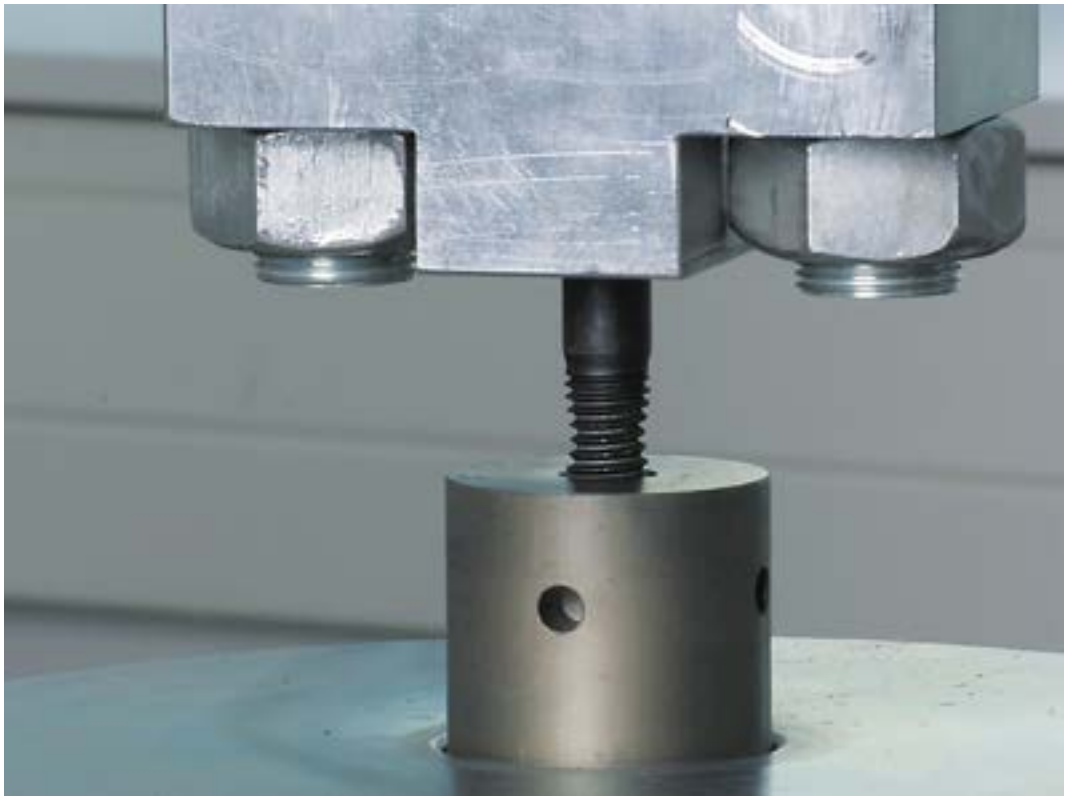


Bild 3.10 Zugversuch mit einer Schraube

Härteprüfungen

Bei der Härteprüfung wird der Widerstand gemessen, den der Werkstoff einem eingedrückten Prüfkörper entgegensetzt.

- HB** Härteprüfung nach **Brinell** für weiche bis mittelharte Werkstoffe.
Eine gehärtete Kugel wird in den Werkstoff eingedrückt.
Der Eindruckdurchmesser wird gemessen.
- HV** Härteprüfung nach **Vickers** für weiche bis harte Werkstoffe.
Der Eindruck erfolgt mit einer Diamant-Pyramide.
Die Diagonalen des Eindrucks werden gemessen.
- HR** Härteprüfungen nach **Rockwell**. Gemessen wird die Differenz zwischen einer Vorkraft und der Prüfkraft. Die Messung kann direkt am Gerät abgelesen werden.
HRC und HRA sind Prüfungen mit einem Diamantkegel für harte Werkstoffe.
HRB und HRF sind Prüfungen mit einer gehärteten Stahlkugel für weiche Werkstoffe.



Bild 3.11 Härteprüfung im Labor in Bielefeld

Zusammenstellung der Prüfbescheinigungen

Bezeichnung der Prüfbescheinigungen nach EN 10204		Inhalt der Beschreibung	Bestätigung der Bescheinigung durch
Art	Bezeichnung		
2.1	Werksbescheinigung	Bestätigung der Übereinstimmung mit der Bestellung	den Hersteller
2.2	Werkszeugnis	Bestätigung der Übereinstimmung mit der Bestellung unter Angabe von Ergebnissen nichtspezifischer Prüfung	den Hersteller
3.1	Abnahmeprüfzeugnis 3.1	Bestätigung der Übereinstimmung mit der Bestellung unter Angabe von Ergebnissen spezifischer Prüfung	den von der Fertigungsabteilung unabhängigen Abnahmebeauftragten des Herstellers
3.2	Abnahmeprüfzeugnis 3.2	Bestätigung der Übereinstimmung mit der Bestellung unter Angabe von Ergebnissen spezifischer Prüfung	den von der Fertigungsabteilung unabhängigen Abnahmebeauftragten des Herstellers und den vom Besteller beauftragten Abnahmebeauftragten oder den in den amtlichen Vorschriften genannten Abnahmebeauftragten

Tabelle 3.11 Zusammenstellung der Prüfbescheinigungen

Die bescheinigten Werte sind keine „zugesicherten Eigenschaften“. Die Prüfbescheinigungen ersetzen keine Wareneingangsprüfung.

Die Kosten für die Prüfteile, Prüfungen und Prüfbescheinigungen sind nicht im Produktpreis enthalten.

Für den Bereich der Druckbehälter sind von der Arbeitsgemeinschaft Druckbehälter (AD) Merkblätter erstellt, die auch für Schrauben und Muttern gelten.

AD-Merkblatt W 2 für austenitische Stähle (rost- und säurebeständig)

AD-Merkblatt W 7 für Schrauben und Muttern aus ferritischen Stählen

AD-Merkblatt W10 für Eisenwerkstoffe für tiefe Temperaturen

TRD 106 für Schrauben und Muttern aus Stahl

TRD = Technische Regeln für den Dampfkesselbau

Für den Druckbehälterbereich dürfen nur die vorgeschriebenen Werkstoffe eingesetzt werden.

Die Produkte dürfen nur von zugelassenen Herstellern stammen, deren Produktion von unabhängigen Zertifizierungsstellen überwacht wird.

Diese Hersteller werden regelmäßig auditiert und bekommen eine Zulassung. Die Namen, Adressen und Herstellerzeichen sind in den Merkblättern aufgelistet.

Welche Schrauben kann man schweißen?

Die Eignung zum Schweißen wird von den Legierungselementen im Stahl beeinflusst.

Zum Schweißen geeignet sind

- Schweißmuttern
- Anschweißenden
- Schweißbolzen usw.

In den Funktionsnormen für andere Schrauben und Muttern sind keine Angaben über die Schweißbarkeit enthalten.

Die Festigkeitsklassen legen auch keinen genauen Werkstoff fest, sondern überlassen es dem Hersteller innerhalb eines festgelegten Rahmens, den geeigneten Stahl für seine Fertigungsmethode auszuwählen. Deshalb kann man über die Festigkeitsklasse nicht erkennen, ob sich der Werkstoff zum Schweißen eignet.

Hochfeste Schrauben ab Festigkeitsklasse 8.8 werden vergütet. Durch diese Wärmebehandlung werden die mechanischen Eigenschaften erreicht. Werden diese Teile beim Schweißen hohen Temperaturen ausgesetzt, dann verändern sich diese Eigenschaften. Das bedeutet, dass ein Verbindungselement nach dem Verschweißen unter Umständen nicht mehr der ursprünglichen Festigkeitsklasse entspricht.

Es gibt auch viele verschiedene Schweißverfahren, die das Materialverhalten unterschiedlich beeinflussen.

Nur der Schweißfachmann kann entscheiden, ob sich ein Werkstoff für ein bestimmtes Schweißverfahren eignet.

Normen

Eine Norm ist ein Dokument, das Anforderungen an Produkte, Dienstleistungen oder Verfahren eindeutig beschreibt. Damit wird Klarheit über deren Eigenschaften, Ausführungen und Anwendungen geschaffen, und der freie Warenaustausch gefördert. Grundsätzlich kann jeder eine Norm formulieren, entscheidend ist allerdings eine möglichst weitreichende Akzeptanz einer Norm.

Das Deutsche Institut für Normung e.V. (DIN) ist eine unabhängige und privatwirtschaftlich organisierte Plattform für Normung und Standardisierung in Deutschland. Das DIN besteht seit über einhundert Jahren und besitzt international eine sehr gute Reputation. Rund 3.000 Unternehmen mit über 12.000 Tochtergesellschaften sind Mitglied beim DIN. Sie stellen einen großen Teil mit mehr als 34.000 Experten, die in den einzelnen DIN-Normenausschüssen mitarbeiten. Im Jahr 1975 ist das DIN über einen Vertrag mit der Bundesrepublik Deutschland eine Public-Private-Partnership eingegangen, mit der das DIN als einzige nationale Normungsorganisation anerkannt wurde. Aktuell bilden rund 34.000 Normen das deutsche Normenwerk. Diese werden über den Beuth Verlag veröffentlicht.

Ist die Anwendung von DIN-Normen verpflichtend?

Die Anwendung von DIN-Normen ist grundsätzlich freiwillig. Erst wenn Normen zum Inhalt von Verträgen werden oder wenn der Gesetzgeber ihre Einhaltung zwingend vorschreibt, werden Normen bindend. Zwar stellen sie im Fall einer möglichen Haftung keinen Freibrief dar, aber wer DIN-Normen – als anerkannte Regeln der Technik – einhält, kann ein korrektes Verhalten einfacher nachweisen. Ein Beispiel dafür ist das deutsche Produktsicherheitsgesetz (ProdSG). Ein Hersteller kann zur Erfüllung der gesetzlich geforderten Mindestanforderungen auf einschlägige DIN-Normen zurückgreifen, und dann davon ausgehen, dass er die grundlegenden Sicherheits- und Gesundheitsanforderungen erfüllt (Vermutungswirkung).

Bei DIN-Normen gibt es einen definierten Lebenszyklus: Solange eine Norm neu erstellt oder überarbeitet wird, befindet sie sich im Status „Entwurf“, erst nach abgeschlossener Prüfung gilt sie als „freigegeben“. Wenn der Inhalt einer Norm nicht mehr dem aktuellen Stand der Technik entspricht, wird sie „zurückgezogen“ – entweder „mit Verweis“ auf eine andere Norm, oder „ersatzlos“, falls die Technologie insgesamt als veraltet gilt. Der in diesem Zusammenhang verbreitete Zustand „ungültig“ ist nicht vorgesehen: Auch zurückgezogene Normen dürfen weiterhin angewendet werden, wenn die Verwendung nicht per Gesetz explizit untersagt ist.

Um einen internationalen Warenaustausch zu vereinfachen und Handelshindernisse zu beseitigen, werden nationale Normen zunehmend durch international harmonisierte Normen ersetzt. Dadurch stehen international einheitliche Begriffe und Beschreibungen zur Verfügung, der Qualitätsstandard wird auf hohem Niveau vereinheitlicht, und die Produkte können weltweit ausgetauscht werden. Die ISO „International Organization for Standardization“ mit dem Sitz in Genf ist für die internationale Normung zuständig. Deren Ergebnisse werden unter der Bezeichnung ISO veröffentlicht.

Viele ISO-Normen werden als Europäische Normen übernommen und bekommen auf diesem Weg den Status einer DIN-Norm (DIN EN ISO). Einige ISO-Normen werden auch direkt als DIN-Normen übernommen (DIN ISO). Auf Grund der Übernahmeverpflichtung werden europäische Normen von den Mitgliedern des CEN „Europäisches Komitee für Normung“ in das jeweilige nationale Normenwerk übernommen. Gegensätzliche nationale Normen werden zurückgezogen. Dabei kommt es zu verschiedenen Bezeichnungen für Normen:

DIN	Nationale deutsche Norm
ISO	Internationale Norm
DIN ISO	Deutsche Ausgabe einer unveränderten ISO-Norm
EN	Europäische Norm
DIN EN	Deutsche Ausgabe einer Europäischen Norm
EN ISO	Europäische Ausgabe einer unveränderten ISO-Norm
DIN EN ISO	Deutsche Ausgabe einer EN ISO-Norm

Auf diese Weise genormte Produkte werden vereinfacht nur mit DIN oder ISO bezeichnet.

Zum Beispiel werden Sechskantschrauben mit Schaft nach DIN EN ISO 4014 in Zeichnungen, Stücklisten, kaufmännischen Unterlagen und auf der Verpackung vereinfachend als „ISO 4014“ bezeichnet.



Bild 4.1 Kopfzeile der DIN EN ISO 4014

Die meisten mechanischen Verbindungselemente (Schrauben, Muttern, Scheiben, Stifte usw.) werden nach den Normen benannt, in denen ihre Formen, Maße, Toleranzen und mechanischen Eigenschaften festgelegt sind. Allgemein werden Normen, die einzelne Artikel in ihren diversen Ausführungsformen beschreiben, als „**Produktnormen**“ bezeichnet. In diesen Normen wird auch festgelegt, wie die einzelnen Varianten zu bezeichnen sind.

ISO 4014 - M12 x 80 - 8.8

beschreibt zum Beispiel eine Sechskantschraube mit metrischem Gewinde M12, Nennlänge $l = 80$ mm und Festigkeitsklasse 8.8.

Darüber hinaus verweisen Produktnormen auf andere Normen, die Werkstoffe, mechanische Eigenschaften, Oberflächenbeschichtungen und Weiteres regeln. Hierbei handelt es sich um sogenannte „**Funktionsnormen**“. Darüber hinaus werden „**Grundnormen**“ herangezogen, die grundsätzliche und allgemeingültige Anforderungen für Verbindungselemente beschreiben. Durch Grundnormen festgelegt werden z. B. Gewindeausführungen, Gewindeausläufe, Kuppen, Toleranzen, Kraftangriffe, Abnahmeprüfungen oder spezielle Geometriemerkmale.

Anhand der vorab erwähnten ISO 4014 soll nun dargestellt werden, welche Maße in einer Produktnorm beschrieben werden.

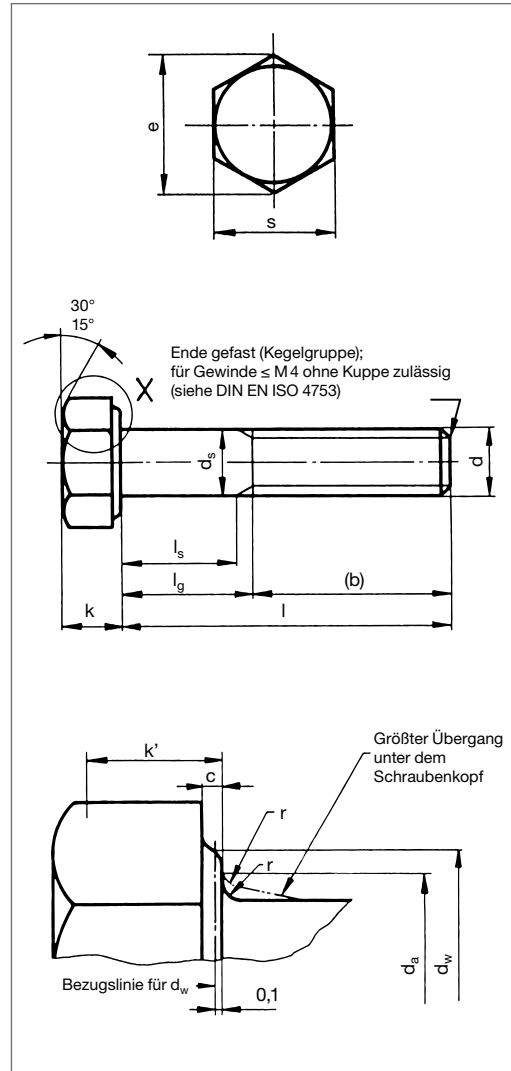


Bild 4.2 Sechskantschraube mit Schaft DIN EN ISO 4014
(Quelle: DIN EN ISO 4014)

Beschreibung der Maße

b	Gewindelänge
c	Höhe des Telleransatzes
d	Außendurchmesser (Nenndurchmesser) des Gewindes
d _a	Innendurchmesser der Auflagefläche
d _s	Schaftdurchmesser
d _w	Durchmesser der Auflagefläche
e	Eckmaß
k	Kopfhöhe
k'	Antriebshöhe
l	Nennlänge
l _g	Abstand des letzten Gewindeganges von der Auflagefläche
l _s	Schaftlänge
r	Übergangsradius unter dem Schraubenkopf
s	Schlüsselweite

Diese Kurzzeichen und die Benennung der Maße sind in der DIN EN ISO 225 festgelegt. Durch die Angabe von Nenndurchmesser und Nennlänge ergeben sich aus der Produktnorm alle anderen Maße für den jeweiligen Artikel.

Sonderformen

Zusätzliche Bezeichnungen in der Artikelangabe benennen besondere Ausführungen.
ISO 4014/8.8 M 12 × 50 **S** bedeutet „mit Splintloch“.

Abkürzungen für Formen und Ausführungen

Abk.	Erklärung	Beispiel	Abbildung
A	Gewinde annähernd bis Kopf (DIN 962)	A M 6 × 40	
Ak	Ansatzkuppe (DIN 962)	M 10 × 50 Ak	
B	Schaftdurchmesser ≈ Flankendurchmesser (DIN 962)	B M 8 × 80	
C	Schaftdurchmesser ≈ Gewindedurchmesser (DIN 962)	C M 12 × 90	
C	Blechschauben mit Spitze (DIN EN ISO 1478)	ST 3,5 × 9,5 C	
CA	Gewindespitze (DIN EN ISO 4753)	M 10 × 50 CA	
CH	Kegelkuppe (DIN EN ISO 4753)	M 10 × 50 CH	
CN	Spitze (DIN EN ISO 4753)	M 10 × 50 CN	
CP	Ringschneide (DIN EN ISO 4753)	M 10 × 50 CP	
F	Blechschauben mit Zapfen (DIN EN ISO 1478)	ST 3,5 × 9,5 F	
FL	Kegelstumpf (DIN EN ISO 4753)	M 10 × 50 FL	
Fo	Stiftschrauben ohne Festsitzgewinde (DIN 962)	M 10 Fo × 50	
H	Philips - Kreuzschlitz	M 5 × 20 H	
L	Scheiben für Kombischrauben (groß) (DIN EN ISO 10644)	M 10 × 50 S2-L	
LD	Langer Zapfen (DIN EN ISO 4753)	M 10 × 50 LD	
LH	Linksgewinde (DIN 962)	M 12 LH × 75	
N	Scheiben für Kombischrauben (mittel) (DIN EN ISO 10644)	M 10 × 50 S2-N	
PC	Einführzapfen mit Ansatzspitze (DIN EN ISO 4753)	M 10 × 50 PC	
PF	Einführzapfen, flach (DIN EN ISO 4753)	M 10 × 50 PF	
R	Blechschauben mit gerundeter Spitze (DIN EN ISO 1478)	ST 3,5 × 9,5 R	
Ri	Gewindefreistich (DIN 76-1)	M 10 × 50 Ri	
RL	Ohne Kuppe (DIN EN ISO 4753)	M 10 × 50 RL	


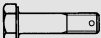
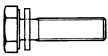
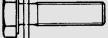


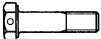
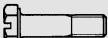
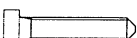




Abk.	Erklärung	Beispiel	Abbildung
RN	Linsenkuppe (DIN EN ISO 4753)	M 10 × 50 RN	
S	Splintloch (DIN 962 / DIN 34803)	M 10 × 50 S	
S	Scheiben für Kombischrauben (klein) (DIN EN ISO 10644)	M 10 × 50 S4-S	
S1-S6 S10-S13	Unterschiedliche Kopfarten für Kombischrauben mit flachen Scheiben S, N oder L (DIN EN ISO 10644)	M 10 × 50 S2-N	
SC	Schabennut (DIN EN ISO 4753)	M 10 × 50 SC	
SD	Kurzer Zapfen (DIN EN ISO 4753)	M 10 × 50 SD	
Sk	Sicherungsloch im Kopf / Drahtloch (DIN 962 / DIN 34803)	M 10 × 50 Sk	
Sz	Schlitz	M 10 × 50 Sz	
TC	Spitze abgeflacht (DIN EN ISO 4753)	M 10 × 50 TC	
Z	Pozidriv - Kreuzschlitz	M 5 × 20 Z	
Z 0	Kombischraube mit kleiner Scheibe (DIN EN ISO 10644)	M 10 × 50 Z 0	
Z 1	Kombischraube mit normaler Scheibe (DIN EN ISO 10644)	M 10 × 50 Z 1	
Z 2	Kombischraube mit großer Scheibe (DIN EN ISO 10644)	M 10 × 50 Z 2	

Tabelle 4.1 Abkürzungen für Formen und Ausführungen

Gegenüberstellung alter und neuer Kurzzeichen für Schraubenenden

Mit der Veröffentlichung von DIN EN ISO 4753, die DIN 78 weitgehend ersetzt hat, haben sich die Kurzzeichen zahlreicher Schraubenenden (bisher Gewindeenden) geändert. Zum leichteren Auffinden der nun gültigen Kurzzeichen sind im Folgenden die alten und die neuen Kurzzeichen einander gegenübergestellt:

Altes Kurzzeichen	Erklärung	Neues Kurzzeichen
K	Kegelkuppe	CH
Ka	Kernansatz / kurzer Zapfen	SD
Ko	Ohne Kuppe	RL
Ks	Kegelstumpf	FL
L	Linsenkuppe	RN
Rs	Ringschneide	CP
Sb	Schabanut	SC
Sp	Spitze abgeflacht	TC
Za	Zapfen / langer Zapfen	LD

Tabelle 4.2 Kurzzeichen für Schraubenenden

Umstellung DIN – ISO

Im Zuge der Umstellung von nationalen auf international harmonisierten Normen haben sich bei den einzelnen Produktgruppen folgende Änderungen ergeben:

Normänderungen bei Sechskantprodukten

DIN	ISO	Bezeichnung
931	4014	Sechskantschrauben mit Schaft (Produktklasse A und B)
601	4016	Sechskantschrauben mit Schaft (Produktklasse C)
933	4017	Sechskantschrauben mit Gewinde bis Kopf (Produktklasse A und B)
558	4018	Sechskantschrauben mit Gewinde bis Kopf (Produktklasse C)
960	8765	Sechskantschrauben mit Schaft und metrischem Feingewinde
961	8676	Sechskantschrauben mit Gewinde bis Kopf, mit metrischem Feingewinde
934	4032	Sechskantmutter Typ 1 (Produktklasse A und B)
439	4035	Sechskantmutter (niedrige Form)
934	8673	Sechskantmutter Typ 1 (Produktklasse A und B), Feingewinde
7991	10642	Senkschrauben mit Innensechskant

Tabelle 4.3 Normenänderungen bei Sechskantprodukten aufgrund der DIN-ISO Umstellung

Änderungen der Schlüsselweiten

Gewinde- durchmesser	Kleiner Sechskant DIN 561, 564		Standard-Sechskant		Großer Sechskant HV-Produkte		Vierkant DIN 478, 479, 480	
	DIN	ISO	DIN	ISO	DIN	ISO	DIN	ISO
M 10	–	–	17	16	–	–	–	–
M 12	17	16	19	18	22	21	–	–
M 14	–	–	22	21	–	–	–	–
M 16	19	18	–	–	–	–	17	16
M 20	–	–	–	–	32	34	22	21
M 22	–	–	32	34	–	–	–	–

Tabelle 4.4 Schlüsselweiten-Änderung aufgrund der DIN-ISO Umstellung

Änderungen der Höhen bei **Sechskantmuttern**

Gewinde d	Mutterhöhe m					
	DIN 934			ISO 4032 Typ 1		
	min.	max.	m/d ^①	min.	max.	m/d ^①
M 5	3,7	4	0,8	4,4	4,7	0,94
M 6	4,7	5	0,83	4,9	5,2	0,87
M 7	5,2	5,5	0,79	6,14	6,5	0,93
M 8	6,14	6,5	0,81	6,44	6,8	0,85
M 10	7,64	8	0,8	8,04	8,4	0,84
M 12	9,64	10	0,83	10,37	10,8	0,9
M 14	10,3	11	0,79	12,1	12,8	0,91
M 16	12,3	13	0,81	14,1	14,8	0,92
M 18	14,3	15	0,83	15,1	15,8	0,88
M 20	14,9	16	0,8	16,9	18	0,9
M 22	16,9	18	0,82	18,1	19,4	0,88
M 24	17,7	19	0,79	20,2	21,5	0,9
M 27	20,7	22	0,81	22,5	23,8	0,88
M 30	22,7	24	0,8	24,3	25,6	0,85
M 33	24,7	26	0,79	27,4	28,7	0,87
M 36	27,4	29	0,81	29,4	31	0,86
M 39	29,4	31	0,79	31,8	33,4	0,86

① Anmerkung: m/d bedeutet das Verhältnis der Mutterhöhe zum Gewindedurchmesser

Tabelle 4.5 Höhenänderungen bei Sechskantmuttern aufgrund der DIN-ISO Umstellung

Normänderungen für **Gewindeschrauben** und **Blechschauben**

Gewindeschrauben		Blechschauben / Bohrschrauben	
DIN	ISO	DIN	ISO
84	1207	7971	1481
85	1580	7972	1482
963	2009	7973	1483
964	2010	7976	1479
965	7046	7981	7049
966	7047	7982	7050
7985	7045	7983	7051
–	–	7504	10666, 15480, 15481, 15482, 15483

Tabelle 4.6 Normänderungen bei Gewindeschrauben und Blechschauben aufgrund der DIN - ISO Umstellung

Statt der Linsenschraube DIN 7985 – Flachkopfschraube ISO 7045 mit geänderter Kopfform.

Bei der Normumstellung für Gewindeschrauben und Blechschauben ergeben sich folgende Änderungen:

- Der Senkwinkel für Blechschauben mit Senk- und Linsensenkkopf wurde von 80° auf 90° geändert.
- Der Durchmesser ST 3,9 für Blechschauben entfällt.
- Die Kopfmaße wurden geändert, teilweise geringfügig innerhalb der Toleranzen.
- Die Bohrschrauben DIN 7504 wurden in fünf Einzelnormen aufgeteilt.

Normen und Richtlinien für Verbindungselemente

Normänderungen bei **Bolzen, Stiften, Gewindestiften und Scheiben für Bolzen**

Artikelgruppe	DIN	ISO	Die wichtigsten Änderungen
Kegelstifte, Zylinderstifte	1	2339	Länge l neu nach ISO mit Kuppen (bisher nach DIN ohne Kuppen)
	7	2338	Länge l neu nach ISO mit Kuppen (bisher nach DIN ohne Kuppen), Formen A, B, C (Form A / Toleranz m 6 neu mit Kuppe / Fase)
	6325	8734	Neu: Form A mit Fase / Kuppe, durchgehärtet (weitgehend identisch mit DIN 6325), Form B mit Fase, einsatzgehärtet
	7977 7978 7979/D	8737 8736 8733/ 8735 A	Keine gravierenden Änderungen, DIN und ISO nahezu identisch
Kerbstifte, Kerbnägel	1470 1471 1472 1473 1474 1475	8739 8744 8745 8740 8741 8742	Länge l neu nach ISO mit Kuppen (bisher nach DIN ohne Kuppen) und die Scherkräfte wurden erhöht
	–	8743	Neu: Knebelkerbstift, halbe Länge, gekerbt
	1476 1477	8746 8747	Form A = keine gravierenden Änderungen, Form B mit Einführende
Spannstifte, Spiral-Spannstifte	1481 7346	8752 13337	Form A = Regelausführung (bisher 0 - 12 mm) mit 2 Fasen (bisher 0 - 6 mm) zusätzlich Form B = nicht verhakend
	7343 7344	8750 8748	Keine gravierenden Änderungen
	–	8749 8751	Neu: Stifte, Kerbstifte: Scherversuch Neu: Spiral-Spannstifte: leichte Ausführung
Gewindestifte mit Schlitz	417 438 551 553	7435 7436 4766 7434	Keine gravierenden Änderungen, DIN und ISO nahezu identisch
Bolzen	1443 1444	2340 2341	Teilweise andere Nennlängen, Längtoleranzen geändert
	1433 1434 1435 1436	–	Diese Normen wurden zurückgezogen (1.94), vergleichbar sind jedoch die ISO 2340 / 2341
Scheiben für Bolzen	1440	8738	Einige Außendurchmesser und Dicken geändert (im Allgemeinen nicht austauschgefährdet)

Tabelle 4.7 Normänderungen bei Bolzen, Stiften, Gewindestiften und Scheiben für Bolzen aufgrund der DIN-ISO Umstellung

Vergleich DIN EN ISO 10642 – DIN 7991

Bei der DIN EN ISO 10642 sind die Maße M 18, M 22 und M 24 im Gegensatz zur DIN 7991 nicht aufgeführt. Zusätzlich zur Festigkeitsklasse 8.8 beinhaltet die DIN EN ISO 10642 auch höhere Festigkeitsklassen (10.9 und 12.9). Diese Klassen sind in der DIN 7991 nicht erfasst.

Während in der DIN EN ISO 10642 lediglich der Werkstoff Stahl aufgeführt ist, werden in der DIN 7991 zusätzlich nichtrostender Stahl und Nichteisenmetall aufgeführt. Die Ausführung mit Schaft beginnt bei DIN EN ISO 10642 tendenziell erst bei größeren Längen als bei der DIN 7991.

Bei der DIN EN ISO 10642 wurde der Wert „w“ eingeführt, der den Grund unter dem Kraftangriff bemaßt. Stattdessen ist in der DIN 7991 die maximale Eindringtiefe „t_{max}“ bemaßt. Wegen der reduzierten Belastbarkeit von Senkköpfen wurde eine Tabelle mit geringeren Mindestbruchkräften bei der DIN EN ISO 10642 eingefügt. Bei der Kennzeichnung der Festigkeitsklasse wird durch eine vorangestellte Null auf die reduzierte Belastbarkeit der Schraube hingewiesen.

Weitere Abweichungen, die Gewindelänge, Kopfdurchmesser und Kopfhöhe betreffen sind folgender Tabelle zu entnehmen:

Gewindedurchmesser d	Gewindelänge (Hilfsmaß) b		Kopfdurchmesser d _k				Kopfhöhe k _{max}	
	DIN EN ISO 10642	DIN 7991	DIN EN ISO 10642		DIN 7991		DIN EN ISO 10642	DIN 7991
			max	min	max	min		
M 3	18	12	6,72	5,54	6,0	5,70	1,86	1,7
M 4	20	14	8,96	7,53	8,0	7,64	2,48	2,3
M 5	22	16	11,20	9,43	10,0	9,64	3,10	2,8
M 6	24	18 / 24 [●]	13,44	11,34	12,0	11,57	3,72	3,3
M 8	28	22 / 28 [●]	17,92	15,24	16,0	15,57	4,96	4,4
M 10	32	26 / 32 / 45 [●]	22,40	19,22	20,0	19,48	6,20	5,5
M 12	36	30 / 36 / 49 [●]	26,88	23,12	24,0	23,48	7,44	6,5
(M 14)	40	34 / 40 / 53 [●]	30,80	26,52	27,0	26,48	8,40	7,0
M 16	44	38 / 44 / 57 [●]	33,60	29,01	30,0	29,48	8,80	7,5
M 18	–	42 / 48 / 61 [●]	–	–	33,0	32,38	–	8,0
M 20	52	46 / 52 / 65 [●]	40,32	36,05	36,0	35,38	10,16	8,5
M 22	–	50 / 56 / 69 [●]	–	–	36,0	35,38	–	13,1
M 24	–	54 / 60 / 73 [●]	–	–	39,0	38,38	–	14,0

● in Abhängigkeit von der Nennlänge

Tabelle 4.8 Vergleich DIN EN ISO 10642 und DIN 7991

Richtlinien

Neben Normen gibt es weitere Richtlinien, die für Verbindungselemente wichtig sind. Ähnlich wie Normen gelten diese Regelwerke als „Stand der Technik“. Auch deren Anwendung ist nur dann verpflichtend, wenn die Einhaltung per Gesetz zwingend gefordert wird. Als Beispiel sei hier die EU-Maschinenrichtlinie 2006/42/EG genannt, die als Maschinenverordnung (9. ProdSV) in nationales Recht in Deutschland umgesetzt wurde. Hier werden unter anderem bestimmte Anforderungen an Verbindungselemente bei Sicherungseinrichtungen von Maschinen gesetzlich vorgeschrieben.

Ein weiteres Beispiel ist die VDI-Richtlinie 2230, die die systematische Berechnung von hochfesten Schraubenverbindungen beschreibt, und international als Standardwerk angesehen wird. Details zur VDI-Richtlinie 2230 finden Sie im Kapitel „Auswahl und Berechnung“. Wenn etablierte Berufsverbände wie der VDI (Verein Deutscher Ingenieure) Gestaltungsempfehlungen in Form von Richtlinien erlassen, gelten diese ebenfalls als anerkannte Regeln der Technik, die zu berücksichtigen sind.

Normen und Richtlinien für Verbindungselemente

Warenzeugnisse dienen dazu, definierte Werkstoffeigenschaften von Produkten eindeutig und nachvollziehbar zu dokumentieren. Bis 1995 galt die DIN 50049 „Arten von Prüfbescheinigungen“, in der die Bescheinigungen über Materialprüfungen geregelt wurden. Sie trat 1951 erstmals in Kraft und wurde zuletzt 1992 geändert.

Früher war es üblich, dass der Handel Werksbescheinigungen (2.1), Werkszeugnisse (2.2), Werksprüfzeugnisse (2.3), aber auch Abnahmeprüfzeugnisse (3.1B) umgeschrieben hat, weil es nicht in seinem Interesse war, den Vorlieferanten zu benennen.

Mit der Ausgabe von Juli 1982 wurde der Handel erstmals durch die Einführung der Bezeichnung „herstellendes und verarbeitendes Werk“ gezwungen, den Lieferungen die Kopien der Bescheinigungen auf Anforderung des Kunden beizulegen.

Die DIN 50049:1992-02 war die deutsche Fassung der EN 10204:1991 – diese wurde 1995 durch die DIN EN 10204:1995 ersetzt.

Die letztgenannte Norm enthält die Änderungen, die z. B. wegen der Anpassung an die Europäische Druckgeräterichtlinie (97/23/EG) erforderlich sind, und ist harmonisiert.

Das Werkszeugnis (2.3) wurde gestrichen, aus dem Abnahmeprüfzeugnis 3.1B wurde 3.1 und die Abnahmeprüfzeugnisse 3.1A, 3.1C und Abnahmeprüfprotokolle 3.2A und 3.2C (der früheren Ausgabe) wurden durch 3.2 ersetzt (siehe Tabelle 4.9).

Art	Nummer		Prüfverantwortlichkeit	Unterschrift	Bestätigung der Bescheinigung durch
	alt	aktuell			
Werksbescheinigung	2.1	2.1			den Hersteller
Werkszeugnis	2.2	2.2	herstellendes oder verarbeitendes Werk		
Werksprüfzeugnis	2.3	entfällt			entfällt
Abnahmeprüfzeugnis	3.1B	3.1	von der Fertigung unabhängiger Sachverständiger	Werkssachverständiger	den von der Fertigungsabteilung unabhängigen Abnahmebeauftragten der Hersteller
	3.1A	3.2	von der Fertigung unabhängiger Sachverständiger	in der amtlichen Vorschrift genannter Sachverständiger	den von der Fertigungsabteilung unabhängigen Abnahmebeauftragten der Hersteller und dem vom Besteller beauftragten Abnahmebeauftragten oder der in den amtlichen Vorschriften genannten Abnahmebeauftragten
	3.1C			vom Besteller beauftragter Sachverständiger	
Abnahmeprüfprotokoll	3.2A	entfällt	wie für 3.1A	zusätzliche Unterschrift des Werksachverständigen	entfällt
	3.2C		wie für 3.1B		

Hinweis: „alt“ bezieht sich auf die DIN 50049:1992, „aktuell“ auf die DIN EN 10204:2005

Tabelle 4.9 Prüfbescheinigungen im Vergleich der Vorgängernormen und nach DIN EN 10204-2005-1

Die internationale Version ist die ISO 10474:2013-07, „Steel and steel products – Inspection documents“, es ist praktisch die englische Übersetzung der DIN EN 10204:2005-01. Die Tabelle 4.10 (siehe unten) gibt die englischen Bezeichnungen und Beschreibungen der Prüfbescheinigungen wieder.

Name of the document	Standard designation	Contents of document	Document visited by
Declaration of compliance with the order	2.1	Manufacturer's declaration of compliance with the order without test results	the manufacturer
Test report	2.2	Manufacturer's declaration of compliance with the order, with test results based on non specific inspection	
Inspection certificate	3.1	Manufacturer's declaration of compliance with the order, with test results based on specific inspection	the manufacturer's authorized inspection representative independent of the manufacturing department
	3.2		the manufacturer's authorized inspection representative and either purchaser's authorized representative or by an inspector designated by a third party

Tabelle 4.10 Prüfbescheinigungen (inspection documents) nach ISO 10474:2013-07

Die Werksbescheinigung und das Werkszeugnis werden auf Basis nicht spezifischer (non specific) Prüfungen vom Hersteller erstellt. Basis für die Abnahmeprüfzeugnisse 3.1 und 3.2 sind spezifische (specific) Prüfungen, auf Basis der zwischen Besteller und Hersteller festgelegten Anforderungen.

In diesem Zusammenhang bedeutet „nicht spezifisch“, dass sich die Prüfanforderungen aus der Normung ergeben, „spezifisch“ sind kundenindividuelle, zusätzliche Anforderungen. Dem Händler wird vorgeschrieben und es wird definiert, wie er mit Prüfbescheinigungen umzugehen hat.

Zitat: „Ein Händler darf nur Originale oder Kopien der vom Hersteller gelieferten Prüfbescheinigungen ohne irgendeine Veränderung weitergeben. Diesen Bescheinigungen muss zusätzlich ein geeignetes Mittel zur Identifizierung des Erzeugnisses beigefügt werden, damit die eindeutige Zuordnung von Erzeugnis und Bescheinigung sichergestellt ist.“

Einfluss hat hier sicher auch das Produkthaftungsgesetz, denn bei Gewährleistungsansprüchen gilt nicht mehr die Durchgriffshaftung, sondern die direkte Produkthaftungskette überträgt Gewährleistungsansprüche vom Kunden zum Lieferanten (Endkunde an Handel, Handel an Großhandel, Großhandel an Hersteller).

Zitat: „Organisation, die Erzeugnisse von einem Hersteller erhält und diese ohne weitere Bearbeitung weitergibt oder, wenn bearbeitet, ohne Veränderung der in der Bestellung und in der der Bestellung zugrunde liegenden Erzeugnisspezifikation festgelegten Eigenschaften.“

Kopien der Originalbescheinigung sind zulässig unter der Voraussetzung, dass

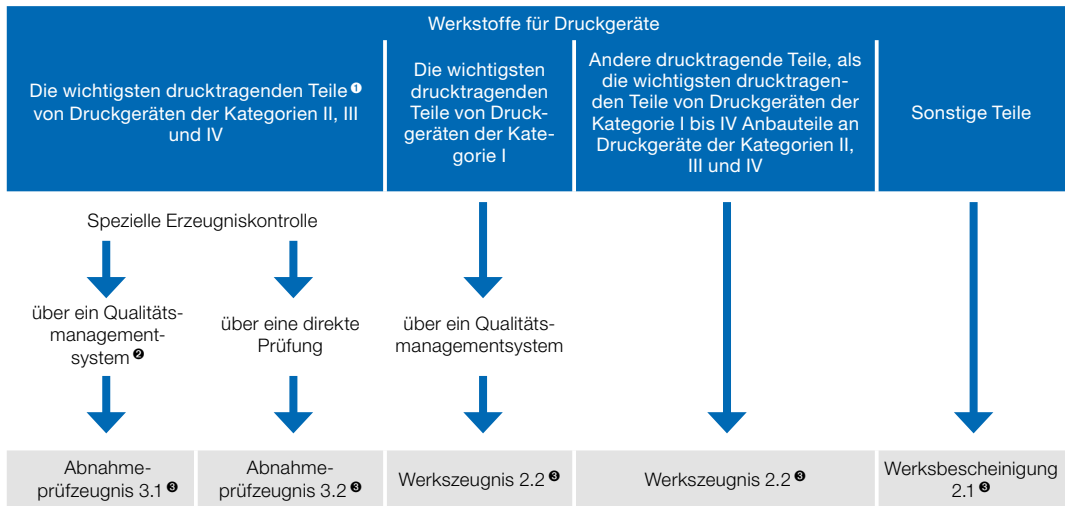
- Verfahren zur Sicherstellung der Rückverfolgbarkeit angewendet werden,
- die Originalbescheinigung auf Anforderung verfügbar ist.

Wenn Kopien hergestellt werden, ist es zulässig, die Angabe der ursprünglichen Liefermenge durch die aktuelle Teilmenge zu ersetzen. Die bescheinigten Werte sind keine „zugesicherten Eigenschaften“. Die Prüfbescheinigungen ersetzen keine Wareneingangsprüfung.

Die Kosten für die Prüfteile, Prüfungen und Prüfbescheinigungen sind nicht im Produktpreis enthalten. Welche Arten der Prüfbescheinigungen gefordert sind, geht aus den mitgeltenden Richtlinien/Regelwerken/Vorschriften und Gesetzen hervor.

Beispiel:

In der unten aufgeführten Tabelle 4.11 werden die Prüfbescheinigungen für Werkstoffe für Druckgeräte in Abhängigkeit von der jeweiligen Anwendung zugeordnet.



❶ Wichtigste drucktragende Bauteile sind Bauteile, bei denen ein Defekt zu einer plötzlichen Freisetzung der Druckenergie führen kann, siehe z. B. Leitlinie 7/8

❷ nach Anhang I, Absatz 4.3 der Richtlinie 2014/68/EU (ex. 97/23/EG)

❸ nach DIN EN 10204:2005-01

Tabelle 4.11 Prüfbescheinigungen für Werkstoffe für Druckgeräte (in Anlehnung an DIN EN 764-5, Bild 1 – Arten der erforderlichen Prüfbescheinigungen)

Die Zusammenhänge zur Richtlinie 2014/68/EU Druckgeräterichtlinie (PED) ergeben sich bspw. aus der harmonisierten DIN EN 764-5:2015-03, Druckgeräte – Teil 5: Prüfbescheinigungen für metallische Werkstoffe und Übereinstimmung mit der Werkstoffspezifikation.

Der Zusammenhang zwischen den Anforderungen und der Prüfbescheinigung ist in der Tabelle 4.11 dargestellt.

Der Sinn von Abnahmeprüfzeugnissen ergibt sich erst bei einer zum eingesetzten Werkstoff zurück verfolgbaren Kennzeichnung der Bauteile. Diese ist in einzelnen harmonisierten Normen festgeschrieben und umzusetzen.

DIN EN ISO 16228

In dieser Norm werden vier Prüfbescheinigungsarten für genormte, fertige mechanische Verbindungselemente festgelegt, in denen die Ergebnisse aus Prüfbescheinigungen der Vormaterialien (nach DIN EN 10204) übernommen werden und die Prüfergebnisse aus Prüfungen an den fertigen Verbindungselementen dokumentiert werden. Eine Weitergabe der Prüfbescheinigungen der Vormaterialien ist dabei nicht vorgesehen.

So wie in DIN EN 10204 werden vier Prüfbescheinigungen unterschieden.

Jede Prüfbescheinigung nach DIN EN ISO 16228 stellt zugleich auch eine Konformitätserklärung für den Gesamtzustand der gelieferten mechanischen Verbindungselemente dar, völlig unabhängig davon, ob Prüfergebnisse angegeben sind oder nicht. Diese Erklärung umfasst alle in den einschlägigen Normen festgelegten Eigenschaftsmerkmale, auch wenn diese nicht in dem Dokument aufgeführt sind.

Die Herausgabe der speziell für mechanische Verbindungselemente entwickelten Norm stellt einen Meilenstein besonderer Art dar, da somit in diesem sehr speziellen und überaus weitgehend durchgenormten Produktspektrum Regeln für Prüfbescheinigungen festgelegt worden sind, die mit Abstand eine bessere Lösung darstellen, als es die Dokumente nach EN 10204 für den Kunden und beziehungsweise den Hersteller oder Lieferanten waren.

Die DIN EN ISO 16228 hat bisher noch keinen Eingang in die geltenden Regelwerke gefunden. Aus unserer Sicht ist auch nicht zu erwarten, dass dies in absehbarer Zeit geschieht, weil die damit befassten Gremien mit Aktualisierungen und Änderungen an ihren technischen Regeln stets etwas „hinterherhinken“.

Deshalb bleibt es dabei, dass zunächst weiterhin sowohl für Vormaterialien, als auch für fertige Schrauben und Muttern, Prüfbescheinigungen nach DIN EN 10204 ausgestellt und Ihnen zur Verfügung gestellt werden.

Kaltumformung

Schrauben und Muttern werden in der Regel durch Kaltumformung hergestellt. Dieses Verfahren ist ein bildsames Umformen bei Raumtemperatur. Umformen lassen sich unlegierte Stähle, Einsatz- und Vergütungsstähle, nichtrostende und säurebeständige Stähle, Kupfer, Messing, Aluminiumlegierungen.

Die Kaltumformung ist das rationellste Herstellungsverfahren. Wirtschaftlich ist es jedoch nur bei Fertigungslosgrößen mit hohen Stückzahlen. Die Kaltumformung ist eine spanlose Formgebungsart und ist bei Schrauben und Bolzen bis zu einem Schaftdurchmesser von 30 mm und Längen bis 300 mm möglich.

Eine sorgfältige Werkstoffauswahl des Vormaterials ist dabei die erste Voraussetzung für ein einwandfreies Endprodukt. Bei Verbindungselementen ist nach dem Kaltumformen meist ein Wärmebehandlungsprozess notwendig, um die mechanischen Eigenschaften des Materials gezielt zu beeinflussen.

Der Anwender wählt nach den Erfordernissen des Einsatzgebiets die Festigkeitsklasse, die er für seine Schraubverbindung braucht. Normalerweise wählt er nicht den Ausgangswerkstoff, denn die mechanischen Eigenschaften haben zwar ihren Ursprung im verwendeten Werkstoff, sie verändern sich aber während des Herstellungsprozesses, sind also verfahrensabhängig. Daher wählt der Hersteller in der Regel den Werkstoff innerhalb der Normvorgaben aus, mit dem er bei dem fertigen Teil die geforderten Eigenschaften erreicht und liefert. Das Vormaterial wird beim Schraubenhersteller als Draht mit einem Durchmesser von ca. 1 – 30 mm, aufgewickelt auf Rollen, angeliefert.

Diese Drahtrollen haben ein Gewicht von ca. 1000 kg. Die Rollen werden vor der Umformung gebeizt, auf den erforderlichen Außendurchmesser gezogen und gerichtet. Häufig wird der Draht in phosphatiertem Zustand verarbeitet, dadurch wird die Verarbeitung erleichtert und der Werkzeugverschleiß minimiert.



Bild 5.1 Vormaterial für die Kaltumformung

Von den Rollen wird an den Maschinen (Pressen) ein Rohling abgeschert und weiterbearbeitet. Die Formgebungsverfahren in der Kaltumformung unterscheidet man in Stauchen, Reduzieren und Fließpressen. Diese Verfahren können auch entsprechend miteinander kombiniert werden. Dadurch sind die Ausführungsmöglichkeiten vielfältig. Bei einzelnen Produkten ist eine Einbindung von spanender Bearbeitung vorgesehen: z. B. bei Sechskantschrauben das Entgraten oder für das Anbringen von speziellen Kuppen oder Bohrungen.

Moderne Technologien lassen aber auch das spanlose Anfertigen von multifunktionellen Merkmalen zu.



Bild 5.2 Angewalzte Lackschabent / Hilfsmerkmal zum Einfädeln der Schraube durch Gewindeflankengestaltung

Bei der Kaltumformung von Schrauben kann man zwei Produktgruppen unterscheiden:

- Relativ einfache Schraubengeometrien werden auf sogenannten Doppeldruckpressen hergestellt. Hierbei wird ein Stauchvorgang in zwei Schritten angewandt: Vorstauchen und Fertigstauchen.
- Verbindungselemente mit schwierigeren Formen werden durch mehrstufiges Stauchen und Reduzieren mit Segmentstempeln auf sogenannten Mehrstufenpressen hergestellt. Diese Werkzeuge bestehen aus Matrizenseite und Stempelseite.

Nach jedem Presshub wird der Pressrohling mittels Greiferzangen von einer Station zur nächsten Station innerhalb der Matrizenseite weitertransportiert. Hieraus ergibt sich die Stadienfolge bei den Kaltformteilen. Je nach Schraubenausführung werden hierzu unterschiedliche Werkzeugsätze und Pressfolgen benutzt.

Bei einer Sechskantschraube sind die Fertigungsstufen in folgender Reihenfolge angeordnet:

- Drahtabschnitt,
- Vorstauchen und Reduzieren des Schaftes,
- Stauchen eines runden Kopfes,
- Abgraten des Kopfes zum Sechskant,
- Kuppe formen
- und in einem letzten Arbeitsgang auf einer separaten Maschine wird das Gewinde gerollt oder gewalzt.



Bild 5.3 Umformstufen einer Sechskantschraube

Vorteile der Kaltumformung:

- Der Werkstoff verfestigt sich an den umgeformten Zonen
- Die Zugfestigkeit und die Streckgrenze werden erhöht
- Es entsteht eine glatte Oberfläche
- Der Faserverlauf wird nicht unterbrochen
- Materialfehler werden durch die Umformung sichtbar
- Wirtschaftliche Fertigung

Sechskantmuttern werden üblicherweise auch kaltumgeformt. Als Vormaterial dient, wie bei Sechskantschrauben, Draht mit rundem Querschnitt.



Bild 5.4 Umformstufen einer Sechskantmutter

Warmumformung

Das Warmumformen kommt in kleinerem Umfang zum Tragen als die Kaltumformung. Wenn die Stückzahlen für den Kaltumformungsprozess zu gering sind oder das Umformverhältnis zu groß ist, dann ist das Warmumformen eine Herstellungsmöglichkeit.

Das Warmumformen oder Kopfschmieden erfolgt nach der Erwärmung des Vormaterials (ganz oder teilweise) auf Schmiedetemperatur. Hierbei kommt Stangenmaterial zum Einsatz.

Im warmen Zustand ist das Material stark umformbar, so dass auch kompliziertere Formen gefertigt werden können. Das Material wird im Gegensatz zum Kaltumformen nicht verfestigt. Mit dieser Methode lassen sich im Vergleich zum Kaltumformen auch geringe Mengen "einfacher" fertigen. Die Maschinen und Werkzeuge sind bei der Warmumformung weniger aufwendig und kompliziert als bei der Kaltumformung.

Die Oberfläche der Teile ist verhältnismäßig rau, ein typisches Merkmal der Warmumformung.

Warmumgeformt werden:

- Große Durchmesser (ab M 30)
- Überlängen (ab 300 mm)
- Komplizierte Formen
- Kleine Stückzahlen
(Kleinserien oder Prototypen)

Aufgrund der groben Außenstruktur und der großen Fertigungstoleranzen wird an dem warmgeformten Teil oft noch eine spanende Nachbearbeitung durchgeführt.

Gesenkschmieden

In einigen Fällen werden Normteile als Gesenkschmiedeteile hergestellt. Die Gesenke sind übereinander liegende Werkzeuge, die einen Hohlraum bilden. Der Rohling wird auf Schmiedetemperatur erhitzt und in diesem Hohlraum in die gewünschte Form gedrückt.



Bild 5.5 Warmformteil

Spanabhebende Fertigung

Spanabhebend gefertigte Teile werden üblicherweise als Drehteile bezeichnet. Ebenso werden einige Verbindungselemente spanend hergestellt. Beispiel: Rändelschrauben. Auch bei Teilen mit speziellen Konturen, kleinen Radien oder gewünschten scharfen Kanten bietet sich das Verfahren als Herstellungs- oder Nachbearbeitungsmethode an. Hinzu kommt, dass es besondere Werkstoffe gibt, die sich spanlos nicht umformen lassen, sondern nur spanend.

Die Drehautomaten, auf denen diese Teile gefertigt werden, verarbeiten das Ausgangsmaterial von Stangen oder Drahringen. Hierbei hat das Halbzeug immer den größten Durchmesser des Fertigteils. Die Formgebung erfolgt spanend durch die Drehwerkzeuge. Dadurch wird im Gegensatz zur Kalt- oder Warmumformung der Faserverlauf des Ausgangsmaterials zerstört. Bei beanspruchten Teilen wie Verbindungselementen ist dies zu beachten.

In der Regel sind keine speziellen Werkzeuge erforderlich, denn es kommen im Wesentlichen handelsübliche Drehmeißel, Fräser, Bohrer etc. zum Einsatz.



Bild 5.6 Spanabhebende Bearbeitung

Es entstehen in der zerspanenden Herstellung nicht nur zylindrische Formen durch das Drehen, sondern auch Fräsen von Flächen, Bohren, Schleifen oder andere Feinarbeiten, z. B. zum Erreichen definierter Rauheitsgrade.

Spanungsvorgang auf einem Drehautomaten

Spanabhebend gefertigt wird bei:

- Kleinen Stückzahlen
- Eng tolerierten Formen und Radien

- Nacharbeiten
(z. B. Schleifen bei Passschrauben)
- Besonderen Werkstoffen



Bild 5.7 Drehteil

Gewindeherstellung

Das Bolzengewinde bei Schrauben wird üblicherweise gewalzt oder gerollt. Diese Kaltumformung kann durch Flachbacken, Rollen oder Rollensegmente erfolgen. Diese Werkzeuge weisen ein negatives Gewindeprofil auf. Beim Gewindewalzen wird das Material auf dem Ausgangsdurchmesser (Walzdurchmesser) in das negative Profil der Werkzeuge radial verdrängt. Beim Walzen formen sich die Gewindespitzen nach außen auf. Dadurch ist es möglich, Unterlegelente bei Kombischrauben unverlierbar aufzubringen. Gefertigt werden alle üblichen Gewindeprofile, also auch Trapez-, Blechschrauben- und Holzgewinde.

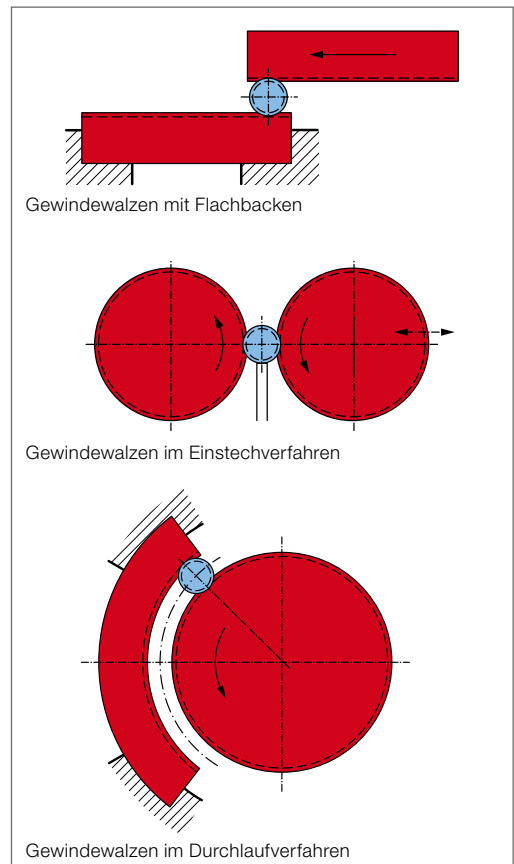


Bild 5.8 Verfahren der Gewindeherstellung

Das Gewindewalzen erfolgt üblicherweise vor dem Vergüten. Bei besonderen Anforderungen kann es nach der Wärmebehandlung erfolgen. Dann spricht man von Schlussrollen.

In der schematischen Darstellung des Gefüges werden die Unterschiede zwischen gerolltem und geschnittenem Gewinde deutlich. Beim Gewinderollen liegt der Ausgangsdurchmesser in etwa beim Flankendurchmesser und beim Gewindeschneiden beim Außendurchmesser des herzustellenden Gewindes.

Bei Muttern werden die Innengewinde überwiegend geschnitten. Das geschieht auf Automaten mit einem Überlaufgewindebohrer. Bei geschnittenem Gewinde ist die Oberfläche rauer als bei gerolltem Gewinde und der Faserverlauf ist unterbrochen.

Durch Walzen oder Rollen haben kaltumgeformte Gewinde im Vergleich zu geschnittenen Gewinden folgende Vorteile:

- Die Ausbringungsmenge ist hoch, somit ist die Fertigung rationell.
- Spanfreie Herstellung
- Glatte Oberflächenqualität
- Verbesserung der Zug- und Dauerfestigkeit

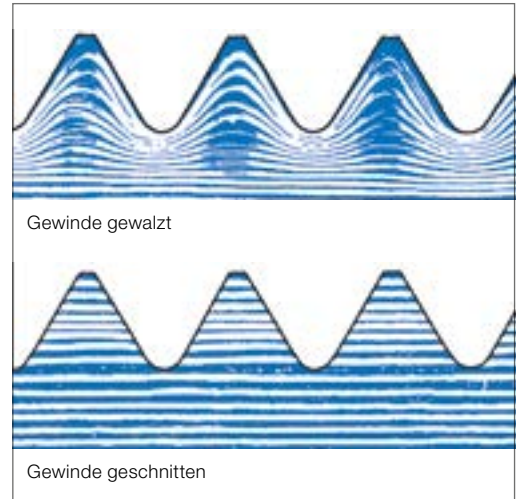


Bild 5.9 Gewalztes und geschnittenes Gewinde

05

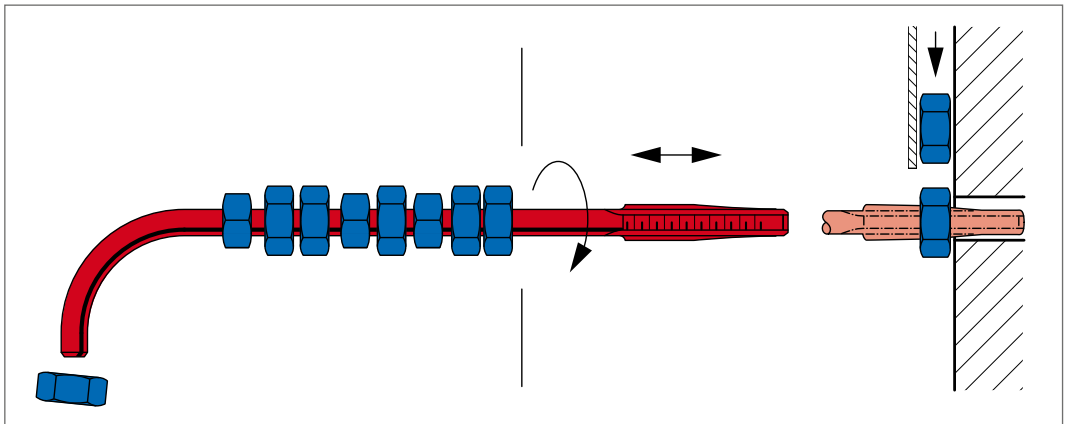


Bild 5.10 Gewindeschneiden mit einem Überlaufbohrer

Stanzen und Biegen

Zu einer Schraubverbindung gehören häufig auch Unterlegteile oder Schraubenzubehör, welche aus Blechen oder Bändern gefertigt werden. Auch Wellensicherungen und Scheiben werden als Stanzteile gefertigt. Schneidstempel stanzen gegen eine

Schneidplatte die gewünschte Form aus. Unter Biegeteilen verstehen wir z. B. Teile aus Profildraht oder Blech, die durch Werkzeuge in die gewünschte Form gebracht werden.

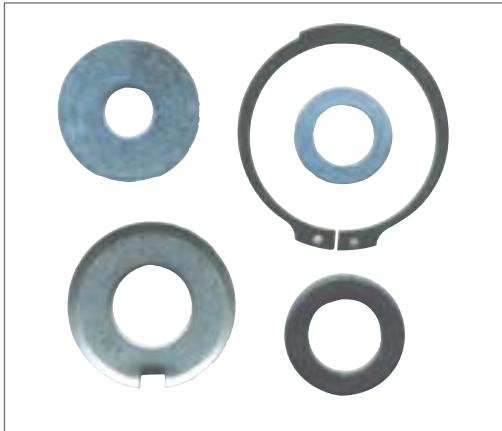


Bild 5.11 Stanzteile



Bild 5.12 Biegeteile

Wärmebehandlung

Die Vorgaben für die mechanischen Eigenschaften bei Verbindungselementen machen in der Regel eine Wärmebehandlung notwendig. Hierzu wird das hergestellte Produkt in einer Vergütungsanlage einer Wärmebehandlung unterzogen.

Ausnahme: Pressblanke Nieten oder Verbindungsteile und Schrauben der Festigkeiten 4.8 oder 5.8.



Bild 5.13 Vergütungsanlage

Bei der Wärmebehandlung werden folgende Verfahren unterschieden:

- Glühen
- Härten
- Vergüten
- Einsatzvergüten

Durch das Glühen werden Spannungen abgebaut, die durch das Kaltumformen im Gefüge der Schrauben entstanden sind. Durch Erwärmen auf ca. 500 °C und längeres Halten dieser Temperatur wird das Teil eigenspannungsarm, verliert an Festigkeit und gewinnt an Dehnung. Das ist z. B. für die Festigkeitsklassen 4.6 und 5.6 wichtig, weil für diese Schrauben eine hohe Bruchdehnung verlangt wird.

Beim Härten werden die Teile auf eine Temperatur von ca. 800 °C erwärmt. Die absolute Temperatur orientiert sich im Wesentlichen am Kohlenstoffgehalt des Stahls. Durch die Erwärmung verändert sich das Gefüge. Durch das anschließende Abschrecken in Öl oder Wasser werden die Teile hart und spröde, sie sind „gehärtet“.

Um die erforderlichen Gebrauchseigenschaften zu erreichen, werden die Teile nach dem Härten angelassen (geglüht). Die Mindestanlasstemperaturen für hochfeste Schrauben sind nach DIN EN ISO 898 Teil 1, Tabelle 2 vorgeschrieben, z. B. für die Festigkeitsklasse 8.8 min. 425 °C. Danach kühlen die Teile bei Raumtemperatur langsam ab, und es wird die erforderliche Zähigkeit erreicht. Härten und anschließendes Anlassen nennt man Vergüten.

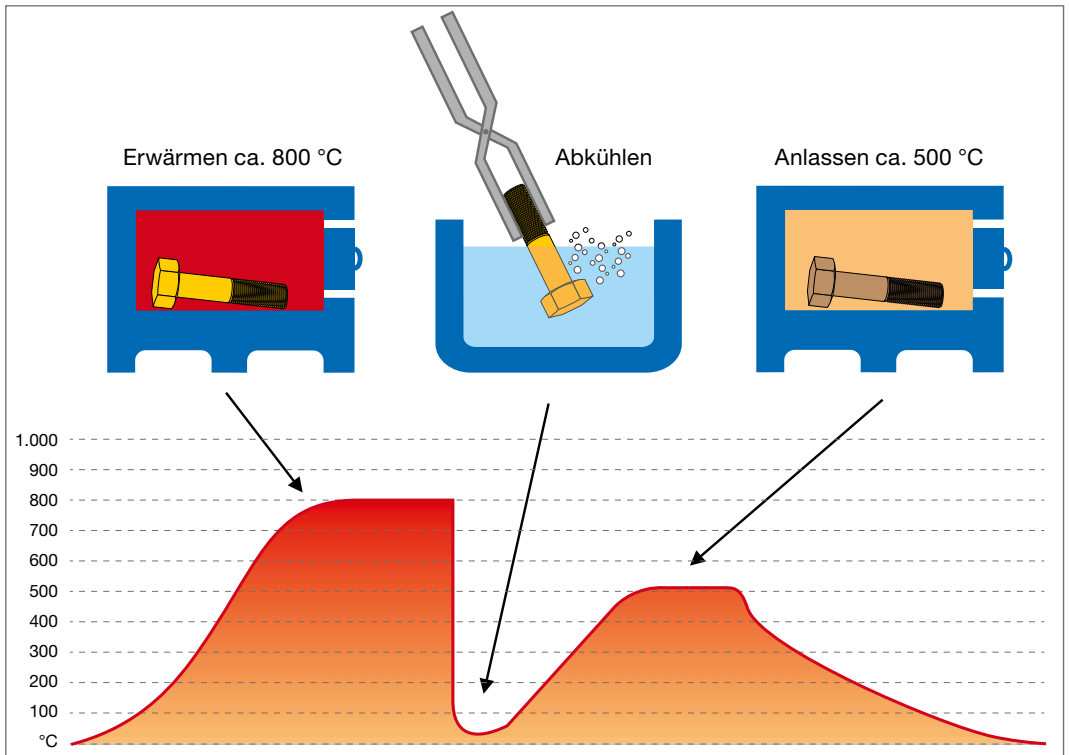


Bild 5.14 Vergüten von Schrauben

Beim Einsatzhärten werden dem Einsatzstahl bei Härtetemperaturen Kohlenstoff oder Stickstoff hinzugefügt. Diese Stoffe dringen in die oberste Schicht der Teile ein und erhöhen dort die Härte. Die Oberfläche wird aufgekohlt.

Damit haben die Teile eine harte Oberfläche und einen weichen, zähen Kern. Das sind die erforderlichen Eigenschaften für Schrauben, die ihr Gewinde selbst schneiden oder formen (z. B. Blechschrauben oder gewindeformende Schrauben).

Das Gewinde

Die Gewinde von Schraube und Mutter müssen maßgenau und profiltreu sein. Nur dann ist sichergestellt, dass nach dem Aufbringen einer Korrosionsschutzschicht Mutter und Schraube sich problemlos ineinander verschrauben lassen und die errechneten Kräfte übertragen.

Das Gewinde hat fünf Maße, die das passende Gewinde ergeben:

- Außen- oder Nenndurchmesser ist der äußere Durchmesser
- Kerndurchmesser ist der kleinste Durchmesser im Gewindegrund
- Flankendurchmesser ist der mittlere Durchmesser zwischen Außen- und Kerndurchmesser
- Gewindesteigung ist der Abstand der Gewindespitzen zueinander
- Flankenwinkel ist der Winkel der Gewindespitze

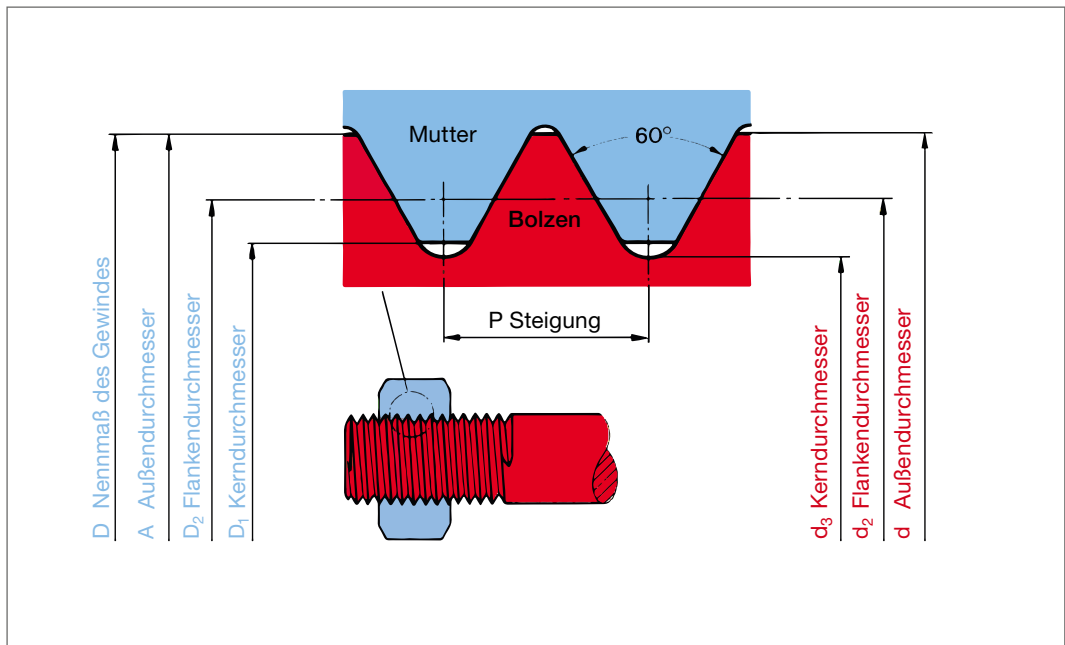


Bild 6.1 Gewindeprofil ohne Spiel

Die Nennmaße, z. B. bei M 12 = 12 mm Außendurchmesser, liegen an der Nulllinie.

Würden alle Maße genau nach diesen Größen gefertigt werden, wäre das Zusammenschrauben mit dem Gegengewinde nicht möglich.

Zwischen den Gewindeflanken ist ein Spiel nötig und auch die Fertigung der Gewinde ist nur innerhalb bestimmter Toleranzgrenzen möglich. Diese Toleranzen, also die maßlichen Spielräume, sind sehr gering.

Am Beispiel einer Welle und einer Bohrung (Bild 6.2) kann man die erforderlichen Toleranzen erkennen.

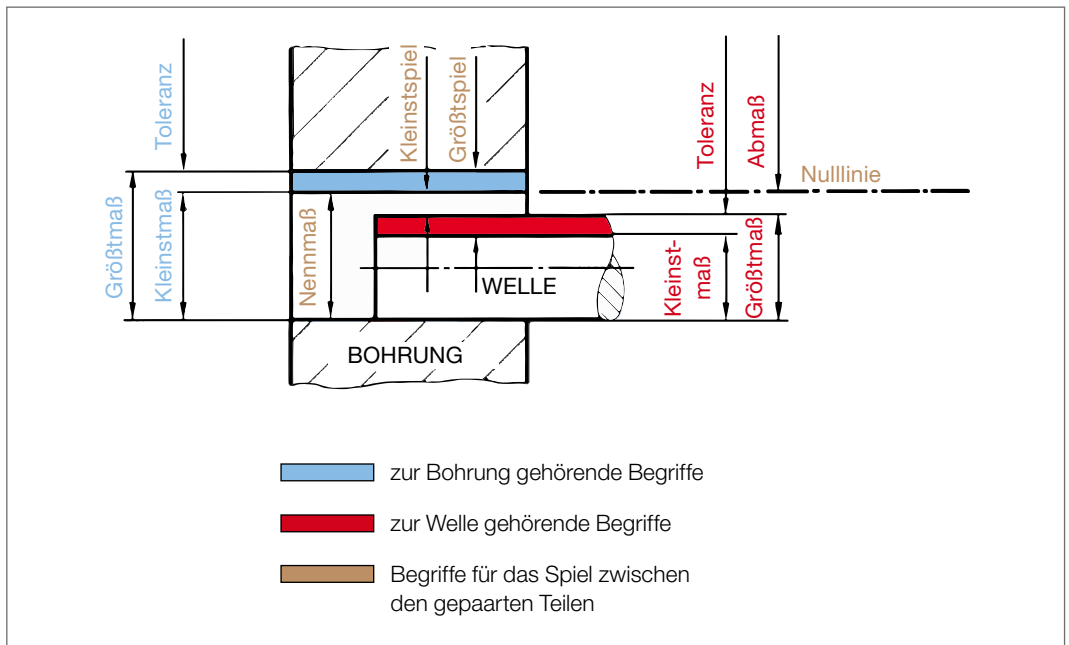


Bild 6.2 Spielpassung Welle/Bohrung

Auch wenn das Schraubengewinde mit dem Größtmaß und das Mutterngewinde mit dem Kleinstmaß gefertigt wird, muss die Kombination zusammen passen. Das bedeutet, dass kein Maß die Nulllinie oder das Nennmaß überschreiten darf, siehe Bild 6.3.

Die **Toleranzlage** an der Nulllinie wird mit dem Buchstaben groß H für Innenmaße bzw. klein h für Außenmaße benannt. Die Buchstaben vor h, also von g bis a, bedeuten bei Bolzengewinden ein größeres Abmaß. Der Bolzendurchmesser ist bei der Toleranzlage e also kleiner als bei g.

Die Zahl vor dem Buchstaben benennt die Toleranzgröße z. B. 6g. Je größer die Zahl, umso größer ist das Toleranzfeld. Außerdem ändern sich die Maße der Toleranzfelder mit dem Nenndurchmesser, d.h. je größer der Nenndurchmesser, um so größer das Toleranzfeld. Durchmesser- und Steigungsabhängige Toleranzen für verschiedene Toleranzgrade sind in der DIN ISO 965 Teil 1 zu finden.

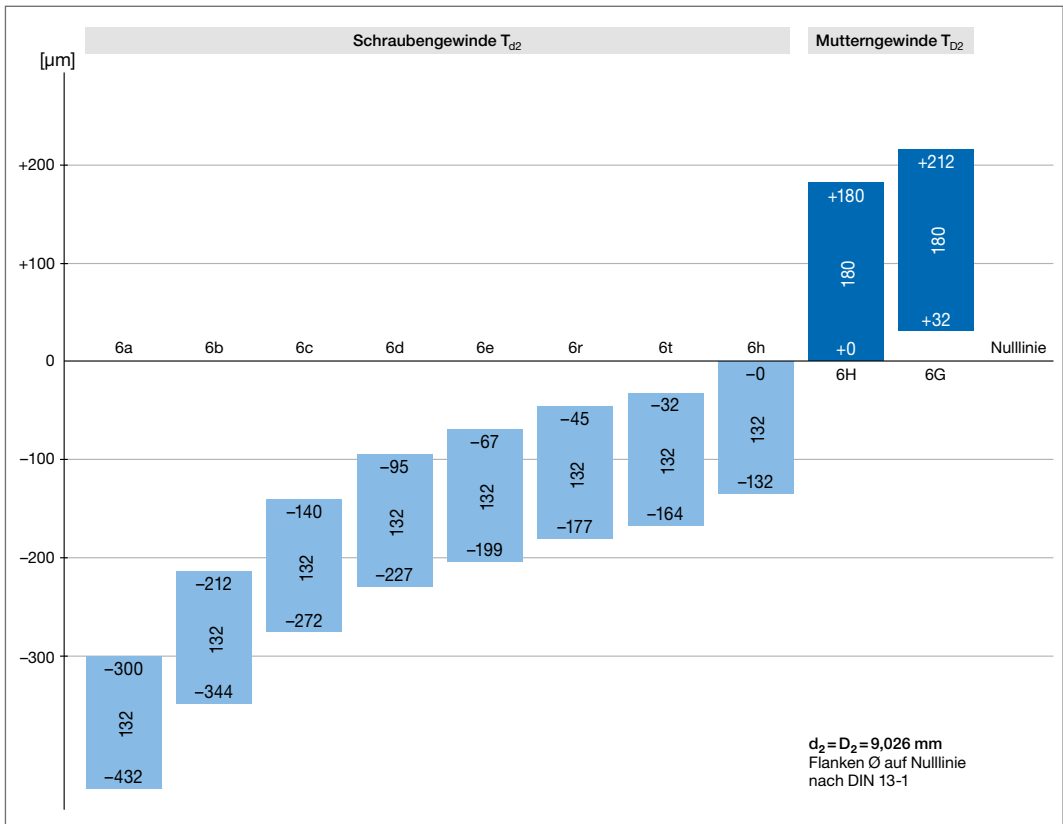


Bild 6.3 Toleranzen T_{d_2} und T_{D_2} für den Flankendurchmesser d_2 (Schraube) und D_2 (Mutter) eines M10 x 1,5 Gewindes.

Ist bei Schrauben kein besonderes Toleranzfeld angegeben, dann sind diese Teile nach dem Toleranzfeld 6g gefertigt. Das bedeutet, dass alle handelsüblichen Schrauben ein Untermaß haben.

Diese Minustoleranz erlaubt eine nachträgliche dünne galvanische Oberflächenbeschichtung, ohne

dass im fertigen Zustand die Nulllinie des Gewindes überschritten wird. Wird eine dickere Schutzschicht verlangt, ist eine Toleranzlage mit einem geringeren Gewindedurchmesser erforderlich, z. B. 6e für stärkere galvanische Schichten.



Bild 6.4 Toleranzsystem nach DIN ISO 965-1

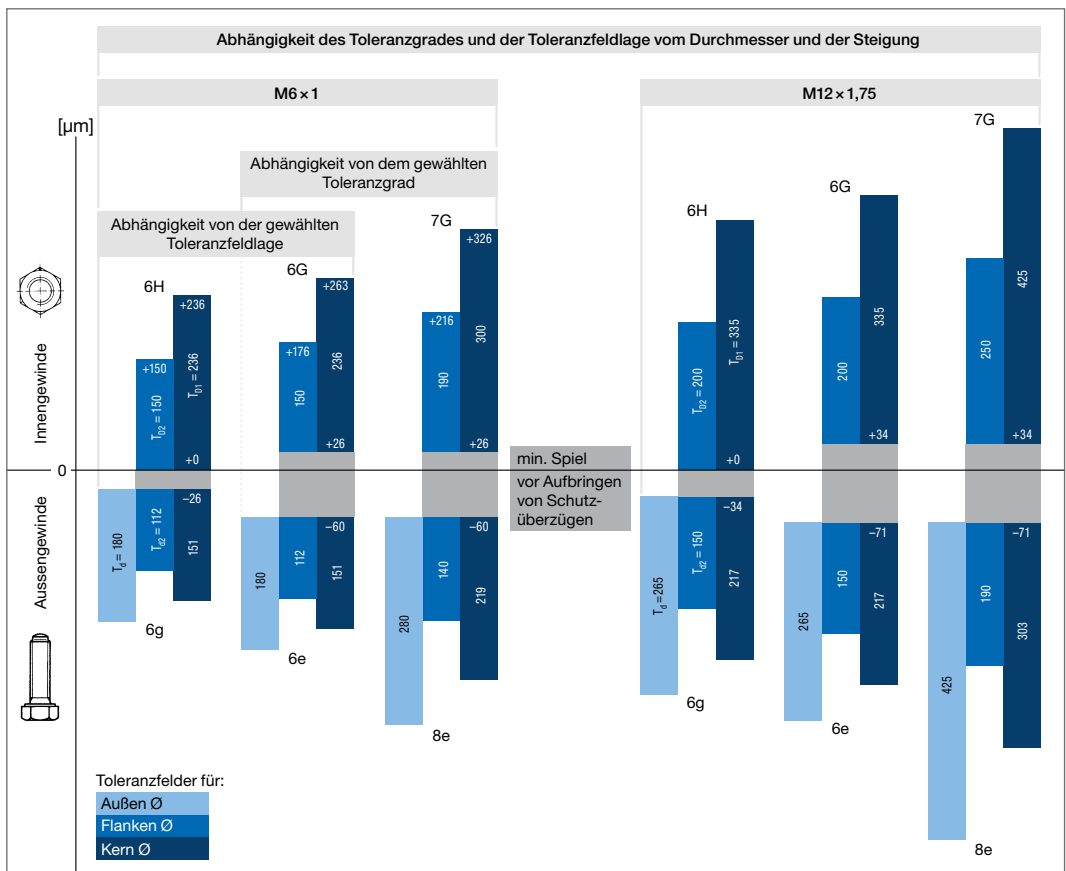


Bild 6.5 Abhängigkeit des Spiels zwischen Schrauben- und Muttergewinde von der Toleranzfeldlage und des Toleranzgrads. Abhängigkeit des Toleranzgrades und der Toleranzfeldlage von dem Durchmesser und der Gewindesteigung.

Gewinde

Die möglichen Schichtdicken für metrisches Regelgewinde sind für die Toleranzfelder 6g und 6e in der DIN EN ISO 4042 angegeben.

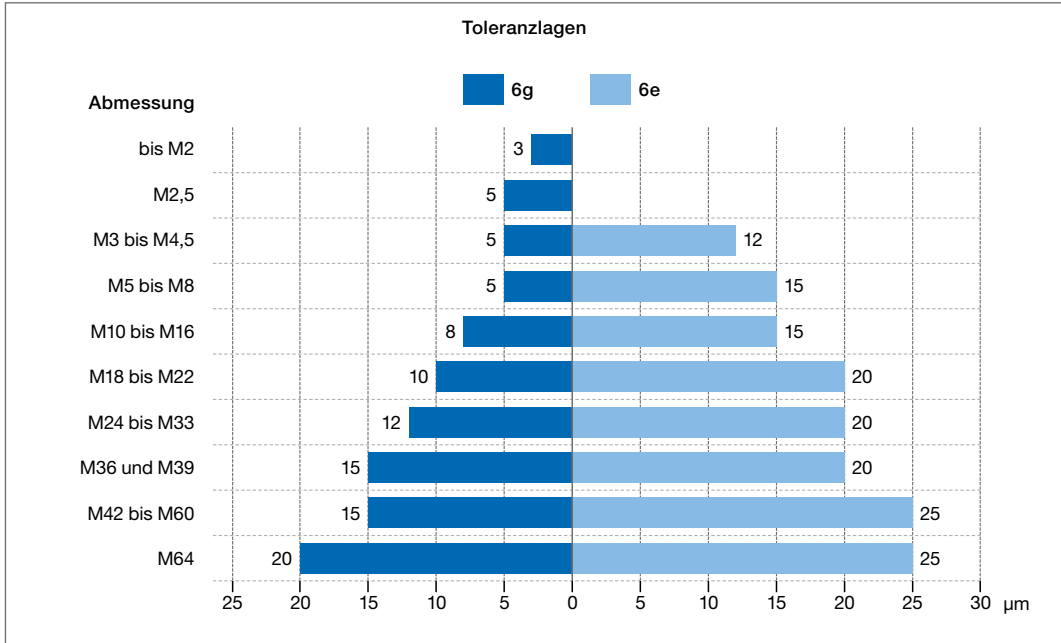


Bild 6.6 Maximal mögliche Schichtdicken auf Schrauben mit metrischem Regelgewinde nach DIN 13 (ISO 965) bei Größtmaßen 6g und 6e (Quelle: DIN EN ISO 4042)

Die galvanisch behandelte Schraube darf an keiner Stelle die Nulllinie überschreiten und wird mit einem Gutlehring der Toleranzlage 6h geprüft.

Die Muttergewinde werden üblicherweise mit dem Toleranzfeld 6H gefertigt, für stärkere Schutzschichten entsprechend größer, z. B. mit 6G.

Die Messstellen für die Schutzschicht auf den Verbindungselementen sind nach DIN EN ISO 4042 festgelegt. Eine Tabelle finden Sie in dem Abschnitt über Korrosionsschutz.

Gewinde für das Feuerverzinken

Die Bolzengewinde für das Feuerverzinken werden nach Toleranzlage 6a gefertigt. Die Zinkauflage beträgt mindestens 40 µm. Die Gewinde dürfen nach dem Feuerverzinken nicht nachgeschnitten werden.

Durch das starke Untermaß wird der Durchmesser (Spannungsquerschnitt) erheblich verringert, dadurch werden die Belastungswerte reduziert (DIN EN ISO 10684).

Bei der Lieferung als Garnitur (Schraube und Mutter) ist es dem Hersteller überlassen, das Abmaß in das Bolzengewinde oder das Aufmaß in das Muttergewinde zu legen.

Gewindearten

Das metrische ISO-Gewinde wird weltweit angewendet. Daneben werden aber für Sonderzwecke und Ersatzteile auch andere Gewinde benötigt. Die nachstehende Tabelle zeigt eine Auswahl und Übersicht gängiger Gewindeformen.

Multifunktionale Gewindearten sind nach Hersteller-spezifikation eingeführt und handelsüblich. Dazu gehören gewindeformende Gewinde für unterschiedliche Materialien und Sicherungsgewinde.

Übliche Abkürzungen für Gewinde

M	Metrisches ISO-Gewinde
M..keg	Metrisches, kegeliges Außengewinde
Tr	Trapezgewinde metrisch
S	Sägengewinde
Rd	Rundgewinde
Pg	Panzerrohrgewinde
G	Rohrgewinde zylindrisch
R	Kegeliges Rohrgewinde außen
Rp	Zylindrisches Rohrgewinde innen, dichtend
St	Blechsraubengewinde
LH	(hinter der Maßangabe) Linksgewinde
P	(hinter der Gewindesteigung) Mehrgängiges Gewinde

	Gewindebezeichnung (Abkürzung)	Bezeichnungsbeispiel	Norm	Anwendungsbereich
	Metrisches ISO-Gewinde (M)	M 08	DIN 14 0,3 – M 0,9 mm	Uhren und Feinwerktechnik
	Metrisches ISO-Gewinde (M)	M 12	DIN 13 1 – 68 mm	Allgemeines Regelgewinde
	Metrisches ISO-Feingewinde (M x Stg)	M 12 x 1,5	DIN 13 1 – 68 mm	Allgemeines Feingewinde
	Metrisches Gewinde für Festsitz (M...Sk)	M 12 Sk6	DIN 13 + DIN 14	Einschraubenden für Stiftschrauben
	Gewinde mit großem Spiel (M...DIN...)	M 24 DIN 2510	DIN 2510 12 – 180 mm	Schraubenverbindungen mit Dehnschaft
	Metrisches zylindrisches Innengewinde (M...DIN...)	M 24 x 2 DIN 158	DIN 158 6 – 60 mm	Innengewinde für Verschlusschrauben
	Metrisches kegeliges Außengewinde (M... x P keg)	M 12 x 1 keg	DIN 158 6 – 60 mm	Verschlusschrauben und Schmiernippel
	Zylindrisches Rohrgewinde (G Innen /Außen)	G 3/4 bzw. G 3/4 A	DIN EN ISO 228.1 1/8 bis 6 inch	Rohre und Rohrverbindungen
	Zylindrisches Rohrgewinde Innen (Rp)	Rp 3/4	DIN 2999 1/16 – 6 inch DIN 3858 1/8 – 6 Inch	Rohre und Rohrverbindungen
	Kegeliges Rohrgewinde Außen (R)	R 3/4	DIN 2999 1/16 – 6 inch DIN 3858 1/8 – 6 Inch	Rohre, Fittings und Rohrverbindungen
	Metrisches ISO-Trapezgewinde (Tr)	Tr 40 x 7	DIN 103 8 – 300 mm	Bewegungsgewinde
	Sägewinde (S)	S 48 x 8	DIN 513 10 – 640 mm	Bewegungsgewinde
	Rundgewinde (Rd)	Rd 40 x 4	DIN 405 DIN 20 400	Allgemeine Rundgewinde
	Panzerrohrgewinde (Pg)	Pg 21	DIN 40 430 Pg 7 – Pg 48	Elektrotechnik
	Linksgewinde (LH)	Tr 40 x 7 LH	LH = Left Hand	Allgemein

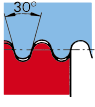
	Gewindebezeichnung (Abkürzung)	Bezeichnungsbeispiel	Erklärung	Verbreitung
	Blechsraubengewinde	2,9	DIN EN ISO 1478	Blechschrauben
	Holzraubengewinde	3,5	DIN 7998	Holzschrauben
	Mehrgängiges Gewinde (P..)	Tr 40 x 14 P7	14 : P7 = 2 Ganggewinde	Allgemein
	Whitworth-Gewinde grob (BSW)	1/4-20 BSW	Norm BS 84	GB
	Whitworth-Gewinde fein (BSF)	1/4-28 BSF		GB
	Einheitsgrobgewinde (UNC)	1/4-20 UNC-2A	1/4-20 UNC-2A = Ein Gewinde mit 1/4 Inch Nenndurchmesser, 20 Gewindegänge pro Inch	USA / GB / Kanada
	Einheitsfeingewinde (UNF)	1/4-28 UNF-3A		USA / GB / Kanada
	Einheitsgewinde extra fein (UNEF)	1/4-32 UNEF-3A		USA / GB / Kanada
	Einheits-Sondergewinde (UNS)	1/4-27 UNS		USA / GB / Kanada
	Zylindrisches Rohrgewinde (NPSM / NPSM / NPSL / NPSH)	1/2-14 NPSM		USA
	Standardrohrgewinde, kegelig (NPT)	3/4-18 NPT	1/4-20 UNC-2A = Ein Gewinde mit 1/4 Inch Nenndurchmesser, 20 Gewindegänge pro Inch	USA
	Fein-Rohrgewinde, kegelig (NPTF)	1/2-14 NPTF dryseal		USA
	Trapezgewinde (ACME)	1 3/4 4 ACME-2G	1/4-20 UNC-2A = Ein Gewinde mit 1/4 Inch Nenndurchmesser, 20 Gewindegänge pro Inch	USA
	Trapezgewinde abgeflacht (Stub-ACME)	1/2-20 Stub-ACME		USA
	Sägewinde (Butt)	2,5-8 Butt-2A	Gewinde mit ...Inch N	USA

Tabelle 6.1 Übersicht gängiger Gewindeformen

Gewinde

Zoll		Millimeter	Zoll		Millimeter	
	$\frac{1}{64}$	0.015625	.397	$\frac{33}{64}$	0.515625	13.097
	$\frac{1}{32}$	0.03125	.794	$\frac{17}{32}$	0.53125	13.494
	$\frac{3}{64}$	0.046875	1.191	$\frac{35}{64}$	0.546875	13.890
	$\frac{1}{16}$	0.0625	1.587	$\frac{9}{16}$	0.5625	14.287
	$\frac{5}{64}$	0.078125	1.984	$\frac{37}{64}$	0.578125	14.684
	$\frac{3}{32}$	0.09375	2.381	$\frac{19}{32}$	0.59375	15.081
	$\frac{7}{64}$	0.109375	2.778	$\frac{39}{64}$	0.609375	15.478
$\frac{1}{8}$		0.125	3.175	$\frac{5}{8}$		0.625
	$\frac{9}{64}$	0.140625	3.572		$\frac{41}{64}$	0.640625
	$\frac{5}{32}$	0.15625	3.969	$\frac{21}{32}$	0.65625	16.669
	$\frac{11}{64}$	0.171875	4.366		$\frac{43}{64}$	0.671875
	$\frac{3}{16}$	0.1875	4.762	$\frac{11}{16}$	0.6875	17.462
	$\frac{13}{64}$	0.203125	5.159		$\frac{45}{64}$	0.703125
	$\frac{7}{32}$	0.21875	5.556	$\frac{23}{32}$	0.71875	18.256
	$\frac{15}{64}$	0.234375	5.953		$\frac{47}{64}$	0.734375
$\frac{1}{4}$		0.25	6.350	$\frac{3}{4}$		0.75
	$\frac{17}{64}$	0.265625	6.747		$\frac{49}{64}$	0.765625
	$\frac{9}{32}$	0.28125	7.144	$\frac{25}{32}$	0.78125	19.844
	$\frac{19}{64}$	0.296875	7.541		$\frac{51}{64}$	0.796875
	$\frac{5}{16}$	0.3125	7.937	$\frac{13}{16}$	0.8125	20.637
	$\frac{21}{64}$	0.328125	8.334		$\frac{53}{64}$	0.828125
	$\frac{11}{32}$	0.34375	8.731	$\frac{27}{32}$	0.84375	21.431
	$\frac{23}{64}$	0.359375	9.128		$\frac{55}{64}$	0.859375
$\frac{3}{8}$		0.375	9.525	$\frac{7}{8}$		0.875
	$\frac{25}{64}$	0.390625	9.922		$\frac{57}{64}$	0.890625
	$\frac{13}{32}$	0.40625	10.319	$\frac{29}{32}$	0.90625	23.019
	$\frac{27}{64}$	0.421875	10.716		$\frac{59}{64}$	0.921875
	$\frac{7}{16}$	0.4375	11.113	$\frac{15}{16}$	0.9375	23.812
	$\frac{29}{64}$	0.453125	11.509		$\frac{61}{64}$	0.953125
	$\frac{15}{32}$	0.46875	11.906	$\frac{31}{32}$	0.96875	24.606
	$\frac{31}{64}$	0.484375	12.303		$\frac{63}{64}$	0.984375
$\frac{1}{2}$		0.5	12.700	$\frac{1}{2}$		1.0

Tabelle 6.2 Umrechnungstabelle Inch (Zoll)–Millimeter

06

Montageverfahren und Schraubensysteme

Wie bereits ausführlich erläutert, sind bei Schraubenverbindungen diverse Einflussgrößen zu berücksichtigen. Neben der genauen Kenntnis aller auftretenden Kräfte und Verformungen ist das definierte Anziehen der Schraube von zentraler Bedeutung.

Im „Schrauben Vademecum“ (Rasch Verlag, Bramsche, ISBN 3-935326-46-7) heißt es dazu: „Für die Betriebssicherheit von Schraubenverbindungen ist die bei der Montage aufgebrachte Montagevorspannkraft F_M maßgebend. Sie wird durch Verdrehen der miteinander in Eingriff stehenden Schrauben- und Muttergewinde eingestellt. Dieses Verdrehen wird bei der Montage durch ein von außen aufgebracht Drehmoment unter Einwirkung der Gewindesteigung in die Verbindung eingebracht.“

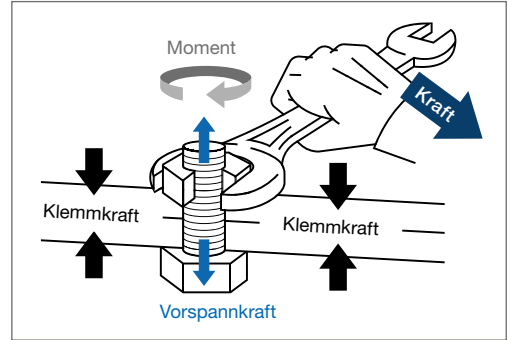


Bild 7.1 Kraftverhältnisse bei der Montage einer Schraubenverbindung

Dieses Montagedrehmoment sollte so gewählt werden, dass die resultierende Klemmkraft im Betrieb zu einem reinen Reibschluss zwischen den Bauteilen führt, und gleichzeitig keines der verspannten Elemente überlastet wird.

Steuer- und Kontrollgrößen bei der Schraubenmontage

Leider ist die Vorspannkraft als physikalische Größe bei den meisten Schraubenverbindungen nicht direkt messbar. Deshalb bedient man sich bei der Montage von Schraubenverbindungen anderer Möglichkeiten, um eine möglichst exakt definierte Klemmung der Bauteile zu erzielen. Das von außen aufgebrachte Montagedrehmoment ist relativ einfach zu messen und verhält sich direkt proportional zur Vorspannkraft, deshalb wird diese Hilfsgröße häufig verwendet.

Die Längenänderung der Schraube kann ebenfalls als Maß für die Vorspannkraft herangezogen werden, ist aber aufwändiger zu messen. Da ab einem gewissen Mindestkraftniveau der „Verdrehwinkel“ zwischen Innen- und Außengewindeteil mit der Längung der Schraube korreliert, kann nach dem Erreichen eines „Schwell-Moments“ auch diese Größe als Maß für die Vorspannkraft in der Verbindung herangezogen werden (wenn die verspannten Bauteile eine ausreichende Festigkeit aufweisen).

Im Kapitel „Schraubenauslegung und Konstruktionsprinzip Schraubenverbindung“ wurde bereits dargestellt, dass die Reibung ein zentraler Aspekt für die Funktion einer Schraubenverbindung ist. Betrachtet man den Wirkungsgrad bei der Montage von Schrauben in Abhängigkeit von der Höhe der

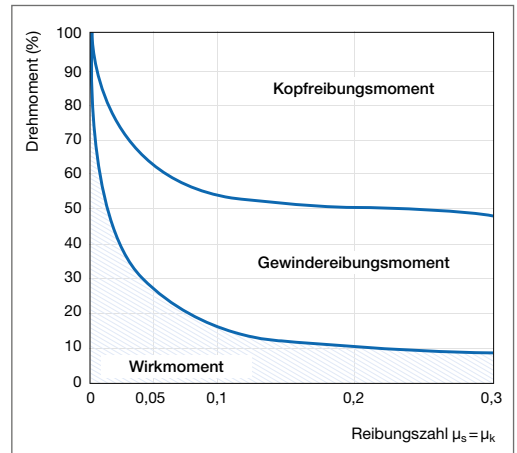


Bild 7.2 Einfluss der Reibungszahl auf den Montageprozess

Reibungszahl μ , so kann man feststellen, dass bei Werten von $\mu=0,2$ nur 10 % des von außen aufgebrachten Drehmoments in Vorspannkraft umgesetzt werden. Bei veränderten Reibungsverhältnissen kann sich dieses Verhältnis deutlich ändern.

Dieser Umstand verdeutlicht, welchen Einfluss einzelne Parameter auf den Montageprozess haben können. Eine systematische Darstellung aller wesentlichen Einflussgrößen findet sich u. a. in der VDI/ VDE-MT 2637-1 (siehe Bild unten).

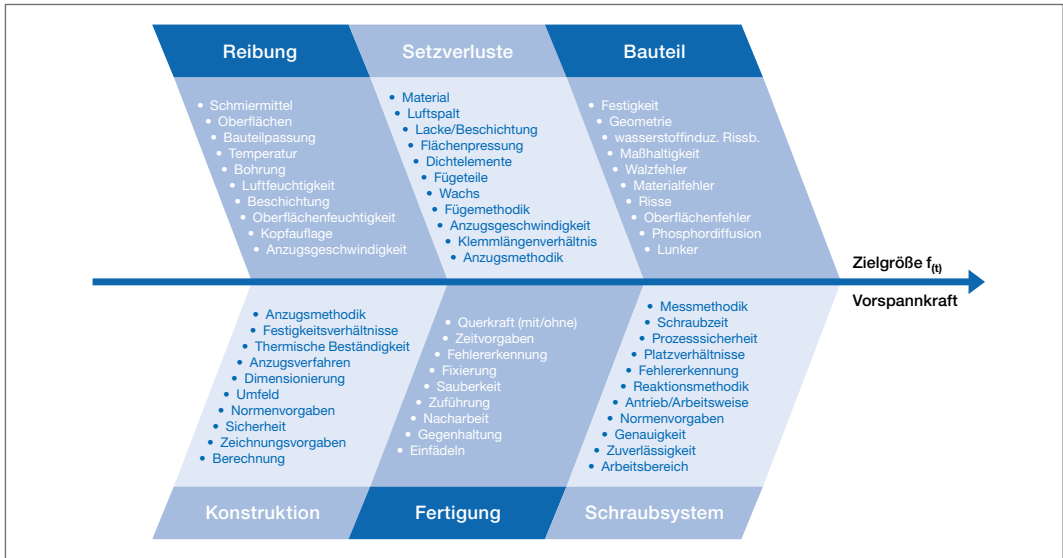


Bild 7.3 Einflussgrößen bei der Montage von Schraubenverbindungen

07

Klassifizierung von Schraubfällen

In diversen Regelwerken (z. B. DIN 25201, VDI/VDE 2862) wird beschrieben, dass es den Produktverantwortlichen obliegt, für jede Schraubstelle eine Risikoabschätzung vorzunehmen, und diese wie folgt zu klassifizieren:

- Kategorie A: Risiko für Leib und Leben sowie die Umwelt
- Kategorie B: Risiko für Funktionsausfall
- Kategorie C: Komforteinbuße („Nicht A- oder B-Klasse“)

Montagearten

Im Nachfolgenden werden einige etablierte Montageverfahren für Schrauben vorgestellt:

Je nach Einordnung in eine der drei oben genannten Kategorien ergeben sich für die Prozessfähigkeit der Schraubenmontage unterschiedliche Anforderungen. Die Einhaltung dieser Vorgaben wird in Deutschland u. a. durch das Produktsicherheitsgesetz (ProdSG) und die Betriebssicherheitsverordnung (BetrSichV) per Gesetz geregelt.

- Manuelle Montage
- Drehmoment-gesteuerte Montage
- Drehwinkel-gesteuerte Montage
- Montage mit Gradientensteuerung
- Torsionsfreie Montageverfahren

Manuelle Montage

Werden bei der Montage weder motorisch angetriebene noch Messwert-anzeigende Werkzeuge eingesetzt, spricht man von einer manuellen Montage. Vorteilhaft bei diesem Verfahren ist die hohe Verfügbarkeit von Werkzeugen, der geringe Vorbereitungsaufwand und die hohe Flexibilität.

Da bei einer rein manuellen Montage weder Steuergrößen genutzt, noch Messwerte erfasst werden, ist diese Art der Schraubenmontage für sicherheitsrelevante Anwendungen ungeeignet.

Empirische Untersuchungen haben gezeigt, dass es je nach Schraubentyp unterschiedliche Abmessungsbereiche gibt, in denen Schrauben „nach Gefühl“ richtig montiert werden, dass kleinformatige Schrauben fast immer zu stark angezogen werden und dass Schrauben ab der Abmessung M 14 in der Regel nicht stark genug vorgespannt werden.

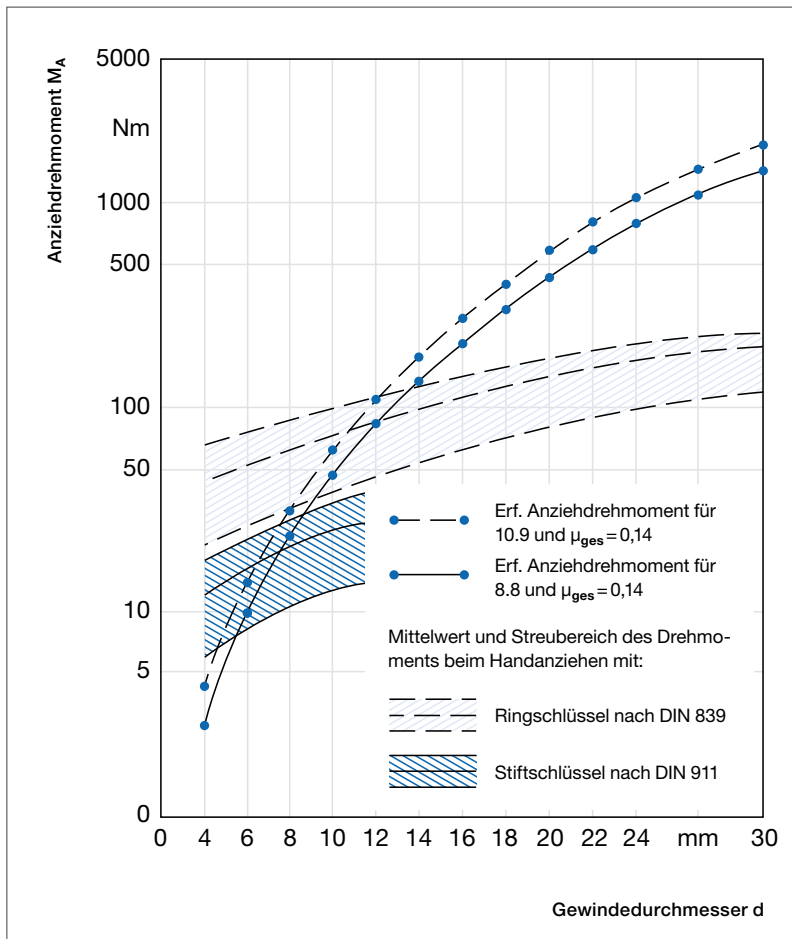


Bild 7.4 Drehmomente bei manueller Montage (Quelle: N. Theopanopoulos)

Drehmoment-gesteuerte Montage

Die Schraubenmontage unter Verwendung des Montage-Drehmoments als Steuergröße ist sehr weit verbreitet. Viele Schraubensysteme bieten die Möglichkeit, den Drehwinkel als Kontrollgröße zu überwachen, um mögliche Fehler bei der Montage zu erkennen. Meist wird bei diesem Verfahren mit hoher Drehzahl bis zu einem definierten Schwellmoment angezogen, dann beginnt die Winkelzählung und es wird mit geringer Drehzahl bis zum eigentlichen Montagemoment M_A weitergedreht. Dieses Montageverfahren wird üblicherweise im rein elastischen Bereich angewandt. Vorteilhaft bei diesem Verfahren sind die einfachen Möglichkeiten der Prozesssteuerung sowie die vielfältigen Einsatzmöglichkeiten. Der hohe Einfluss der Reibung auf die zu erreichende Vorspannkraft ist hingegen nachteilig.

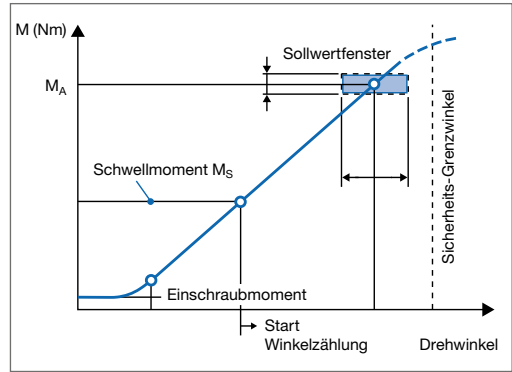


Bild 7.5 Drehmomentverlauf über Drehwinkel

Drehwinkel-gesteuerte Montage

Wird bei Schraubenmontagen der Drehwinkel des Werkzeugs als Steuergröße verwendet, spricht man von Drehwinkel-gesteuerter Montage. Bei diesem Verfahren besteht die Möglichkeit, das Drehmoment als Kontrollgröße zu verwenden, um mögliche Fehler bei der Montage zu erkennen. Bei diesem Verfahren wird bis zu einem definierten Schwellmoment meist mit hoher Drehzahl vormontiert, dann beginnt die Winkelzählung und es wird mit geringer Drehzahl bis zum vor-festgelegten End-Drehwinkel weiter geschraubt. Dieses Montageverfahren bietet die meisten Vorteile, wenn bis in den überelastischen Bereich angezogen wird.

Da Schrauben beim Erreichen der Streckgrenze einer zunehmenden Längenänderung keinen erhöhten Widerstand entgegensetzen (Lüdersdehnung), verläuft die Drehmomentkurve in diesem Bereich nahezu waagrecht. Wählt man den Weiterdrehwinkel derart, dass die Montage kurz nach dem Überschreiten der Streckgrenze endet, so wird der Einfluss der Reibung weitgehend eliminiert und die Schraube nur wenig plastifiziert, aber sehr hoch vorgespannt. Dieses Verfahren bietet ein hohes Maß an Prozesssicherheit, erfordert bei der Festlegung der einzelnen Parameter für den individuellen Schraubfall aber sehr viel Sorgfalt.

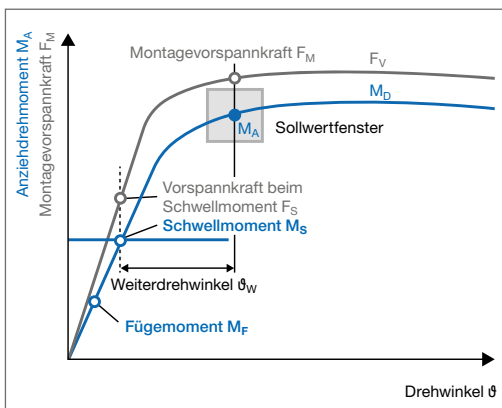


Bild 7.6 Vorspannkraft- und Drehmomentverlauf über Drehwinkel

Montage mit Gradientensteuerung

Da inzwischen viele Schraubgeräte in der Lage sind, sowohl Drehmoment als auch Drehwinkel quasi in Echtzeit zu erfassen und zu verarbeiten, besteht die Möglichkeit, aus diesen beiden Messgrößen einen Gradienten zu berechnen. Solange sich beide Werte linear verhalten, bleibt der Gradient konstant. Beim Erreichen der Streckgrenze steigt der Drehwinkel weiter an, während das Drehmoment nicht zunimmt – der Gradient fällt also ab.

Diese Änderung des Gradienten kann als Steuergröße für einen sehr stabilen Montageprozess genutzt werden. Die Schraube wird unabhängig von der Reibung bis an ihre Streckgrenze belastet und nur minimal plastifiziert. Das Werkstoffverhalten der Schraube wird somit zur eigentlichen Steuergröße für den Montageprozess. Damit stehen sowohl Drehwinkel als auch Drehmoment als zusätzliche Kontrollgrößen zur Verfügung.

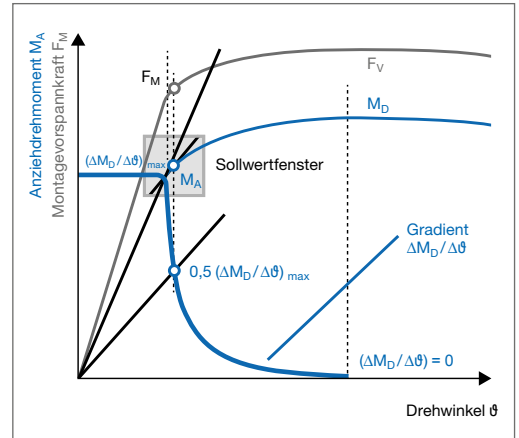


Bild 7.7 Verlauf von M_A , F_M und Gradient über Drehwinkel

Torsionsfreie Montageverfahren

Diese Art der Schraubenmontage ist im Vergleich zu den anderen Varianten sehr zeitintensiv, und deshalb für Serienanwendungen tendenziell ungeeignet. Es findet dennoch Anwendung bei sehr großformatigen Schrauben, die sehr definiert angezogen werden sollen. Bei diesem Verfahren wird die Schraube durch ein von außen angreifendes Werkzeug torsionsfrei vorgespannt. Die Mutter wird erst danach in ihre Sollposition geschraubt. Die eigentliche Vorspannung zwischen Schraube und Mutter wird erst aufgebaut, wenn das Werkzeug vom freien Schraubenende entfernt wird. Auch bei diesem Verfahren ist der Einfluss der Reibung weitgehend eliminiert.

Hinweis:

Es obliegt der Sorgfaltspflicht des Herstellers, für seine Produktion die geeigneten Montageverfahren und Schraubwerkzeuge auszuwählen und zu überwachen. In diesem Zusammenhang sei darauf hingewiesen, dass mit der VDI/VDE-Richtlinie 2862 ein Regelwerk vorliegt, das die Mindestanforderungen zum Einsatz von Schraubsystemen umfassend beschreibt. Ohne eine definiert aufgebrachte Vorspannkraft kann keine Schraubenverbindung optimal funktionieren!

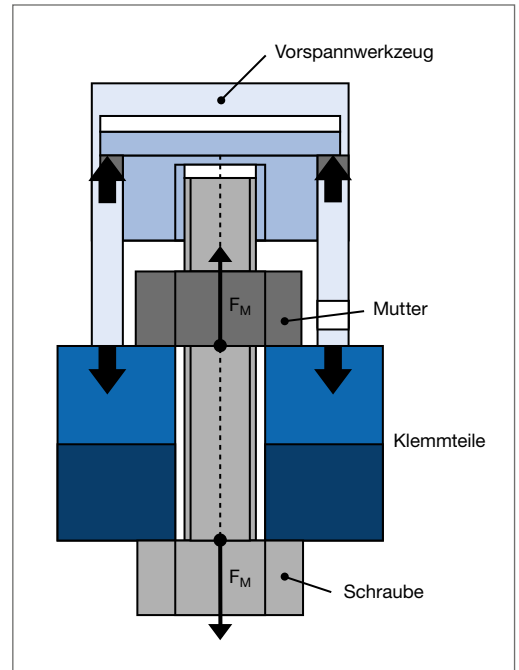


Bild 7.8 Torsionsfreie Vorspannung einer Schraubenverbindung

Automatisierung der Schraubenmontage

Je größer die Anzahl gleichartiger Schraubstellen in einer Produktion ist, desto eher sind die Voraussetzungen für eine mögliche Automatisierung zu beachten. Sowohl auf der Geräteseite - als auch bei den Verbindungselementen selbst - gibt es eine Vielzahl von Aspekten, die berücksichtigt werden sollten. Im Bezug auf Schrauben werden nachfolgend diese Kriterien betrachtet:

- Sortier-Kriterien (Fehlteile, Gewinde vorhanden, Kopfdurchmesser, etc.)
- Antriebsmerkmale (Cam-out-Effekt bei Kreuzschlitz, ISK mit geringer Kraftübertragung)
- Findehilfen (Dogpoint, Mathread, Navitight)
- Sauberkeit (Restschmutz, Öl, Oberflächenbeschichtung [ZnFl ungeeignet], Kleber)
- Verringerter Korrosionsschutz bei Rüttelförderern
- Verpackung
- Kombi-Elemente
- Länge-Durchmesser-Verhältnis (bei automatisierter Zuführung) > 2

Sortier-Kriterien

Ohne besondere qualitätssichernde Maßnahmen kann bei Standard-Verbindungselementen von einer Abweichungsquote bei kritischen Merkmalen von 800 ppm (parts per million) ausgegangen werden. Dieses Qualitätsniveau ist für eine vollautomatisierte Schraubenmontage unzureichend. Deshalb empfiehlt es sich, funktionsrelevante Merkmale durch spezielle Sortiermaßnahmen sicherzustellen. Diese müssen zwischen Lieferant und Anwender explizit vereinbart werden.

Die Qualitätszielsetzung „Null Fehler“ ist zum gegenwärtigen Zeitpunkt technisch nicht realisierbar; bei maschineller Sortierung liegen die verbleibenden Abweichungsquoten für einzelne Merkmale erfahrungsgemäß bei durchschnittlich 10 ppm.



Bild 7.9 Optische Sortierung von AMTEC®

Antriebsmerkmale

Der Werkzeugangriff von Schrauben hat einen signifikanten Einfluss auf die Automatisierbarkeit bei der Montage. Sowohl das Einfädeln des Werkzeugs in den Antrieb als auch die Übertragung des Montage Drehmoments sollten möglichst störungsfrei möglich sein. Die in der DIN EN ISO 4757 beschriebenen Kreuzschlitze zum Beispiel, sind für den so genannten „Cam-Out-Effekt“ bekannt: Die Form des Werkzeugangriffs führt bei der Montage zu einer Axialkraft, die das Werkzeug aus dem Antrieb herausdrücken kann. Für hohe Taktraten sind andere Antriebsmerkmale, wie der Innensechsrund nach DIN EN ISO 10664 deutlich besser geeignet.



Bild 7.10 Innensechsrund-Antrieb nach DIN EN ISO 10664

Findehilfen

Speziell bei langen Schrauben oder bei schlecht zugänglichen Schraubstellen kann es von Vorteil sein, wenn das Gewinde am Ende einen Einführzapfen oder Ähnliches aufweist, um das Einfädeln in das Innengewinde zu erleichtern und mögliche Achsversätze auszugleichen. Einige Varianten von Gewindeenden sind in der DIN EN ISO 4753 beschrieben. Darüber hinaus gibt es unter den Markennamen Mathread und Navitight weit verbreitete, herstellerspezifische Ausführungen von Findehilfen.

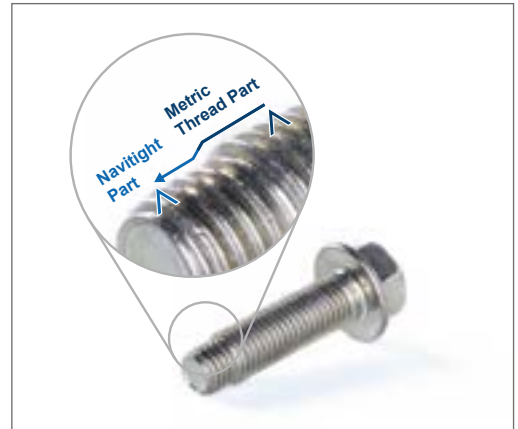


Bild 7.11 Montagegerechte Schraubenspitze Navitight®

Sauberkeit

In der DIN ISO 8992 ist beschrieben, dass Verbindungselemente, für die kein definierter Oberflächenüberzug vereinbart wurde, bei Produkten aus Stahl wie hergestellt geliefert werden. Das bedeutet, dass sich auf diesen Produkten Spuren der vorangegangenen Fertigungsschritte finden lassen. Höherfeste Schrauben werden zum Beispiel schlussvergütet – durch diese thermische Behandlung kommt es zu Verzunderungen und Ölablagerung an der Oberfläche.

Korrosionsschutz

Verbindungselemente aus Stahl werden sehr häufig durch zinkhaltige Oberflächen vor Korrosion geschützt. Werden diese Elemente automatisch zugeführt, kann der Korrosionsschutz dadurch beeinträchtigt werden. Zum Beispiel werden häufig Rüttelförderer eingesetzt, in denen die Schrauben permanent aneinander stoßen – dadurch kann es zu Beschädigungen der Oberflächen kommen.

Diese Fertigungsrückstände neigen dazu, automatische Zuführungen und Montageeinrichtungen zu verschmutzen und dadurch Funktionsstörungen auszulösen. Deshalb sollte das zulässige Restschmutzniveau für Schrauben in der Massenproduktion möglichst gering sein.

Zinklamellenbeschichtungen kommen bei Verbindungselementen häufig zum Einsatz. Diese Art der Beschichtung ist nicht so haftfest wie galvanische Schutzschichten. Diese sind deshalb für automatische Zuführungen weniger geeignet.

Verpackung

Auch die geeignete Form der Verpackung ist für einen reibungslosen Ablauf der Montage von Belang. Sie dient primär als Behältnis und Transportmittel, soll aber auch die Beschädigung der Elemente sowie deren Sauberkeit und die Vermischung mit Fremdteilen verhindern. Die Gebinde sollten nicht zu klein gewählt werden, um unnötigen Verpackungsmüll und Auspackvorgänge zu vermeiden, andererseits auch nicht zu schwer sein, um das Handling noch zu ermöglichen. Eine Sonderform stellen gegurtete Elemente dar: Hier dient die Verpackung gleichzeitig als Magazin für das Schraubgerät. Diese Variante bietet sich dort an, wo lose geschüttete Elemente unhandlich oder schlecht zu orientieren sind.



Bild 7.12 Schrauben in einem Gurtmagazin

Kombi-Elemente

Wenn Verbindungselemente bei der Montage mit Unterlegscheiben kombiniert werden sollen, kann es eine wirtschaftliche Alternative darstellen, sogenannte Kombi-Elemente zu verwenden. Bei dieser Art von Elementen werden die Einzelteile schon während der Herstellung unverlierbar miteinander kombiniert. Somit entfällt der Aufwand des Auffädelns bei der Montage selbst und die Scheibe kann nicht vergessen oder falsch orientiert werden.



Bild 7.13 Kombielement: Schraube mit unverlierbarer Scheibe

Länge-Durchmesser-Verhältnis bei Schrauben

Sollen Schrauben bis direkt an die Fügestelle automatisiert herangeführt werden, zum Beispiel durch eine Schlauchzuführung, muss darauf geachtet werden, dass die Orientierung der Schraube eindeutig beibehalten werden kann. Dazu ist u. a. ein ausreichendes Verhältnis zwischen Länge und Durchmesser vorteilhaft (Richtwert > 2).

Um eine Orientierung bei der Auswahl geeigneter Parameter für eine montagegerechte Gestaltung einer Schraubstelle zu geben, sind im Folgenden einige grundlegende Tabellen angeführt.

	Schlitz	1
	Kreuzschlitz H	2
	Kombi-Kreuzschlitz	3
	Kreuzschlitz Z	4
	Innenvierkant	5
	Innensechsrund (DIN EN ISO 10664)	6
	Innensechsrund mit Sicherungsstift	7
	Innensechsrund Plus	8
	Innensechskant	9

	Innensechskant mit Sicherungsstift	10
	Zweiloch-Antrieb	11
	Tri-Wing	12
	Innenvielkant	13
	Innenfünfkant	14
	Innenvielzahn	15
	Innendreieck	16
	Einwegschlitz	17

Bild 7.14 Antriebsarten

Für die Auswahl von Kraftangriffen gibt es anwendungsbezogen eine große Auswahl von Möglichkeiten, die eine rationelle Montage ermöglichen oder Zusatzeigenschaften bieten (z. B. Diebstahlsicherung, Manipulationsschutz, Abreiß-Elemente). Für spezielle Anforderungen sind auch Kombinationen von Antriebsmerkmalen möglich.

Reibungszahl-Klasse	Bereich für μ_G und μ_K	Auswahl typischer Beispiele für	
		Werkstoffe / Oberflächen	Schmierstoffe
A	0,04 – 0,10	metallisch blank vergütungsschwarz phosphatiert galv. Überzüge wie Zn, Zn/Fe, Zn/Ni Zink-Lamellen-Überzüge	Festschmierstoffe wie MoS ₂ , Grafit, PTFE, PA, PE, PI in Gleitlacken, als Top-Coats oder in Pasten Wachsschmelzen Wachsdispersionen
B	0,08 – 0,16	metallisch blank vergütungsschwarz phosphatiert galv. Überzüge wie Zn, Zn/Fe, Zn/Ni Zink-Lamellen-Überzüge Al- und Mg-Legierungen	Festschmierstoffe wie MoS ₂ , Grafit, PTFE, PA, PE, PI in Gleitlacken, als Top-Coats oder in Pasten Wachsschmelzen Wachsdispersionen, Fette, Öle, Anlieferungszustand
		feuerverzinkt	MoS ₂ , Grafit, Wachsdispersionen
		organische Beschichtungen	mit integriertem Festschmierstoff oder Wachsdispersionen
		austenitischer Stahl	Festschmierstoffe oder Wachse, Pasten
C	0,14 – 0,24	austenitischer Stahl	Wachsdispersionen, Pasten
		metallisch blank phosphatiert	Anlieferungszustand (leicht geölt)
		galv. Überzüge wie Zn, Zn / Fe, Zn / Ni Zink-Lamellen-Überzüge Klebstoff	ohne
D	0,20 – 0,35	austenitischer Stahl	Öl
		galv. Überzüge wie Zn, Zn / Fe feuerverzinkt	ohne
E	≥ 0,30	galv. Überzüge wie Zn / Fe, Zn / Ni austenitischer Stahl Al-, Mg-Legierungen	ohne

Tabelle 7.1 Reibungszahlklassen nach VDI-Richtlinie 2230

Diese Tabelle nimmt eine Zuordnung von Reibungszahlklassen mit Richtwerten zu verschiedenen Werkstoffen/Oberflächen und Schmierzuständen bei Schraubenverbindungen vor. Es sind Reibungszahlen anzustreben, die sich in die Reibungszahlklasse B einordnen, um eine möglichst hohe Vorspannkraft bei geringer Streuung aufzubringen.

Die Tabelle gilt für Raumtemperatur und berücksichtigt keine individuellen Besonderheiten.

Abmes- sung	Festig- keits- klasse	Montagevorspannkkräfte $F_{M\ Tab}$ in kN für $\mu_G =$					Anziehdrehmomente M_A in Nm für $\mu_K =$				
		0,10	0,12	0,14	0,16	0,20	0,10	0,12	0,14	0,16	0,20
M 5	8.8	7,4	7,2	7,0	6,8	6,4	5,2	5,9	6,5	7,1	8,1
	10.9	10,8	10,6	10,3	10,0	9,4	7,6	8,6	9,5	10,4	11,9
	12.9	12,7	12,4	12,0	11,7	11,0	8,9	10,0	11,2	12,2	14,0
M 6	8.8	10,4	10,2	9,9	9,6	9,0	9,0	10,1	11,3	12,3	14,1
	10.9	15,3	14,9	14,5	14,1	13,2	13,2	14,9	16,5	18,0	20,7
	12.9	17,9	17,5	17,0	16,5	15,5	15,4	17,4	19,3	21,1	24,2
M 7	8.8	15,1	14,8	14,4	14,0	13,1	14,8	16,8	18,7	20,5	23,6
	10.9	22,5	21,7	21,1	20,5	19,3	21,7	24,7	27,5	30,1	34,7
	12.9	26,0	25,4	24,7	24,0	22,6	25,4	28,9	32,2	35,2	40,6
M 8	8.8	19,1	18,6	18,1	17,6	16,5	21,6	24,6	27,3	29,8	34,3
	10.9	28,0	27,3	26,6	25,8	24,3	31,8	36,1	40,1	43,8	50,3
	12.9	32,8	32,0	31,1	30,2	28,4	37,2	42,2	46,9	51,2	58,9
M 10	8.8	30,3	29,6	28,8	27,9	26,3	43	48	54	59	68
	10.9	44,5	43,4	42,2	41,0	38,6	63	71	79	87	100
	12.9	52,1	50,8	49,4	48,0	45,2	73	83	93	101	116
M 12	8.8	44,1	43,0	41,9	40,7	38,3	73	84	93	102	117
	10.9	64,8	63,2	61,5	59,8	56,3	108	123	137	149	172
	12.9	75,9	74,0	72,0	70,0	65,8	126	144	160	175	201
M 14	8.8	60,6	59,1	57,5	55,9	52,6	117	133	148	162	187
	10.9	88,9	86,7	84,4	82,1	77,2	172	195	218	238	274
	12.9	104,1	101,5	98,8	96,0	90,4	201	229	255	279	321
M 16	8.8	82,9	80,9	78,8	76,6	72,2	180	206	230	252	291
	10.9	121,7	118,8	115,7	112,6	106,1	264	302	338	370	428
	12.9	142,4	139,0	135,4	131,7	124,1	309	354	395	433	501
M 18	8.8	104	102	99	96	91	259	295	329	360	415
	10.9	149	145	141	137	129	369	421	469	513	592
	12.9	174	170	165	160	151	432	492	549	601	692
M 20	8.8	134	130	127	123	116	363	415	464	509	588
	10.9	190	186	181	176	166	517	592	661	725	838
	12.9	223	217	212	206	194	605	692	773	848	980
M 22	8.8	166	162	158	154	145	495	567	634	697	808
	10.9	237	231	225	219	207	704	807	904	993	1.151
	12.9	277	271	264	257	242	824	945	1.057	1.162	1.347
M 24	8.8	192	188	183	173	168	625	714	798	875	1.011
	10.9	274	267	260	253	239	890	1.017	1.136	1.246	1.440
	12.9	320	313	305	296	279	1.041	1.190	1.329	1.458	1.685

Tabelle 7.2 Vorspannkkräfte und Drehmomente aus VDI-Richtlinie 2230

Maximal zulässige Anziehdrehmomente und resultierende maximale Vorspannkkräfte für Sechskantschrauben ISO 4014 bis 4018, Innensechskantschrauben ISO 4762 und für Schrauben mit analogen Kopffestigkeiten und Kopfaufgelägen der Festigkeitsklassen 8.8 – 12.9 bei einer 90%igen Ausnutzung der Streckgrenze und Bohrung „mittel“ nach DIN EN 20273.

Die Tabelle zeigt zulässige Maximalwerte und enthält keine weiteren Sicherheitsfaktoren. Die Anwendung der genannten Werte setzt die Kenntnis der einschlägigen Richtlinien und Auslegungskriterien voraus.

Direktverschraubungen

Bei allen Direktverschraubungen werden gewindeformende Verbindungselemente eingesetzt, die beim Eindrehen in Kernlöcher ihr Gewinde selbst formen und je nach Verschraubungsart auch Kernlöcher erzeugen können.

Im Gegensatz dazu müssen für metrische Schrauben Gegengewinde hergestellt oder Mutternelemente verwendet werden.

Durch die Verwendung von Direktverschraubungen wird die Produktivität während der Montage erhöht und die Verbindungskosten werden gesenkt.

Das Aufnahmegewinde wird vom Schraubengewinde geformt. Dies erfolgt in der Regel durch Furchen. Voraussetzung ist, dass die Schraubengewinde eine höhere Festigkeit als die Werkstücke haben und dass das Einschraubmaterial ausreichend duktil ist.



Bild 8.1 Gewindeformende Schraube für Kunststoffe

Welche Schraube für welchen Einsatzzweck?

Welcher Schraubentyp in Frage kommt, hängt vom Einschraubmaterial ab. Grundsätzlich gilt:

**Grobe Gewinde für weiche Werkstoffe –
feine Gewinde für harte Werkstoffe.**

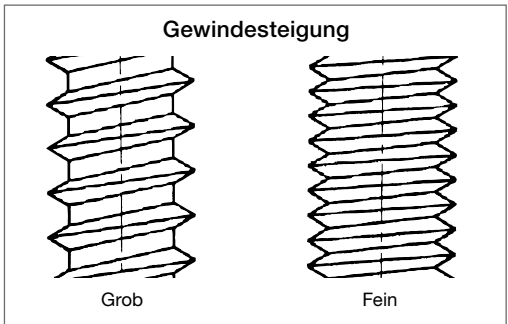


Bild 8.2 Gewindeformende Gewindearten

Blechschauben

Die Gewinde von Blechschauben werden mit der Abkürzung ST (self tapping) bezeichnet, z. B. St 3,5. Das Blechschaubengewinde ist in DIN EN ISO 1478 genormt. Der Flankenwinkel des Gewindes beträgt wie bei metrischen Schrauben, 60°. Das Gewinde hat jedoch eine größere Steigung. Es wirkt beim Einschrauben wie ein Umformwerkzeug und verformt den Werkstoff ohne Spanabfall.

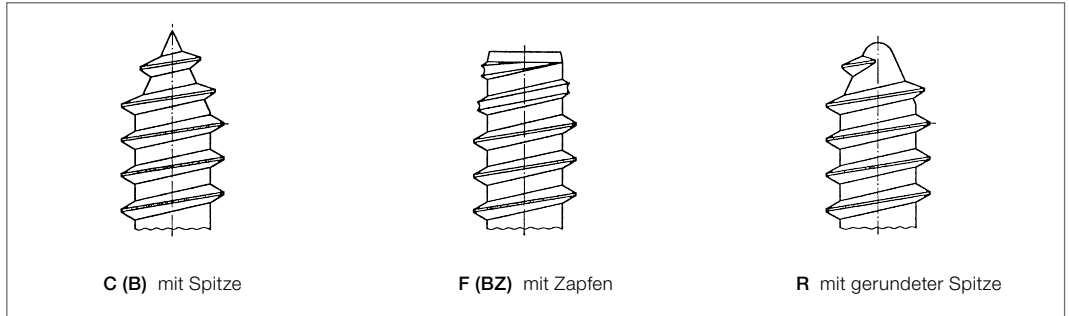


Bild 8.3 Gewindeenden nach DIN EN ISO 1478

1. Blechschauben

Blechschauben für die Verarbeitung von Stahlwerkstoffen werden einsatzvergütet. Dadurch haben die Schrauben eine hohe Oberflächenhärte und einen zähen Kern.

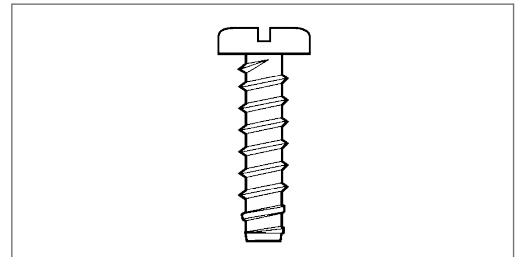


Bild 8.4 Blechschaube mit Zapfen

2. Blechschauben mit Bohrspitze

Die Gewinde entsprechen denen der Blechschauben mit zusätzlicher Bohrspitze.

Vorteile der Bohrschrauben

- Kein Ankörnen
- Kein Bohrloch
- Kein Lochversatz
- Keine Toleranzprobleme

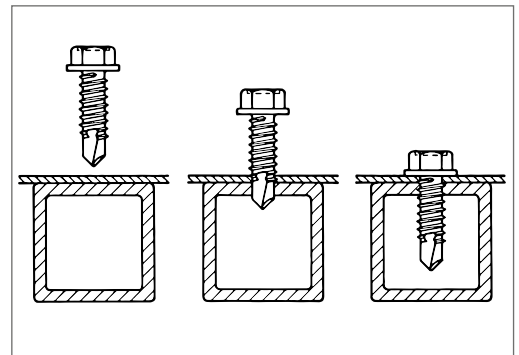


Bild 8.5 Direktverschraubung mit Blechschauben mit Bohrspitze

3. Dünnschrauben

Sind die Einschraubteile (Bleche) dünner als die Gewindesteigung der Blechschauben gem. DIN EN ISO 1478 (Taumelgrenze), ist die Verwendung von zusätzlichen Fügelementen notwendig, denn eine feste Direktverbindung mit Blechschauben ist dann nicht möglich. Als wirtschaftliche Alternative bieten sich Dünnschrauben an. Diese formen einen Durchzug in ein Blech und anschließend wird ein metrisches Gewinde gefurcht.

Die Aufnahmebohrung erhält dadurch eine günstigere Bauhöhe am Verschraubungspunkt und die Gewindesteigung ist feiner, d. h. es ist eine ausreichende Überdeckung der gefurchten metrischen Gewindeflanken gegeben.

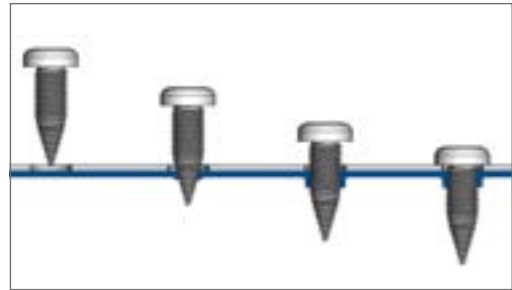


Bild 8.6 Verschraubung mit Dünnschrauben

Je nach Anwendung sind auch Applikationen ohne Vorloch möglich. Auf zusätzliche Mutterelemente kann verzichtet werden.

4. Gewindefurchende Schrauben, Ausführung DIN 7500, Form Duo

Gwindefurchende Schrauben werden in ein vorgefertigtes Bohrloch in massive Metallbauteile geschraubt. Der Lochdurchmesser liegt zwischen dem Kerndurchmesser und dem Flankendurchmesser des Gewindes.* Das Gewindeende der Schraube ist konisch, um den Ansatz zum Gewindeformen zu erleichtern. Das Gegengewinde wird durch die unrunde Beschaffenheit (Lobulation) in die

Aufnahmebohrung gedrückt. Eine Gruppe von gwindefurchenden Schrauben ist in DIN 7500 genormt. Neben der aufgezeigten Schraube Form Duo gibt es unterschiedliche Gestaltungsausführungen für die Gewindeformzone – verschiedene Prinzipien sind hier herstellenspezifisch möglich. Das Schraubengewinde selbst hat ein Übermaß.

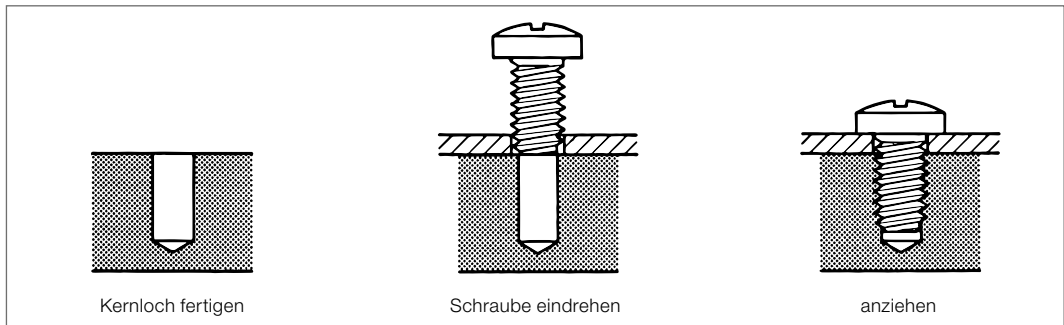


Bild 8.7 Direktverschraubung in massive Metallbauteile

Gwindefurchende Schrauben können u. a. in folgenden Werkstoffen eingesetzt werden:

- Stahl bis zu einer Zugfestigkeit von 450 N/mm²
- Aluminium
- Kupferlegierungen
- Zinkdruckguss

Bei der Verarbeitung von gwindeformenden Schrauben entstehen keine Späne. Das gefurchte Gewinde wird verfestigt und ist mit metrischen ISO Bolzengewinden kompatibel. Also kann z. B. im Reparaturfall eine normale metrische Schraube eingesetzt werden.

* Konstruktionshinweise entnehmen Sie bitte unserem eShop bzw. den Produktnormen

Vorteile der gewindefurchenden Schrauben in metallischen Werkstoffen

- Kein Gewindeschneiden / keine Späne
- Keine Sicherungselemente nötig
- Gute Vibrationsicherheit
- Hoher Ausreißwiderstand

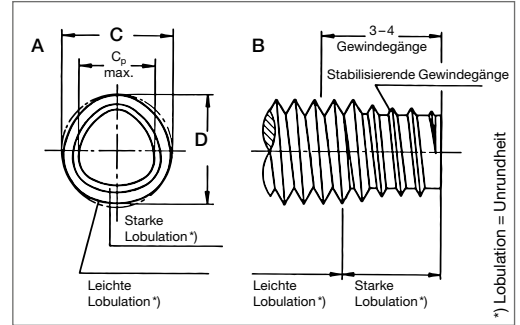
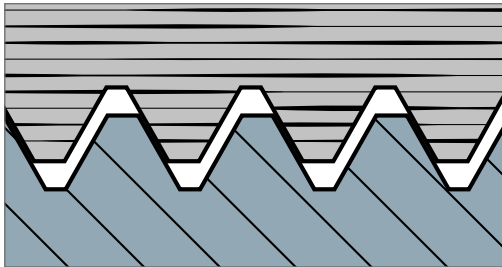


Bild 8.8 Gewinde nach DIN 7500 Ausführung Form Duo

Geschnittenes Gewinde

- Geringe Flankenüberdeckung
- Zerschnittener Faserverlauf
- Späne
- Flankenspiel



Gefurchtes Gewinde

- Große Flankenüberdeckung
- Unzerstörter Faserverlauf
- Verfestigte Oberfläche
- Keine Späne

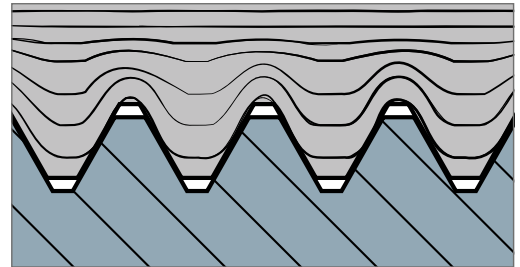


Bild 8.9 Vergleich zwischen geschnittenem und gefurchtem Gewinde

5. Gewindefurchende Schraube in Sonderausführungen und Werknormen

Neben den Schrauben gem. DIN 7500 sind verschiedene Schrauben mit optimierter Flankengeometrie erhältlich, die besonders für die Verbindung mit Leichtmetall ausgelegt sind.

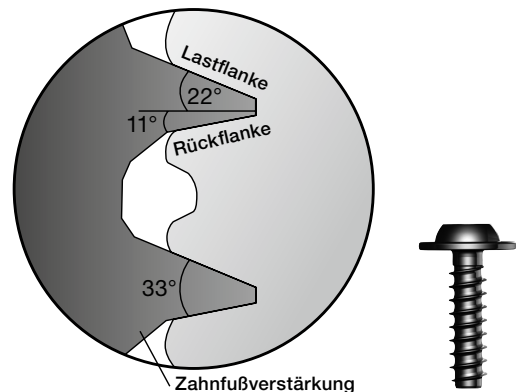


Bild 8.10 Direktverschraubung mit einer ALtracs® Schraube in Leichtmetall

6. Gewindefurchende Schrauben für Kunststoffe

Bei der Direktverschraubung in thermoplastische Kunststoffe sollen niedrige Einschraubmomente, hohe Überdrehmomente und hohe Ausreißkräfte realisiert werden. Hier haben sich AMTEC® – Schrauben Böllhoff Norm B 52004 ff. mit 30° Gewindeflanke bewährt. Diese haben eine relativ große Steigung und einen kleinen Kerndurchmesser. Die Verschraubung hat selbsthemmende Eigenschaften und ist bis zu zehnmal wieder-verschraubbar.



Bild 8.11 Direktverschraubung in thermoplastischen Kunststoff

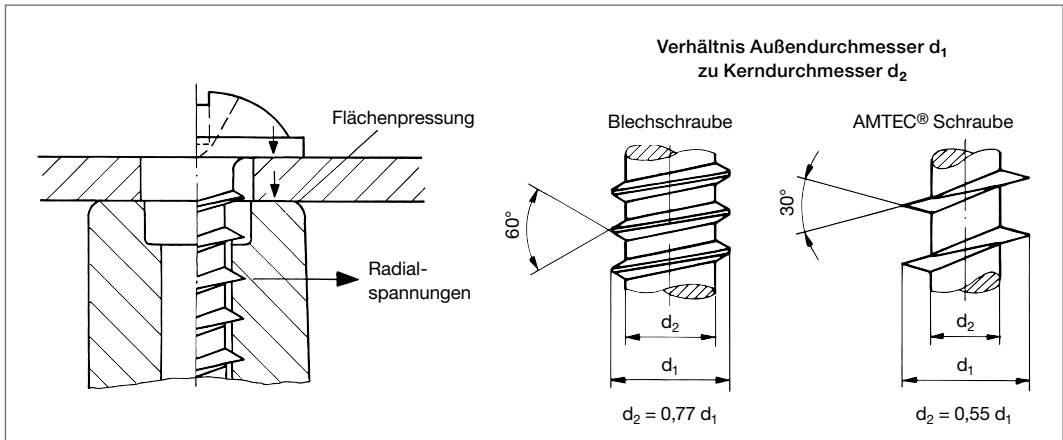


Bild 8.12 Direktverschraubung mit einer AMTEC® Schraube in Kunststoff

Dieses Verfahren ist besonders wirtschaftlich, weil für ein metrisches Gewinde generell ein Muttern-element zusätzlich eingebettet werden müsste. Für eine einwandfreie Verwendung ist jedoch die Beachtung der Konstruktionshinweise* von entscheidender Bedeutung.

* siehe Produktbroschüre oder eShop

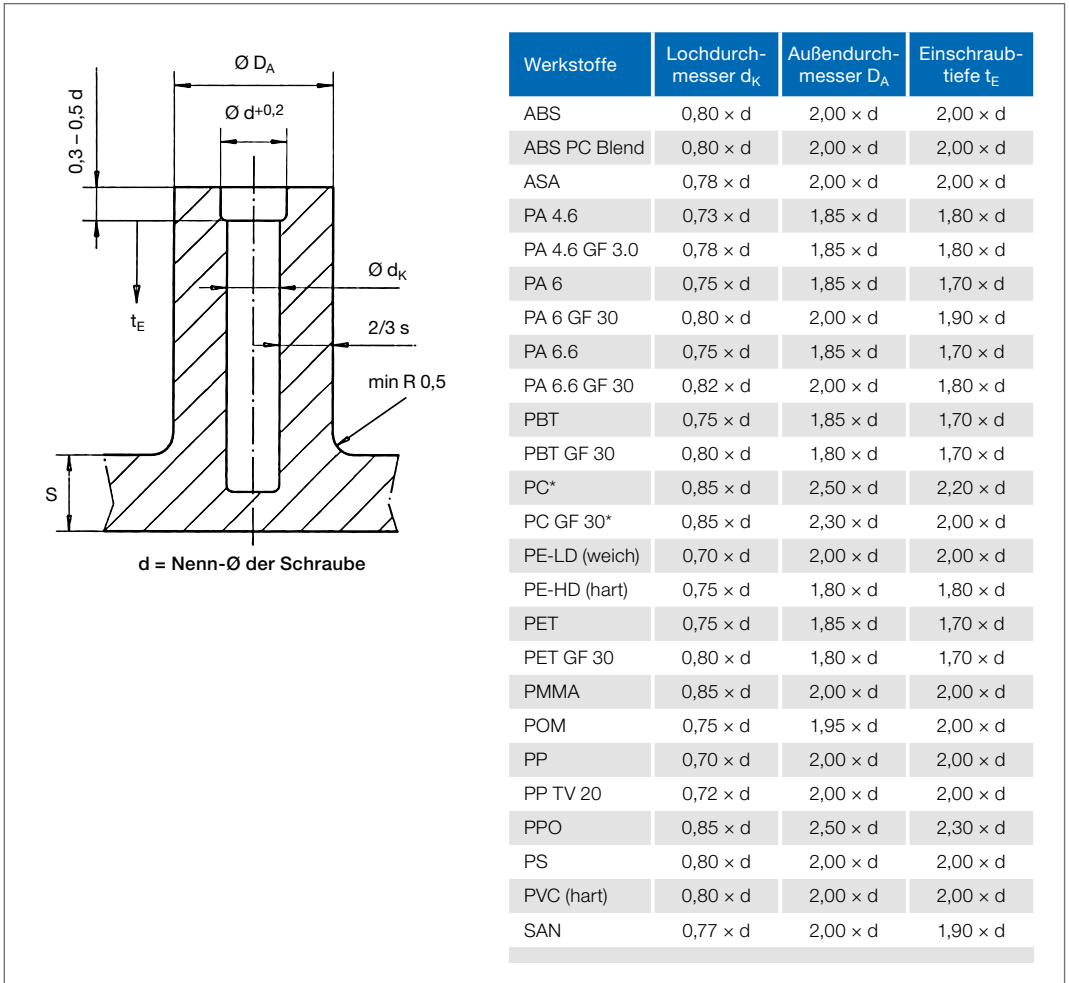


Bild 8.13 Empfohlene Tubusgestaltung für Direktverschraubungen mit AMTEC® Schrauben

Direktverschraubungen

Als weiterentwickeltes Verbindungselement insbesondere für thermoplastische, hochverstärkte Kunststoffe steht die Delta PT Schraube zur Verfügung.

Merkmale

- ❶ Weiterentwickelte Flankengeometrie
- ❷ Vergrößerter Kernquerschnitt
- ❸ Reduzierte Steigung
- ❹ Verstärkte Kopfgeometrie
- ❺ Hochwertiger Schraubenwerkstoff

Ergebnis

- Hohe Torsions- und Zugfestigkeit
- Hohe dynamische Sicherheit
- Gute Wärmeableitung
- Geringe Radialdehnung
- Kleine Flächenpressung

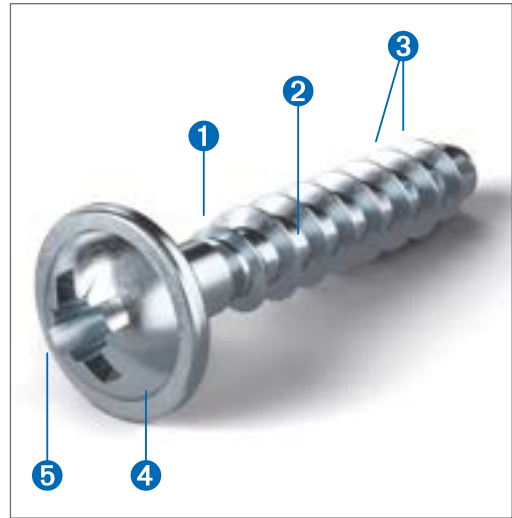


Bild 8.14 Delta PT Schraube für Direktverschraubungen in thermoplastische Kunststoffe

Anwendungen in Duroplasten mit der Delta PT Schraube mit Schneidkante

- Duroplastische Bauteile sind nicht plastisch verformbar
- Sehr spröde Werkstoffe mit geringer Dehnfähigkeit benötigen eine Schneidhilfe

Schneidkante

- Ausgefräster $\frac{1}{4}$ Kreis
- Länge: 3 – 4 × Gewindesteigung

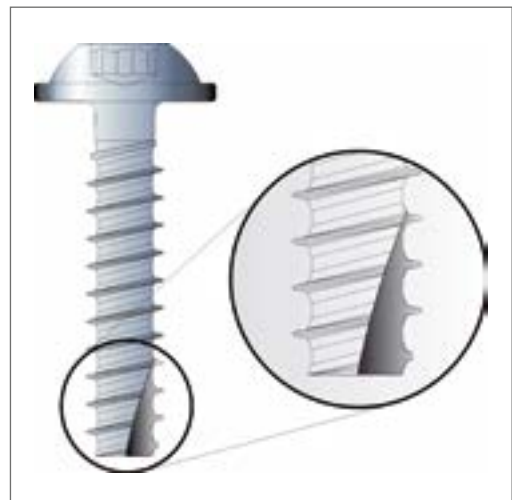


Bild 8.15 Delta PT Schraube mit Schneidkante für Direktverschraubungen in duroplastische Kunststoffe

Technische Vorteile und wirtschaftlicher Vorteil von Direktverschraubungen

- Höher belastbare Innengewinde durch Kaltverfestigung bei Metaldirektverschraubung
- Prozesssicherer und günstiger, da weniger Operationen
- Hohe Losdrehbarkeit, da Gewindefestsitz

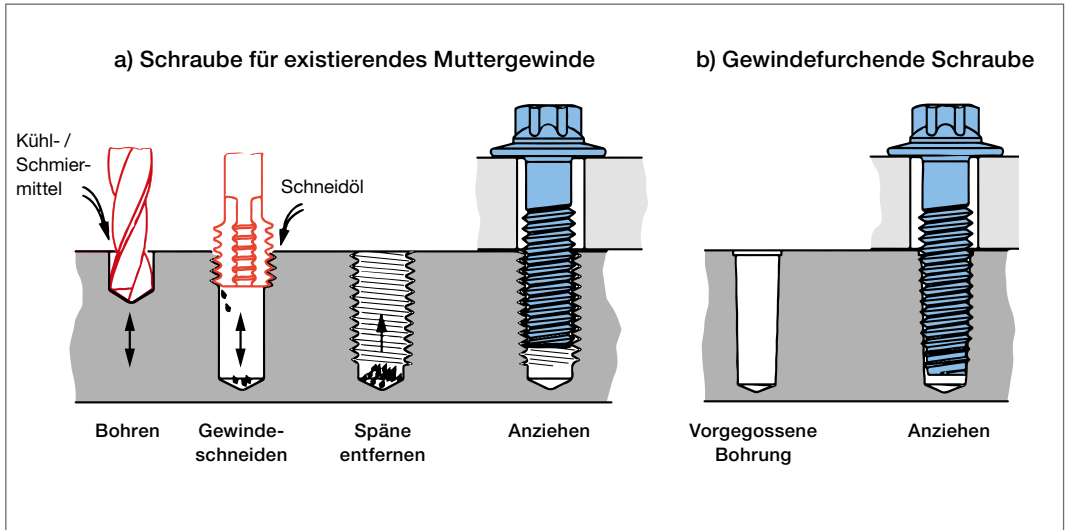


Bild 8.16 Vergleich zwischen einer konventionell realisierten Schraubverbindung und einer Direktverschraubung

Wichtiger technischer Hinweis

Bei der optimalen Direktverschraubungsmethode kommt es auf die Beachtung der notwendigen Konstruktionshinweise und Montagerichtlinien an. Die Abstimmung – bezogen auf Bauteile, Schraubentyp und Montage – ist von grosser Bedeutung. Es wird empfohlen, vor Serieneinführung Montageversuche mit Originalbauteilen durchzuführen und die Montageparameter zu prüfen und festzulegen.

Zwecks Bestimmung der Verschraubungscharakteristik steht die Böllhoff Anwendungstechnik gerne zur Verfügung.

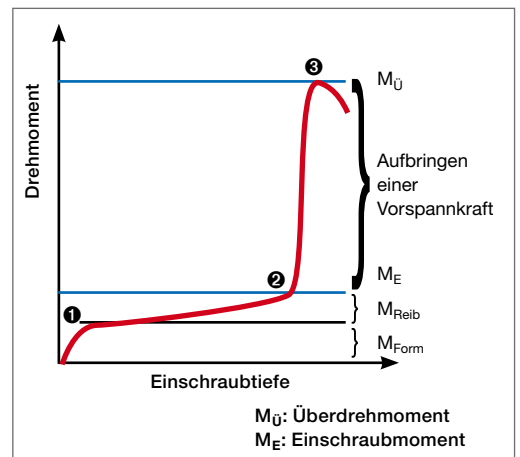


Bild 8.17 Einschraubkurve bei einer Direktverschraubung in ein Sackloch

Direktverschraubungen

Aufgrund steigender Verarbeitung von leichten und kostengünstigen Materialien wird der Einsatz von Direktverschraubungen weiter steigen.

Wann geht Gewindefurchen nicht?

- Bei geringen Festigkeitsunterschieden zwischen Schrauben- und Bauteilwerkstoff
- Bei zu spröden Werkstoffen
- Bei sehr hohen geforderten Vorspannkraften

Sichern von Schraubverbindungen

Unter einer Schraubverbindung ist eine mehrfach lösbare Verbindung zu verstehen, die mittels einer bei der Montage erzeugten Vorspannkraft zwei oder mehrere Bauteile zusammenfügt. Dieser Verbund soll sich auch unter Einwirkung einer äußeren Betriebskraft dauerhaft wie ein Teil verhalten. Hierzu muss die Vorspannkraft, die durch das Montageanzugsmoment erzeugt wird und den Reibschluss zwischen den Bauteilen hervorruft, soweit wie möglich erhalten bleiben. Anderenfalls können die Bauteile auseinanderklaffen, die Schrauben lösen sich oder die Schrauben werden in nicht zulässiger Weise auf Scherung beansprucht. Ist eine Schraubverbindung richtig ausgelegt, so ist der

Reibungswiderstand im Gewinde und unter dem Schraubenkopf ausreichend groß, um ein selbsttätiges Lösen auch unter Schwingungsbelastung zu verhindern. Die Verbindung ist in diesem Falle selbsthemmend. Ein selbsttätiges Lösen einer Schraubverbindung beginnt immer mit einem nicht gewollten Abfall der Vorspannkraft und wird insbesondere durch dynamische Belastungen verursacht. Dabei kann die Vorspannkraft teilweise oder ganz verloren gehen.

In der unten abgebildeten Grafik sind die Zusammenhänge dargestellt, von denen eine zuverlässige Schraubverbindung abhängt.*

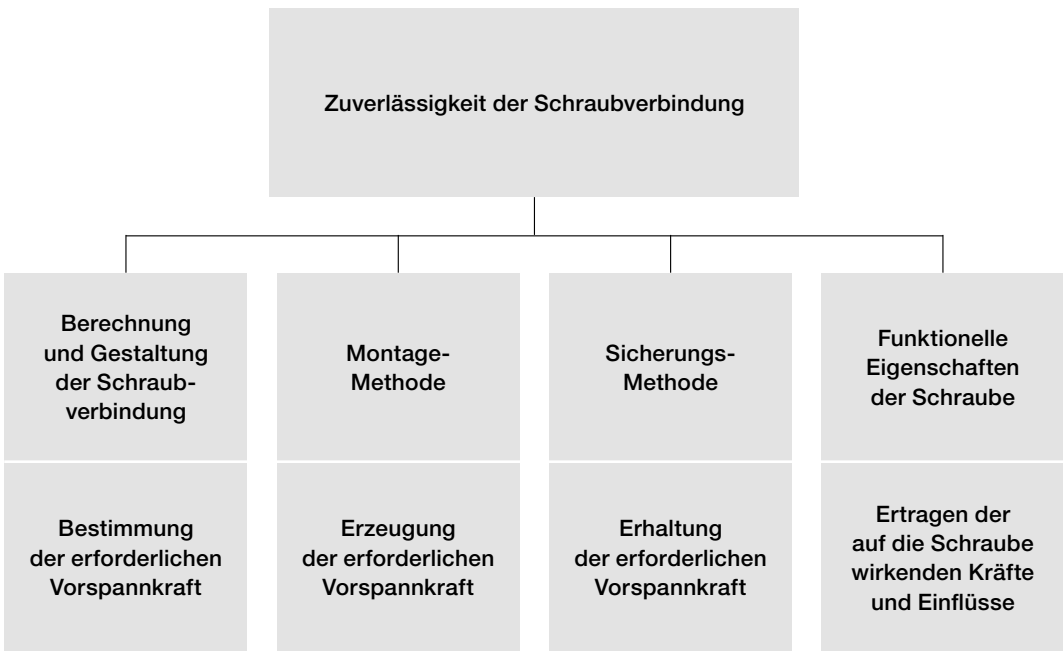


Bild 9.1 Zusammenhänge, die die Zuverlässigkeit einer Schraubverbindung beeinflussen

* Aus Merkblatt 302: Eine gut ausgelegte und kontrolliert angezogene Schraubverbindung benötigt in der Regel keine zusätzliche Schraubensicherung!

In der Praxis ist es nicht immer möglich, durch konstruktive Maßnahmen genügend Sicherheit in die Schraubverbindung einzuplanen. Um zu verhindern, dass sich Schraubverbindungen lösen oder gar auseinanderfallen, werden in solchen Fällen Schraubensicherungselemente eingesetzt.

Hierzu unterteilt man die einzelnen Maßnahmen nach ihrer Wirkungsweise in folgende Gruppen:

- Setzsicherungen
- Verliersicherungen
- Losdrehsicherungen

Die abgebildete Tabelle stellt Ursachen mit Wirkprinzipien einzelner Schraubensicherungen gegenüber.

Ursache des LöSENS	Einteilung der Sicherungselemente nach		
	Funktion	Wirkprinzip	Beispiel
Lockern durch Setzen oder Kriechen	Setzsicherung	Verminderung der Flächenpressung	Kombischraube z. B. DIN EN ISO 10644 Flanschschraube DIN EN 1665
		Mitverspannte, federnde Elemente	Tellerfedern DIN 2093 Spannscheiben DIN 6796 und B 53072 Kombischrauben DIN 6900-5 Kombimuttern B 53010
Losdrehen durch Aufhebung der Selbsthemmung	Verliersicherung	Formschlüssige Elemente	Kronenmuttern DIN 935 und DIN 979 Schrauben mit Splintloch DIN 962 Drahtsicherung Sicherungsbleche
		Klemmende Elemente	Ganzmetallmuttern mit Klemmteil, z. B. DIN 6927 Muttern mit Kunststoffeinsatz, z. B. DIN 6926 Schrauben mit Kunststoffbeschichtung im Gewinde, z. B. B 53081 Gewindefurchende Schrauben DIN 7500 HELICOIL® screwlock B 62000
		Sperrende Elemente	RIPP LOCK® Sicherungsscheiben, Sperrzahnschrauben und -muttern, z. B. B 158
	Losdrehsicherung	Sperrende, spannende Elemente	Keilsicherungsscheiben B 53074
		Klebende Elemente	„Mikroverkapselte Schrauben“, z. B. B 53084

Tabelle 9.1 Einteilung der Sicherungselemente nach ihrer Funktion und Wirkungsweise

Unterschieden werden grundsätzlich zwei Mechanismen für das selbsttätige Lösen – das Lockern und das Losdrehen:

Beim Lockern verursachen dynamische oder statische Belastungen, speziell in axialer Richtung, ein Überschreiten zulässiger Spannungen, wodurch Setzerscheinungen und Kriechvorgänge hervorgerufen werden. Dabei verringert sich die verbleibende Klemmlänge und somit reduziert sich auch die aufgebrachte Vorspannkraft.

Im Gegensatz dazu wirken beim Losdrehen dynamische Belastungen quer zur Schraubenachse und verschieben dadurch die verspannten Bauteile zueinander.

Wenn eine sogenannte „Grenzverschiebung“ überschritten wird, bei der die wirkenden Querkräfte grösser sind als die durch die Vorspannkraft hervorgerufene Haftreibung zwischen den verspannten Bauteilen, kann dabei eine Taumelbewegung um die Schraubenachse entstehen. Durch diese Relativbewegung wird ein inneres Losdrehmoment erzeugt, das zu einem völligen Verlust der Vorspannkraft und im Extremfall sogar zum Auseinanderfallen der Verbindung führen kann.

Im Gegensatz zu Verliersicherungen verhindern Losdrehsicherungen das Lösen der Schraubverbindung. Hierzu zählen unter anderem Sicherungselemente mit Profilierung an der Auflagefläche.

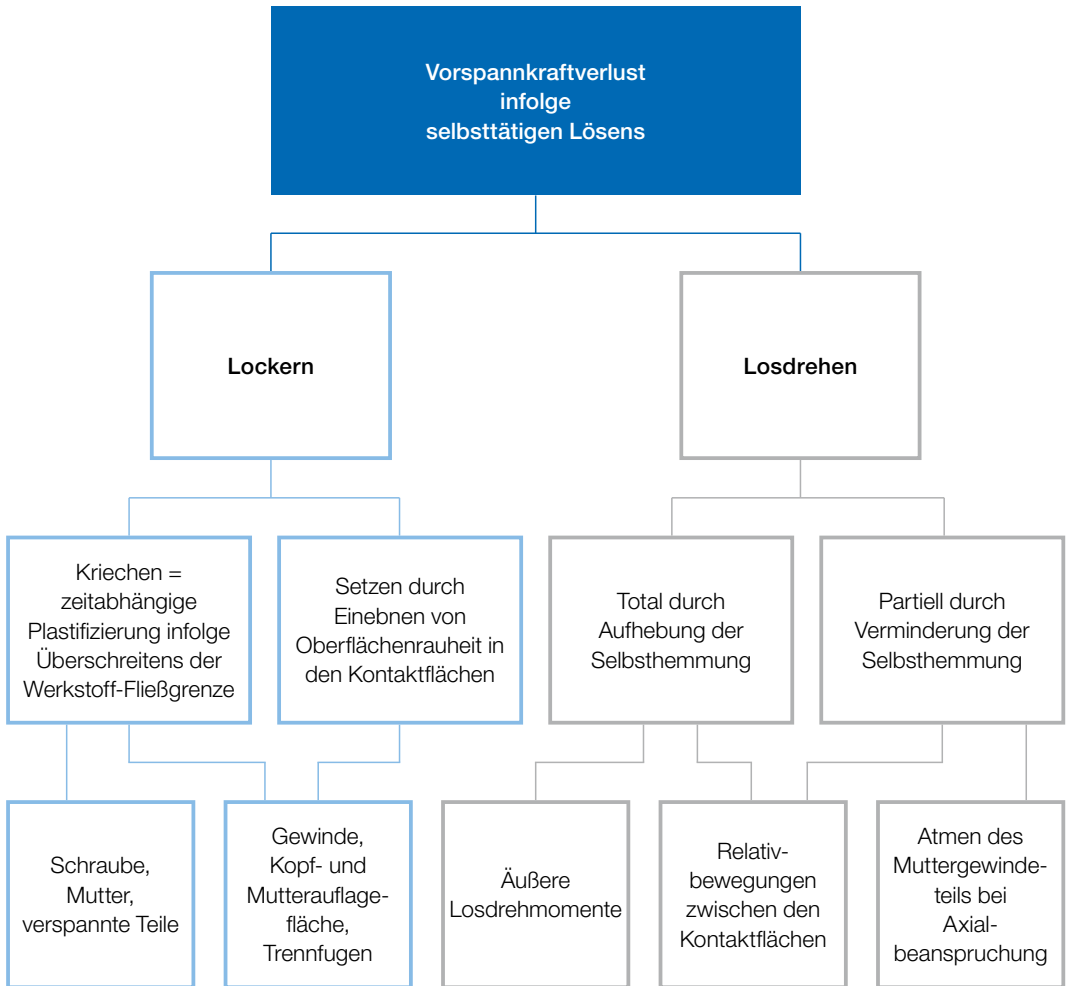


Bild 9.2 Ursachen, die zum selbsttätigen Lösen von Schraubenverbindungen unter dynamischer Beanspruchung führen können (Quelle: Merkblatt 302: Sicherungen für Schraubverbindungen, O. Strelow; Beratungsstelle für Stahlverwendung, Düsseldorf)

Maßnahmen gegen das Lockern

Um die Einflüsse für das Lockern von Schraubverbindungen gering zu halten, müssen diese sorgfältig berechnet und korrekt montiert werden. Mittels großer Schraubenkopfdurchmesser vermindert sich die Flächenpressung und damit die Setz- und Kriechneigung an den Auflageflächen. Kombischrauben und Flanschschrauben haben sich für diese Fälle als geeignete Verbindungselemente etabliert.

Maßnahmen gegen das Losdrehen

Die besten Maßnahmen gegen ungewolltes Losdrehen sind seit jeher konstruktiver Art. Als Grundregel gilt dabei, Relativbewegungen in den Trennfugen und an den Gewindeflanken zu verhindern. Dazu sollten die zu verbindenden Bauteile möglichst starr, die zugehörige Schraubverbindung dagegen möglichst elastisch sein. Erreicht wird dies durch den Einsatz hochfester Schrauben mit großer Nachgiebigkeit, großen Klemmlängen und kleinen Schaftdurchmessern.

Sicherungselemente

Verliersicherungen lassen zwar ein teilweises Lockern oder Losdrehen der Schraubverbindungen zu, verhindern aber das völlige Auseinanderfallen. Verliersicherungen sind daher keinesfalls gleichzusetzen mit wirkungsvollen Schraubensicherungen, die schon den Beginn des Lösens der Verbindung unterbinden.

Als Verliersicherung eingesetzt werden klemmende Elemente wie Muttern mit Kunststoffeinsatz, Schrauben mit Kunststoffbeschichtung im Gewinde oder Ganzmetallmutter mit oder ohne zusätzlichem Klemmteil und spezielle Gewindeflanken-Geometrien.

Im Gegensatz zu Verliersicherungen verhindern Losdrehsicherungen das Lösen der Schraubverbindung. Hierzu zählen unter anderem Sicherungselemente mit Profilierung an der Auflagefläche.

Um den durch Setz- und Kriechvorgänge verursachten Vorspannkraftverlust zu verringern, existieren sogenannte „federnde, mitverspannte Sicherungselemente“. Für einige Anwendungen geeignet sind Spannscheiben oder Tellerfedern mit hoher Steifigkeit. Federringe und Fächerscheiben besitzen keine ausreichend hohe Federwirkung, sie sind also als Schraubensicherung ungeeignet und die entsprechenden Normen wurden 2003 zurückgezogen.

Als zusätzliche Maßnahme bieten sich der Einsatz klemmender Elemente als Verliersicherung sowie sperrender oder klebender Komponenten als Losdrehsicherung an. Im Gegensatz zu den reinen Verliersicherungen verhindern Losdrehsicherungen einen deutlichen Verlust an Vorspannkraft.

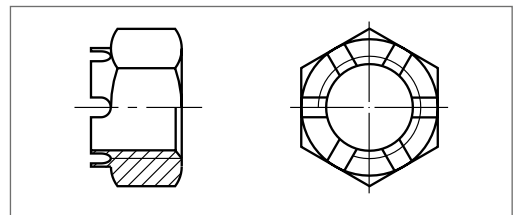


Bild 9.3 Kronenmutter

Zu den bekanntesten, aber nicht empfehlenswerten „formschlüssigen“ Sicherungselementen gehören Kronenmutter, Schrauben mit Splintloch sowie Drahtsicherungen.

Verzahnte Elemente

Die Funktion dieser Sicherungsmethode basiert auf eingepprägten, meist asymmetrischen Zähnen, die so ausgerichtet sind, dass die steilere Flanke der Losdrehrichtung zugewandt ist. Beim Anziehen graben sich diese Formelemente in das Bauteil und erzeugen einen Formschluss, der beim Lösen überwunden werden muss (Bild 9.4). Für die Funktion ist die Oberflächenbeschaffenheit und die Festigkeit der Klemmteile von großer Bedeutung.

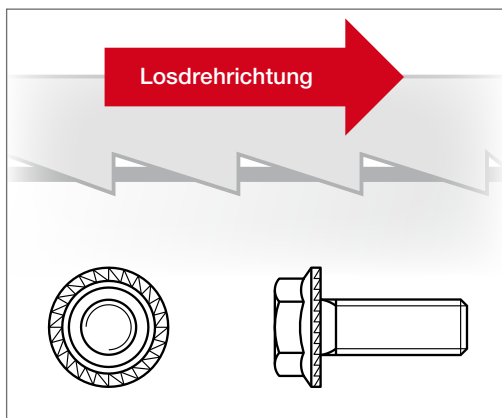


Bild 9.4 Verbindungselemente mit Verzahnung auf der Auflagefläche

Elemente mit Sicherungsrippen

Für empfindliche Oberflächen eignet sich ein Rippenprofil. Hierbei erhöht sich durch plastische Verformung und Verfestigung der Auflagefläche das Losdrehmoment.

RIPP LOCK® Schraubensicherung

Diese Schraubensicherung von Böllhoff basiert auf Radialrippen. Der Steigungswinkel der Rippen ist größer als die Gewindesteigung der Schraube. Dadurch wird sowohl mit der Sicherungsscheibe (B 53065) als auch mit der Sicherungsschraube (B 158, B 251) und -mutter (B 193) eine exzellente Sicherungswirkung erzielt.

Bei der Montage des Verbindungselements prägen sich die Radialrippen der RIPP LOCK® Sicherungsscheiben durch die aufgebrauchte Vorspannkraft in die jeweilige Gegenlage ein.

Der dadurch entstehende Formschluss verhindert zuverlässig ein selbsttätiges Lösen der Verbindung, selbst unter extremen Vibrationen oder starken dynamischen Belastungen.

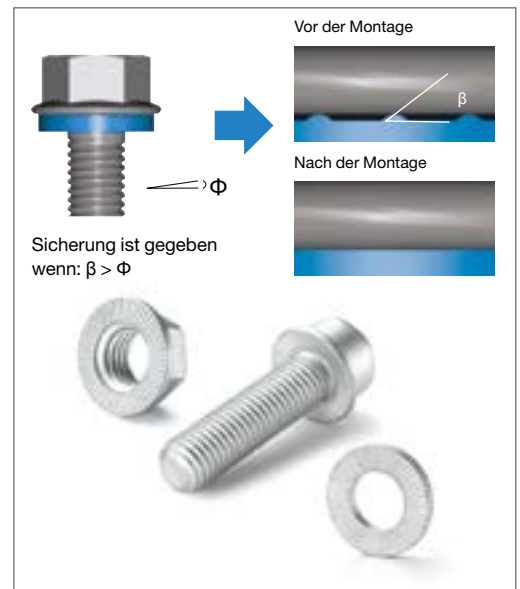


Bild 9.5 Verbindungselemente mit Verrippung auf der Auflagefläche

Schrauben / Muttern mit Sicherungsprofil aus unserem Sortiment

Vorteil dieser Sicherungsmethode ist, dass sie an der Schraube oder Mutter integriert ist und daher nicht vergessen werden kann. Diese Sicherungselemente sind bisher nicht genormt.

Folgende Böllhoff Standards stehen lagermäßig zur Verfügung:

- B 53085 Sechskant-Sicherungsschrauben
- B 53012 Sicherungsmutter mit Flansch
- B 151 und B 196 Sicherungselemente mit Verzahnung
- B 158, B 251 und B 193 RIPP LOCK® Sicherungselemente mit Verrippung

Keilsicherungsscheiben NORD-LOCK®

Die paarweise verklebten Scheiben werden mit ihren Radialrippen unter den Schraubenkopf und/ oder die Mutter gelegt. Hierbei kann eine Verwendung von Normschrauben und -muttern beibehalten werden. Beim Festziehen der Schraube und/ oder Mutter prägen sich die Radialrippen des Scheibenpaares in die Gegenauflage ein und es kommt zu einem Formschluss.

Im unteren Bild ist zu erkennen, was passiert, wenn man die Schraube löst:

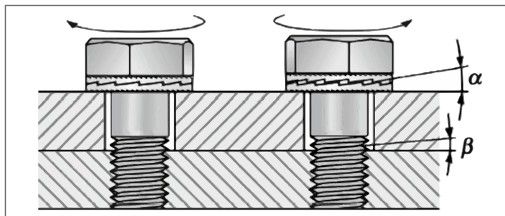


Bild 9.6 Sicherungswirkung von NORD-LOCK® Scheiben

Das Scheibenpaar ist fest an seinem Platz und Bewegungen sind nun nur noch zwischen den Keilflächen möglich. Schon bei geringster Drehung in Löserichtung erfolgt aufgrund der Keilwirkung eine Erhöhung der Klemmkraft — die Schraube sichert sich selbst. Keilsicherungsscheiben sichern effektiv gegen das Losdrehen von querbelasteten, schwungsbeanspruchten und vibrierenden Schraubverbindungen.

Chemische Schraubensicherungen

Chemische Gewindesicherungen (klebend – klemmend – dichtend). Diese Produkte werden entweder als flüssige Klebebeschichtungen (anaerob aushärtend) oder als Vorbeschichtung angeboten. Letzteres hat den Vorteil, dass die Beschichtung nicht mehr manuell während der Montage aufgebracht werden muss, sondern prozesssicher auf den Verbindungselementen vor der Auslieferung aufgebracht wird. Dies ist auch bei Schüttgut möglich.

Beschreibung

Für einen prozesssicheren Ablauf (kein Vergessen oder ungleichmäßiges Auftragen der Produkte) sprechen chemische Gewindesicherungen als Vorbeschichtung, welche in klebende und klemmende Gewindesicherungen unterschieden werden:

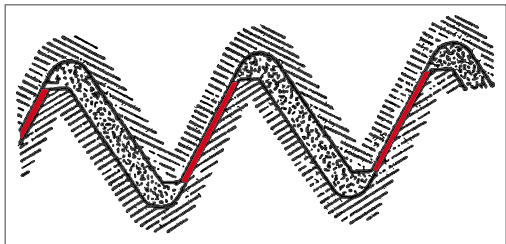


Bild 9.8 Chemische Schraubensicherung

DIN 267 Teil 27 – Klebende Beschichtung

Mikroverkapselte Klebstoffe: Beim Einschrauben werden die Mikro-Kapseln durch Druck und / oder Scherbeanspruchung zerstört. Der in den Kapseln enthaltene Klebstoff wird freigesetzt. Zusammen mit dem Härter kommt es zu einer chemischen Reaktion (Polymerisation), der Klebstoff härtet aus (Stoffschluss), die gewünschte Sicherungswirkung tritt ein. Nach ca. 5 Minuten sollte der Montagevorgang abgeschlossen sein (Aushärtung). Je nach Produkt sind unterschiedliche Aushärtungszeiten zu beachten (Wirksamkeit der Klebesicherung).



Bild 9.7 NORD-LOCK® Keilsicherungsscheiben Böllhoff Norm B 53074

DIN 267 Teil 28 – Klemmende Beschichtung

Klemmende Gewindegewissungsmittel: Hier wird ein Polyamid auf einen Gewindeabschnitt aufgebracht. Beim Einschrauben wird eine klemmende Wirkung erzeugt. Der axiale Spielraum zwischen Schrauben- und Muttergewinde wird durch die Beschichtung ausgefüllt und erzielt zusätzlich eine erhöhte Flächenpressung an den gegenüberliegenden, unbeschichteten Gewindeflanken. Die gewünschte klemmende Sicherungswirkung tritt ein. Verliersicherungen können ein teilweises Losdrehen nicht verhindern, wohl aber ein vollständiges Auseinanderfallen der Schraubverbindung.

Verfahren der klebenden und klemmenden Sicherungen

Falls nicht abweichend definiert, soll die Beschichtung nach DIN 267 Teil 27/28 ausgeführt werden.

Länge: $1,5 d \pm 2P$ für $P < 1$

$1,5 d \pm P$ für $P \geq 1$

gemessen vom Schraubenende.

Die ersten zwei bis drei Gewindegänge sollten weitgehend frei von Beschichtungsstoff sein, um das Einschrauben zu erleichtern. Die Gewindegewissungen können sowohl als Innenbeschichtung (Muttern) wie auch als Außenbeschichtung (Bolzen) ausgeführt werden. Gleichzeitig kann die Beschichtung, je nach Produkt, auf unterschiedlichen Werkstoffen und Oberflächen eingesetzt werden. Zu beachten sind unterschiedliche Temperaturbeständigkeiten der Produkte. Zusätzlich können die chemischen Gewindegewissungen eine dichtende Funktion bieten. Hier sollte darauf geachtet werden, dass die Beschichtung „rundum“ ausgeführt wird und die Zusatzanforderungen definiert werden.



Bild 9.9 Verschiedene chemische Gewindegewissungen

Eigenschaften	Produkt	Klebond: DIN 267, T 27					
		Precote 30 gelb	Precote 80 rot/grün	Precote 80-3 rot/grün	Precote 85 türkis	3M Scotch Grip 2353 blau	3M Scotch Grip 2510 orange
Temperaturbeständigkeit		-60 bis +150 °C	-60 bis +170 °C	-60 bis +170 °C	-60 bis +170 °C	-30 bis +110 °C	-30 bis +150 °C
Schwache Säuren pH > 4 bei RT		1	1	1	1	1	1
Laugen pH > 11 bei RT		1	1	1	1	1	1
Öle und Fette		1	1	1	1	1	1
Frostschutzmittel		1	1	1	1	1	1
Bremsflüssigkeiten		1	1	1	1	1	1
Lösemittel		1	1	1	1	1	1
Benzine		1	1	1	1	1	1
Wasser		1	1	1	1	1	1
DVGW Freigabe (DIN 30600 Trinkwasser)		nein	nein	nein	nein	nein	nein
Losbrech- und Losdrehmomente		mittel	hoch	hoch	hoch	hoch	hoch
Wiederverwendbar		nein	nein	nein	nein	nein	nein
Abmessungsbereich		M 4 – M 60	M 3 – M 60	M 3 – M 60	M 3 – M 60	M 2 – M 60	M 2 – M 60
Losdrehsicherung		ja	ja	ja	ja	ja	ja
Erfüllt Anforderungen nach DIN 267, T 27		ja	ja	ja	ja	ja	ja
Erfüllt Anforderungen nach DIN 267, T 28		nein	nein	nein	nein	nein	nein
Einschraubgewinde öl- und fettfrei		ja	ja	ja	ja	ja	ja
Verarbeitungszeitraum nach Verschrauben		max. 5 Min.	max. 5 Min.	max. 5 Min.	max. 5 Min.	max. 5 Min.	max. 5 Min.
Mindesttemperatur für Aushärtung		-20 °C	-20 °C	-20 °C	-20 °C	+5 °C	+5 °C
Gewindereibungszahl		0,10–0,15	> 0,25	0,25–0,28	0,10–0,16	0,10–0,16	k. A.
Aushärtezeit		6 Std.	6 Std.	0,5 Std.	6 Std.	24 Std.	72 Std.

1 = sehr gut · 2 = gut · 3 = befriedigend · 4 = ausreichend · k. A. = keine Angaben

Tabelle 9.2 Übersicht verschiedener chemischer Schraubensicherungen (alle Angaben ohne Gewähr)

Klemmend: DIN 267, T 28							Dichtend			
Polyamid-Fleck-Plasbolt blau/rot	Polyamid-Rundum-Plasbolt blau/rot	Clemm-Lock braun	VC 3	Polyamid-Fleck Rundum Temperaturbeständig orange	Precote 6 weiß	Precote 9 rotbraun/weiß	Precote 4 weiß/blau	Precote 5 weiß/blau	Thread Sealant 4291	Loctite 5061 hellblau
-50 bis +90 °C	-50 bis +90 °C	-60 bis +130 °C	-30 bis +90 °C	-50 bis +200 °C	-60 bis +110 °C	-60 bis +180 °C	-60 bis +180 °C	-60 bis +160 °C	-50 bis +150 °C	-50 bis +150 °C
1	1	1	3	1	1	1	1	1	1	1
1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1
1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1
1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1
1	1	1	4	1	1	1	1	1	1	1
1	1	1	3	1	1	1	1	1	1	1
1	1	1	1	1	1-2	1-2	1-2	1-2	1-2	1-2
ja	ja	ja	nein	ja	nein	nein	nein	nein	nein	ja
hoch	hoch	hoch	niedrig	hoch	hoch	mittel	niedrig	niedrig	niedrig	niedrig
2 x	2 x	5 x	2 x	5 x	2 x	2 x	1 x	1 x	1 x	1 x
M 3-M 24	M 3-M 24	M 2-M 24	M 1-M 24	M 2-M 60	M 2-M 60	M 2-M 60	M 2-M 60	M 2-M 60	M 4-M 55	M 4-M 60
nein	nein	nein	nein	nein	nein	nein	nein	nein	nein	nein
nein	nein	nein	nein	nein	nein	nein	nein	nein	nein	nein
ja	ja	ja	nein	ja	ja	ja	nein	nein	nein	nein
nein	nein	nein	nein	nein	nein	nein	nein	nein	nein	nein
unbegrenzt	unbegrenzt	unbegrenzt	unbegrenzt	unbegrenzt	unbegrenzt	unbegrenzt	unbegrenzt	unbegrenzt	unbegrenzt	unbegrenzt
k. A.	k. A.	k. A.	k. A.	k. A.	k. A.	k. A.	k. A.	k. A.	k. A.	k. A.
0,10-0,15	k. A.	0,10-0,15	0,10-0,20	0,10-0,15	0,25-0,30	0,10-0,15	0,10-0,23	0,12-0,18	0,10-0,15	k. A.
keine	keine	keine	keine	keine	keine	keine	keine	keine	0,5-1 Std.	keine

Position der Beschichtung

Falls nichts anders angegeben wird, muss die Beschichtung mit der angegebenen Länge erfolgen (siehe Bild 9.10).

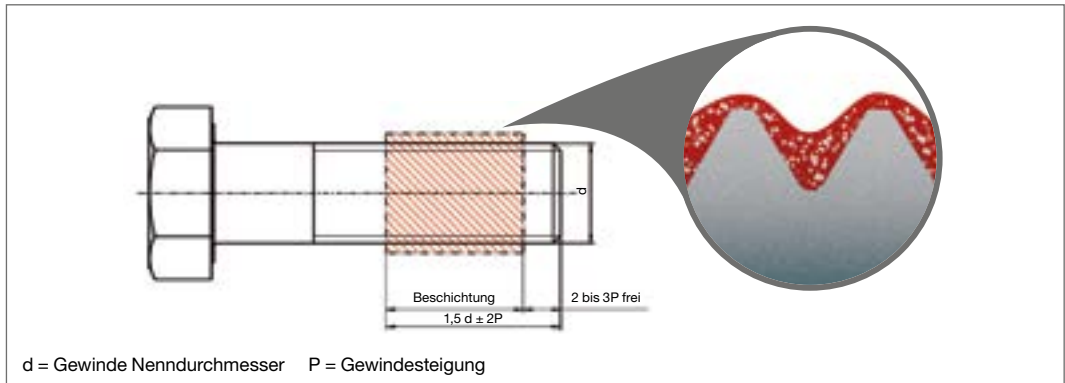


Bild 9.10 Position der Beschichtung am Beispiel einer Sechskantschraube

Montagehinweise

- Definierte Lage und Länge der Beschichtung
- Toleranz 6g/6h nach Galvanik
- Optimaler Gewindebeginn nach DIN 76 gratfrei, Senkung 1,05 × Nenndurchmesser
- Bei Dichtanwendung mindestens vier Gewindgänge beschichten und überlappend montieren

Sicherungswirkung bei dynamischer Belastung

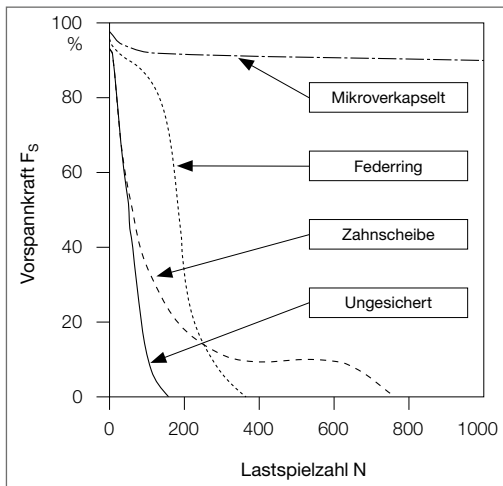


Bild 9.11 Junkersvibrationstest nach DIN 65151

Weitere chemische Gewindegicherungen und Dichtungen sind jederzeit auf Anfrage möglich.

Wir beraten unsere Kunden hinsichtlich der technisch besten und wirtschaftlich sinnvollsten Lösung und setzen die konkreten Anforderungen um.

Das Sichern von Schraubverbindungen

Dies bleibt ein wichtiges Thema, da bei der Auslegung der Verbindung oft nicht alle Einflussparameter in die Gestaltung einfließen, gleichzeitig aber gestiegenen Produkthaftungs- und Sicherheitsansprüchen Rechnung getragen werden muss. Andererseits beeinflusst jedes Schraubensicherungselement die Verschraubungssituation und muss bei der Montageplanung berücksichtigt werden.

Nicht geeignete Schraubensicherungen

Einige davon sind heutzutage noch weit verbreitet, obwohl sie nicht mehr dem Stand der Technik entsprechen. Die entsprechenden Produktnormen wurden zurückgezogen. Solche Elemente wurden fälschlicherweise den „Losdreh-“ und „Setzsicherungen“ zugeordnet. Mitverspannte federnde Elemente sind bei hochfesten Schraubverbindungen mit großer Vorspannung wirkungslos. Sie können in ungünstigen Fällen die Setzerscheinungen und damit den Abfall der Vorspannkraft sogar noch begünstigen. Hierbei handelt es sich im Einzelnen um:

- Federringe nach DIN 127 (wurde bereits 1992 zurückgezogen), DIN 128 und DIN 6905
- Federscheiben nach DIN 137 und DIN 6904
- Fächerscheiben nach DIN 6798 und DIN 6907
- Zahnscheiben nach DIN 6797
- Sicherungsbleche nach DIN 93, DIN 432 und DIN 463
- Sicherungsnapfe nach DIN 526
- Sicherungsmuttern nach DIN 7967

Hierbei hat sich gezeigt, dass die angedachte Sicherungswirkung nicht gegeben ist, weil z. B. die Scheibenelemente bereits bei relativ geringen Vorspannkraften plattgedrückt werden und keine Federwirkung erzeugen, bzw. die erhoffte mechanische Funktion bei diesen Produkten nicht erfüllt wird.

Für die Auswahl einer entsprechenden Sicherungskomponente sind Aspekte wie Wiederverwendung, Temperatureinflüsse, Werkstoffpaarungen und die spezifischen Sicherungs- oder Zusatzeigenschaften maßgebend. Kritisch ist auch die Frage der Mehrfachverwendbarkeit zu betrachten.

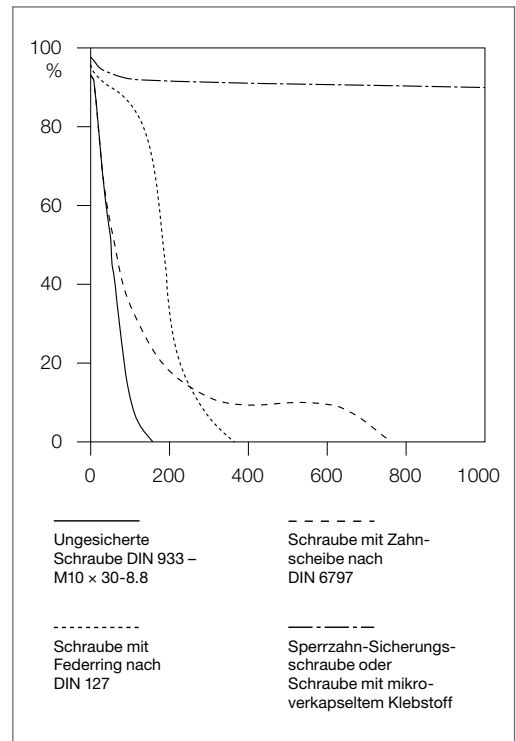


Bild 9.12 Losdrehkurven verschiedener Schraubverbindungen bei dynamischer Querbelastung

Die Dichtungstechnik findet in nahezu jedem Industriebereich Anwendung und ist ein wichtiger Bereich der Konstruktionslehre. Es geht hierbei darum, Leckagen zu verhindern, Verunreinigungen zu vermeiden, um eine fehlerfreie Funktion der Maschinen, um Korrosionsvermeidung und um den Umweltschutz. Ziel ist es, bei dem Einsatz von Dichtungstechnik den flüssigen oder gasförmigen Stofftransport zwischen zwei Räumen zu verhindern oder zu reduzieren, wie schematisch in Bild 10.1 dargestellt ist.

Eine absolute Dichtheit im physikalischen Sinne gibt es nicht. Es ist immer zu definieren, gegen welche Elemente abgedichtet werden soll. Die wichtigsten allgemeinen Kriterien bei der Spezifikation der Dichtung sind Sicherheit, Zuverlässigkeit und Wirtschaftlichkeit. Im Detail sind besonders die folgenden Parameter von Bedeutung: Einbausituation, Druck, Dichte, Temperatur, Viskosität und pH-Wert des abzudichtenden Mediums. Dichtungsfunktionen können über den Einsatz von klassischen Dichtelementen, über konstruktive Gestaltungen und über den Einsatz von Verbindungselementen mit zusätzlicher Dichtfunktion erreicht werden.

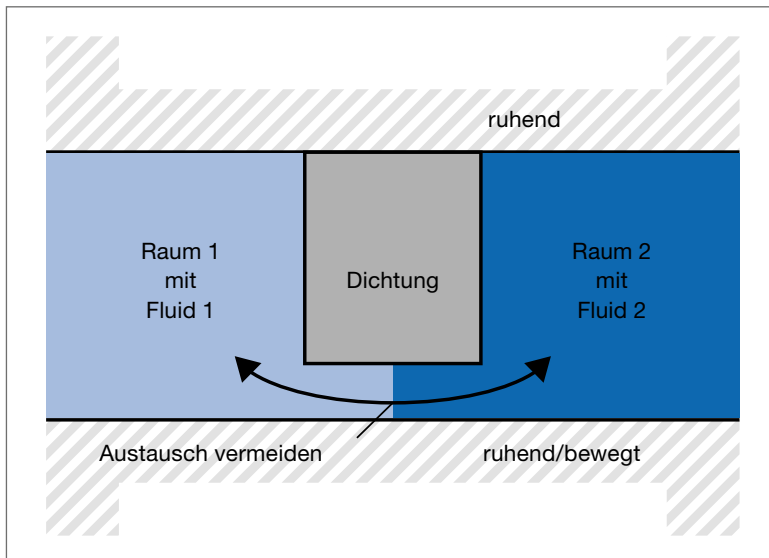


Bild 10.1 Die Funktion einer Dichtung

Dichtstellen können in statische und dynamische Dichtstellen unterteilt werden. Bei statischen Dichtstellen findet keine Relativbewegung zwischen den Dichtflächen statt, bei dynamischen Dichtungen liegt eine funktionsbedingte Relativbewegung der Dichtflächen zueinander vor.

Die Relativbewegung kann rotatorisch sein – in diesem Fall wird von Wellendichtungen gesprochen, oder sie kann translatorisch sein – in diesem Fall wird von Stangendichtungen und Kolbendichtungen gesprochen. Bei dynamischen Dichtungen dürfen Aufgaben wie die Kräfteübertragung und Führung nicht von der Dichtung übernommen werden.

Insgesamt gibt es eine große Anzahl an verfügbaren Dichtelementen. Wir möchten Ihnen im Folgenden einen Überblick über die Dichtelemente geben und Ihnen bei der Einordnung und Spezifikation helfen. Dabei konzentrieren wir uns vornehmlich auf den Bereich der statischen Dichtstellen.

Bild 10.2 zeigt eine Unterteilung der statischen Dichtstellen. Soll die Dichtstelle bei Wartungen wieder lösbar sein, wird in der Regel ein schraubbares Element eingesetzt. Bei dem permanenten Abdichten von Bohrungen kommen dagegen oft Dichtstopfen oder Klebe- und Schweißtechnik zum Einsatz.

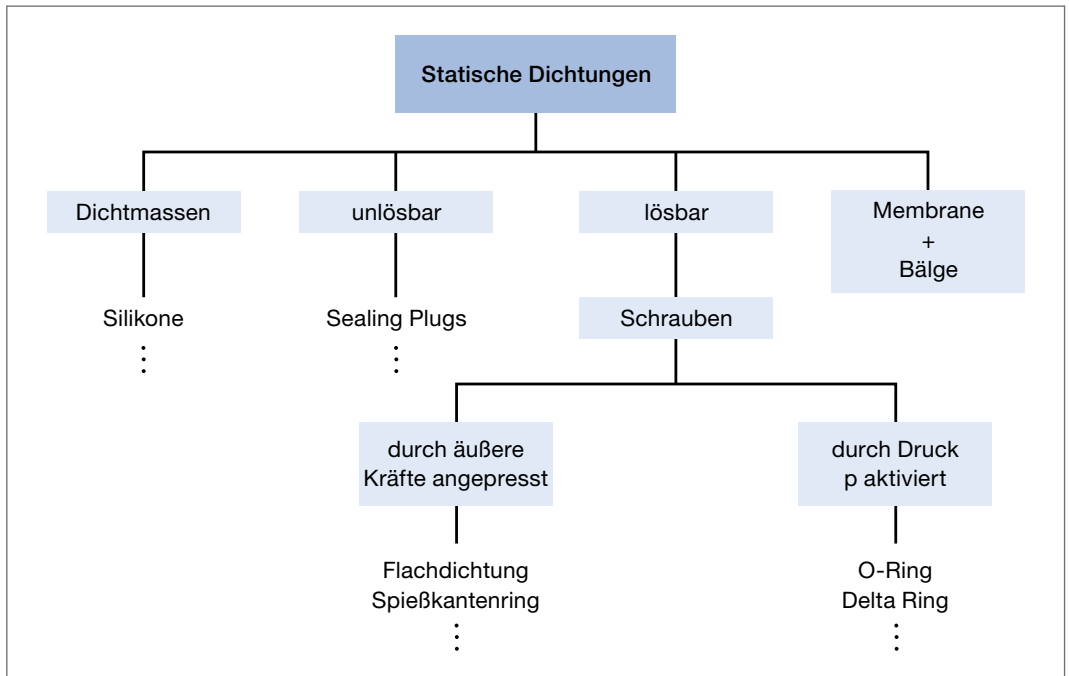


Bild 10.2 Einordnung der statischen Dichtungen

Lösbare Abdichtungen über Schraubenverbindungen

Die Abdichtung über eine Schraube hat den Vorteil, dass eine lösbare Verbindung geschaffen wird. Je nach Anwendung kann dabei eine reine Dichtfunktion erwirkt werden, es kann eine zusätzliche Kraftübertragung über die Schraube realisiert werden und das Dichtelement kann ohne großen Aufwand ausgetauscht werden. Eine einfache Schraube bietet bereits ein gewisses Maß an Dichtheit und reduziert den Austausch von Medien. Die Funktionsweise ist ähnlich zu einer Labyrinthdichtung.

Die Dichtwirkung der alleinigen Schraube reicht allerdings oft nicht aus, sodass zusätzliche Maßnahmen zur Erhöhung der Dichtheit Anwendung finden. Die üblichen Maßnahmen sind dabei:

- Einsatz von Dichtringen
- Einsatz von Dichtbeschichtungen Unterkopf
- Einsatz von Dichtbeschichtungen am Gewinde
- Einsatz von kegligen Gewinden
- Einsatz von Sondergewinden

Dichtringe

Dichtringe sind in einer Vielzahl an Varianten, Formen und Werkstoffen erhältlich. Ein Vorteil ist, dass sie direkt in Kombination mit Norm-Schrauben einsetzbar sind. Das bringt mit sich, dass Schrauben sehr gut an abzudichtende Stellen anpassbar sind.

Um eine möglichst große Dichtwirkung zu erreichen, sollte die Dichtfläche bearbeitet werden. In Tabelle 10.1 sind die weitverbreiteten Dichtringe gegenübergestellt.

O-Ringe	USIT-Ringe	Dichtringe
Diverse Normen verfügbar, z. B. DIN 3771, DIN 3601	Gummi-Metall Verbunddichtung	DIN 7603
Verschiedene Werkstoffe	Scheibe Stahl oder Edelstahl	Verschiedene Werkstoffe
Gute Chemikalienbeständigkeit	Gummiwulst in NBR oder Viton	Gute Chemikalienbeständigkeit
Nicht reaktiv	Einfache, schnelle Montage (verlustsicher)	Hohe mechanische Belastbarkeit
Dichtet gegen Flüssigkeiten und Gase	Sichere, selbst verstärkende Abdichtung und Eignung für hohe Drücke, wo Kupferringe nicht mehr geeignet sind	Dichtet gegen Flüssigkeiten und Gase
Schrauben sollten Freistich aufweisen		Schrauben sollten für den Einsatz angepasst sein

Tabelle 10.1 Übersicht gängiger Dichtringe

Beschichtung

Bei größeren Serien ist es möglich, die Dichtheit einer Schraubverbindung über eine Unterkopfbeschichtung oder eine Beschichtung des Gewindes zu verbessern bzw. zu erreichen.

Bei einer Unterkopfdichtung wird ein Kunststoff auf der Schrauben-Unterkopf-Seite aufgeschmolzen. Es kann eine sehr gute Abdichtung gegen Gase und Flüssigkeiten erreicht werden, außerdem findet keine Beschädigung der Werkstückoberfläche statt.

Die Schrauben können weiterhin als Schüttgut gehandhabt werden und sind bedingt wiederverwendbar. Eine Bearbeitung der Werkstückoberfläche ist in Bezug auf die Dichtwirkung hilfreich, jedoch nicht in allen Fällen notwendig. Je nach Anwendungsparameter gibt es eine Vielzahl möglicher Beschichtungen. Drei verbreitete Produkte sind in Tabelle 10.2 dargestellt.

Nylonring	GESI-Seal	Precote 200
Mehrmals verwendbar (5 x)	Mehrmals verwendbar (5 x)	Bedingt wiederverwendbar (2 x)
Dichtwirkung bis 150 bar	Dichtwirkung bis 70 bar	Dichtwirkung bis 10 bar
Lagerbeständigkeit: min. 4 Jahre	Lagerbeständigkeit: min. 4 Jahre	Lagerbeständigkeit: min. 4 Jahre
Einsetzbar –40 bis +140 °C	Einsetzbar –40 bis +90 °C	Einsetzbar –40 bis +150 °C
Ausführung passend zum Anwendungsfall möglich	Gute Wetter- und Chemikalienbeständigkeit	Trockener, nicht klebriger Dichtfilm
Dichtet sofort nach der Montage	Gute elektrische Isolationseigenschaften	Ausgezeichnete chemische Beständigkeit

Tabelle 10.2 Übersicht gängiger Unterkopfbeschichtungen

Bei einer Gewindebeschichtung wird ein Kunststoff oder eine Mikroverkapselung als Rundumbeschichtung auf das Gewinde aufgebracht. Die Vorbeschichtung hat den Vorteil, dass sie nicht manuell während der Montage, sondern vor der Auslieferung prozesssicher auf den Verbindungselementen aufgebracht wird.

Klebende, mikroverkapselte Vorbeschichtungen bestehen aus eingekapseltem Klebstoff und Härter. Durch das Einschrauben wirkt eine Druck- und Scherbeanspruchung auf die Kapseln. Die Kapseln öffnen sich. Klebstoff und Härter werden freigesetzt und es kommt zu einer Polymerisation. Der Klebstoff härtet aus und bildet einen Stoffschluss.

Bei der klemmenden Vorbeschichtung wird ein Polyamid-Fleck auf einen Gewindeabschnitt aufgespritzt. Der axiale Spielraum zwischen Schrauben und Muttergewinde wird durch die Beschichtung ausgefüllt und eine hohe Flächenpressung zwischen den Gewindeflanken erreicht. Zur Erreichung einer Dichtwirkung sollte eine Rundumbeschichtung aufgebracht werden.

Die Beschichtungsposition ist bei beiden Verfahren derart zu spezifizieren, dass die Dichtfläche im Gegengewinde liegt, siehe Abbildung 10.3. Es ist darauf zu achten, dass der Füllgrad ausreichend groß ist, um Gewindetoleranzen auszugleichen. Zusätzlich zu der Dichtfunktion weist eine vorbeschichtete Schraube eine erhöhte Sicherheit gegen selbsttätiges Losdrehen auf. Ein Beispiel einer vorbeschichteten Schraube ist in Bild 10.4 gezeigt.

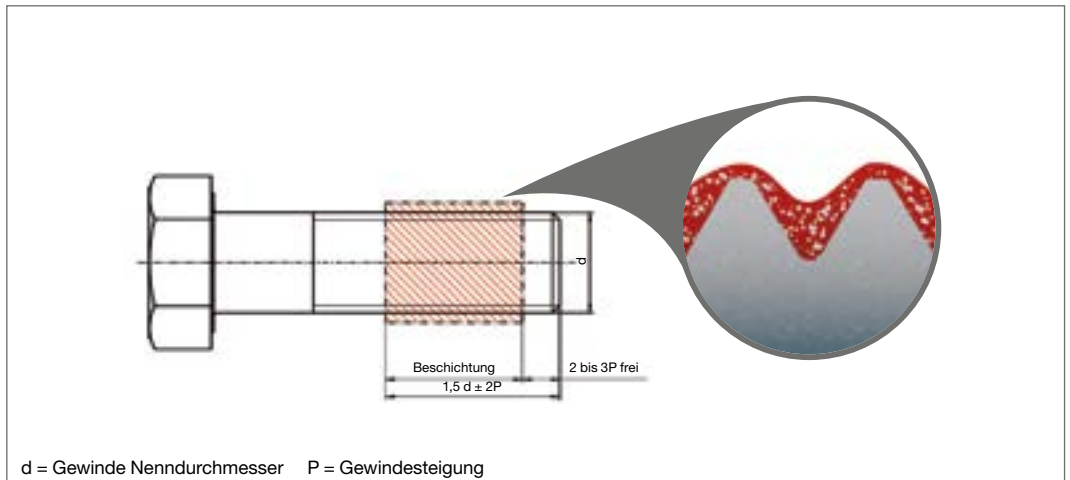


Bild 10.3 Position der Gewindebeschichtung nach Norm DIN 267 – 27



Bild 10.4 Schraube mit mikroverkapselter Vorbeschichtung

Geometrie

Zur Erhöhung der Dichtheit im Unterkopf sowie im Bereich des Gewindes kann die Geometrie der Schraube angepasst werden. Im Gewinde werden spezielle Gewindegeometrien eingesetzt, die das Gewindespiel ausgleichen und für einen vollständigen Kontakt im Gegengewinde sorgen. In erster Linie bieten sich hierzu keglige bzw. konische Gewinde und selbstfurchende Gewinde an.

Bei konischen Gewinden wird der Durchmesser von Gewindegang zu Gewindegang größer, wodurch das Gewindespiel reduziert wird. Die Gewindeflanken verpressen sich und dichten so ab. Auf Grund von Gewindetoleranzen ist es zum Teil notwendig, ein zusätzliches Dichtmittel zu verwenden. Ein Beispiel für ein genormtes, kegliges Gewinde ist das Whitworth-Rohrgewinde. Dieses besteht aus einem zylindrischen Innengewinde und einem kegligen Außengewinde und wird für Fittings und Gewinderohre verwendet.

Gewindefurchende Schrauben verdrängen das Material des Bauteils und stellen so das jeweilige Gegengewinde selber her. Die resultierende Verbindung weist kein Flankenspiel auf, sodass eine Dichtheit des Gewindes erzeugt wird. Weitere Informationen zu gewindefurchenden Schrauben sind im Kapitel „Direktverschraubungen“ zu finden.

Schrauben, die explizit eingesetzt werden, um Servicebohrungen zu verschließen, werden Verschlusschrauben genannt. In der Abbildung 10.5 sind genormte Verschlusschrauben zu finden. Diverse Normen spezifizieren Kopfform, Gewindeform und zusätzliche Dichtelemente. Neben dem metrischen Gewinde sind das Rohrgewinde und das Gasgewinde sehr verbreitet. Beispiele für die Formen sind:

- DIN 906: Verschlusschraube mit Innenantrieb, kegliges Gewinde M 8x1 bis M 48x2, R 1/8 bis R2
- DIN 908: Verschlusschrauben mit Bund und Innensechskant, zylindrisches Gewinde M 8x1 bis M 48x2, G1/8 bis G1 1/2, Form A (ohne Dichtung, Form AC mit Kupferdichtung), Form AA mit Aluminium-Dichtung
- DIN 910: Verschlusschraube mit Bund und Außensechskant, M 10x1 bis M 52x1,5 und G1/8 bis G2



Bild 10.5 Verschlusschrauben DIN 906, DIN 908, DIN 910 (von l. nach r.), (Quelle: Böllhoff eShop)

Abdichtungen von Bohrungen

Wenn es in der Anwendung darum geht, eine Bohrung permanent zu verschließen, werden in der Regel nicht lösbare Verbindungselemente eingesetzt. Neben dem Schweißen, Löten und den Klebeverbindungen kommen dabei unterschiedliche Verbindungselemente zum Einsatz, die über ein An- und Einpressen funktionieren. Im Folgenden gehen wir auf diese ein.

Zylinderstifte und Kegelstifte sind - genauso wie Kugeln - kostengünstige Elemente, welche auch bei kleinen Durchmessern zum Einsatz kommen. Für Anwendungen, die eine hohe Funktions- oder Sicherheitsrelevanz haben, kommen oft Dichtstopfen zum Einsatz. Stifte werden in eine Bohrung eingebracht mit dem Ziel, einen Presssitz zu erwirken. Eine Stufenbohrung erlaubt eine genaue Positionierung, es sind Versuche zur Ermittlung des sicheren Druckbereiches notwendig und es werden zum Teil erhebliche Spannungen in das Material eingebracht.

Kugeln werden in Bauteile mittels Hammer, Lufthammer oder einer Presse eingebracht. Die Kugel ist im Durchmesser ca. 0,2 mm größer als die Bohrung. Eine Stufenbohrung erlaubt eine Positionierung der Kugel. Auch bei der Kugel ist es notwendig, den sicheren Druckbereich zu ermitteln und die Spannungen im Blick zu haben, die in das Bauteil eingebracht werden. Zudem findet eine Dichtwirkung nur über den in Kontakt stehenden Kugelumfang statt. Bei Werkstoffen mit Lunkern oder Bohrungsriefen führt dies zu einer Undichtigkeit.

Verschlussdeckel, zum Beispiel nach DIN 443 oder DIN 470, finden oft Einsatz bei Getrieben und Motoren im unteren Druckbereich und bei großen Durchmessern. Die Elemente sind nur für niedrige Drücke geeignet, da keine Verkrallung im Grundmaterial stattfindet.

Für eine prozesssichere und reproduzierbare Abdichtung von Hilfsbohrungen eignen sich SEALING PLUG-Dichtstopfen. Diese basieren auf dem Druck-Spreiz-Prinzip oder auf dem Zug-Spreiz-Prinzip. Es werden vier Typen von Dichtstopfen unterschieden. Drei sind in Bild 10.6 dargestellt.



Bild 10.6 Dichtstopfen

- Einteilige Dichtstopfen wie den BB-Blocker
- Kuglexpander
- Nietdornexpander
- Zugexpander mit Innengewinde

Kugel-Dichtstopfen funktionieren nach dem Druck-Spreiz-Prinzip. Dabei wird die Kugel in die Hülse gedrückt und bringt diese zum Expandieren. Nietdornexpander und die PULLPLUGS™ funktionieren nach dem Zug-Spreiz-Prinzip. Der Nietdorn bzw. der Pin wird in die Hülse gezogen und bringt diese zum Expandieren. Dichtstopfen weisen ein Rippenprofil auf der Außenseite der Hülse auf, das den Dichtstopfen beim Expandieren im Einbauwerkstoff verankert. Durch die einfache Installation im vorhandenen Bohrloch ist diese Methode besonders effizient, da das Schneiden eines Gewindes entfällt. Des Weiteren ist die Verwendung von zusätzlichen Dichtmitteln überflüssig. SEALING PLUGS sind für Klein- und Großserien geeignet, da sie manuell, halbautomatisch oder vollautomatisiert verbaut werden können.

Auslegungskriterien für die Dichtstopfen sind der maximale Druck, die Temperatur, das abzudichtende Fluid, Material und die Geometrie des Bauteils sowie die Verarbeitungstechnik. Ein üblicher Druckeinsatzbereich geht bis 500 bar und ein Berstdruck der Elemente von 1000 bis 1500 bar. Der einteilige B-Blocker sowie Dichtstopfen mit kurzer Mantelfläche sind für niedrige Drücke unter 100 bar geeignet.

DIN 50900 Teil 1 beschreibt Korrosion als „die Reaktion eines metallischen Werkstoffes mit seiner Umgebung, die eine messbare Veränderung des Werkstoffes bewirkt und zu einer Beeinträchtigung der Funktion eines metallischen Bauteils oder eines ganzen Systems führen kann“.

Die meisten Schraubenschäden werden durch Korrosion verursacht. Aber Korrosion ist unvermeidlich. Korrosionsschutz ist deshalb als eine Maßnahme zu verstehen, welche die Entwicklung der Korrosion steuert und verzögert.

Aus der Vielzahl der Korrosionsarten sind die für das Thema Verbindungselemente wichtigen Korrosionsarten in Bild 11.1 dargestellt.

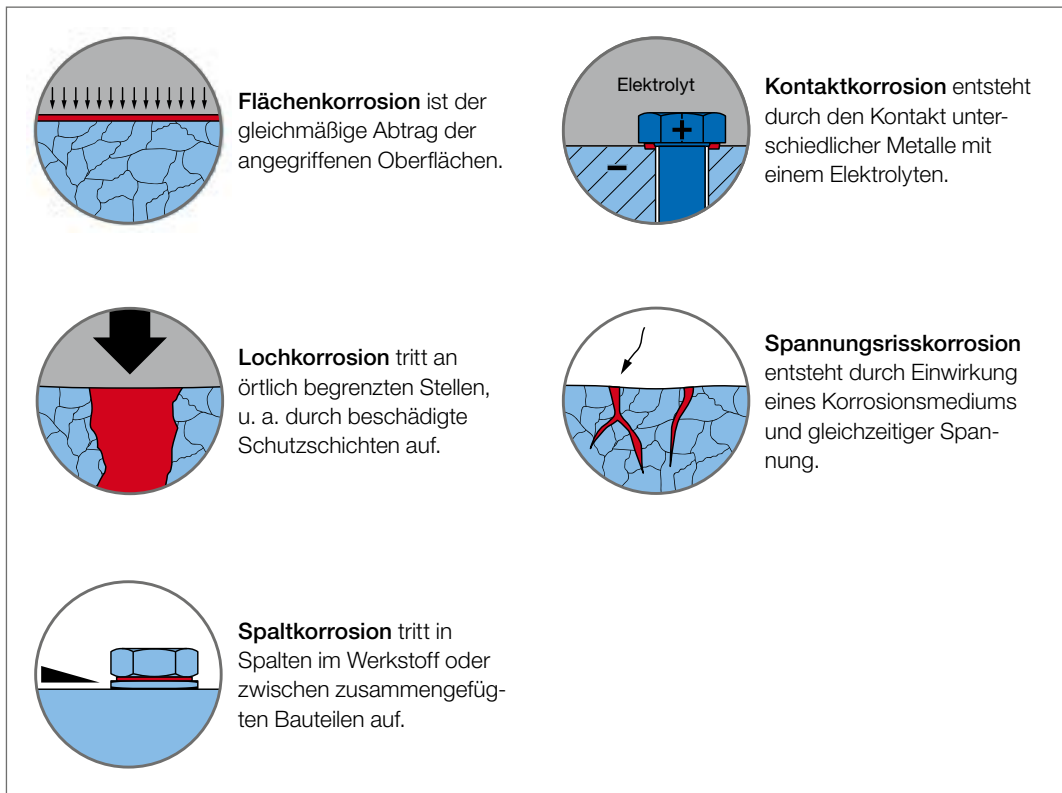


Bild 11.1 Verschiedene Korrosionsarten

Verbindungselemente sind Teile eines Korrosionssystems, das vom Anwender im Gesamtzusammenhang betrachtet werden muss.

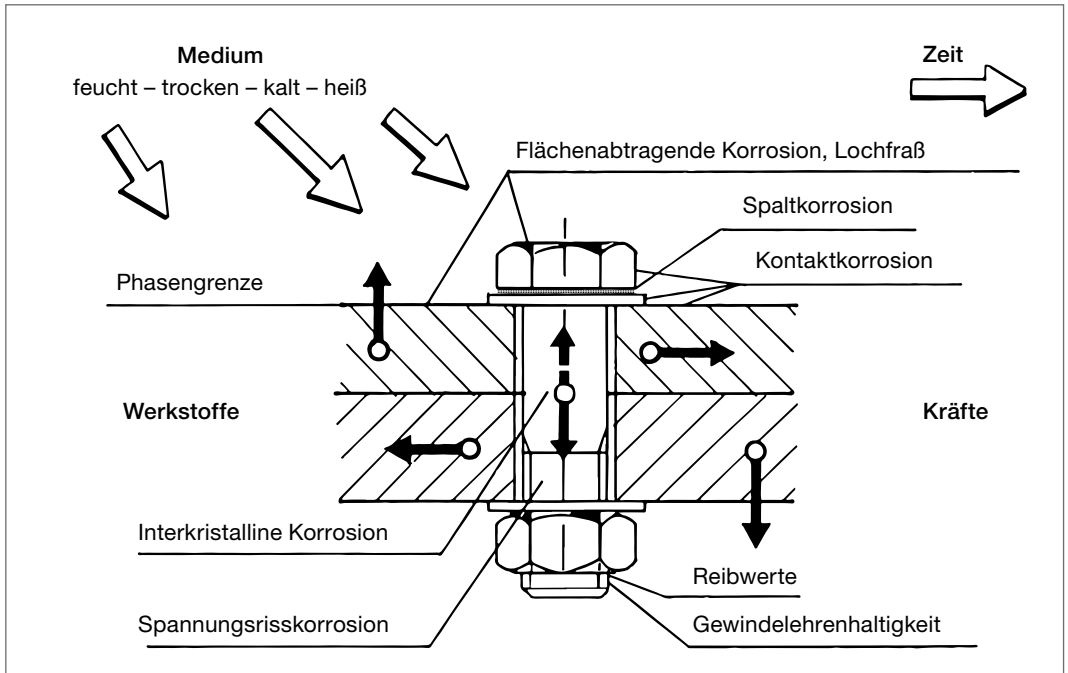


Bild 11.2 Korrosionssystem Schraubverbindung

Man unterscheidet zwischen aktivem und passivem Korrosionsschutz.

Werden Verbindungselemente aus Werkstoffen eingesetzt, die weitgehend korrosionsbeständig sind, dann ist das **aktiver Schutz**. Dazu gehören z. B. rost- und säurebeständige Stähle oder Nichteisen-Metalle.

Werden Verbindungselemente aus Stahl mit einer schützenden Oberfläche versehen, dann ist das ein **passiver Korrosionsschutz**. Darunter sind alle Arten der Oberflächenbehandlung zu verstehen.

Einige Beispiele dieser üblichen Oberflächenbeschichtungen für Verbindungselemente finden Sie auf der folgenden Seite.

Übliche Oberflächenbeschichtungen

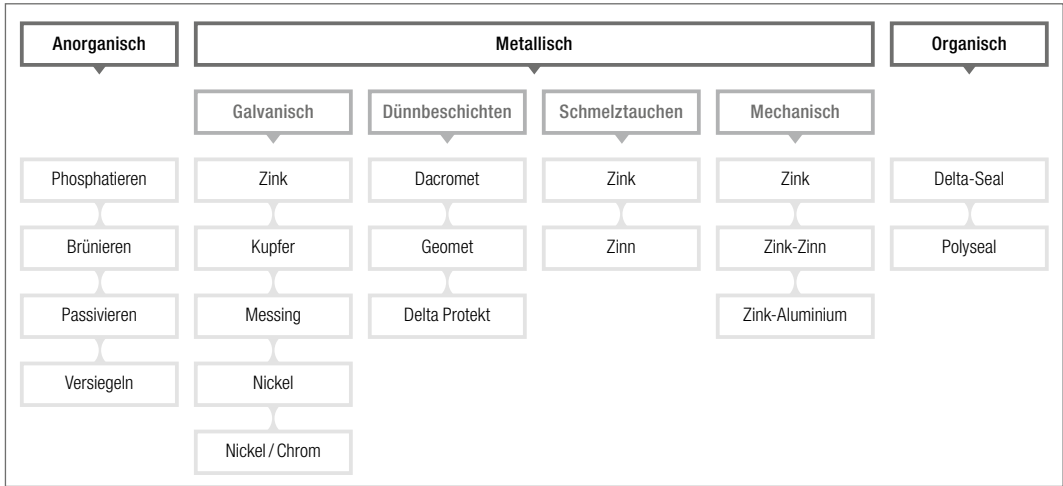


Bild 11.3 Übersicht über verschiedene Oberflächenbeschichtungen

Bei den metallischen Schutzschichten unterscheidet man:

- **anodisch** wirkende Oberflächen
wie z. B. Zink
- **kathodisch** wirkende Oberflächen
wie z. B. Nickel und Chrom

Zink findet in unterschiedlichen Beschichtungsarten sehr häufig Verwendung. Zink ist dabei unedler als der Stahl des Verbindungselementes. Wird an einem Teil die Zinkschicht beschädigt, dann wird die schadhafte Stelle durch die Reaktion des Zinks wieder geschlossen.

Das erklärt sich durch die anodische Wirkung, bei der sich Zink für das Stahlteil „opfert“ und sich vor dem Grundmetall auflöst.

Diese Reaktion nutzt man auch bei unterirdischen Rohrleitungen und bei Schiffsrümpfen aus Stahl mit Opferanoden. Auch die blanken Gewinde feuerverzinkter Muttern werden durch die Zinkauflage auf den Bolzengewinden geschützt.

Die häufigste Oberflächenbeschichtung geschieht elektrolytisch oder galvanisch. Die Bezeichnungssysteme für galvanische Oberflächen werden nach DIN EN ISO 4042 geregelt.

Oberflächen bei Verbindungselementen

Sie sind weitaus mehr als reine Korrosionsschutzschichten, sondern Systeme mit Multifunktions-eigenschaften, die mehr leisten müssen, als „nur“ vor Korrosion zu schützen!

Bei Verbindungselementen gilt dem Korrosionsschutz ohnehin eine besondere Aufmerksamkeit. Der anteilmäßig geringere Teil der Versagensfälle in der Praxis beruht auf mechanischen Belastungen; ein weitaus höherer auf Zerstörung durch Korrosion. Hierbei gilt es besonders zu bedenken, dass die Verbindungselemente eines Bauteils keine Schwachstelle darstellen sollten.

Die Auswahl einer geeigneten Korrosionsschutzschicht macht neben den Designanforderungen eine komplexe Betrachtungsweise (siehe Bild 11.4) notwendig.

Dazu gilt es auch, aktuelle Marktentwicklungen zu betrachten, um bei neuen Produkten

- a) aktuelle, zukunftsfähige,
- b) dauerhaft verfügbare und
- c) wirtschaftliche Oberflächensysteme im Markt einzuführen.

Denn: Jede Änderung von bestehenden, in die Serie eingeführten Produkten, kostet viel Geld und kann zu Engpässen und Qualitätsproblemen führen.

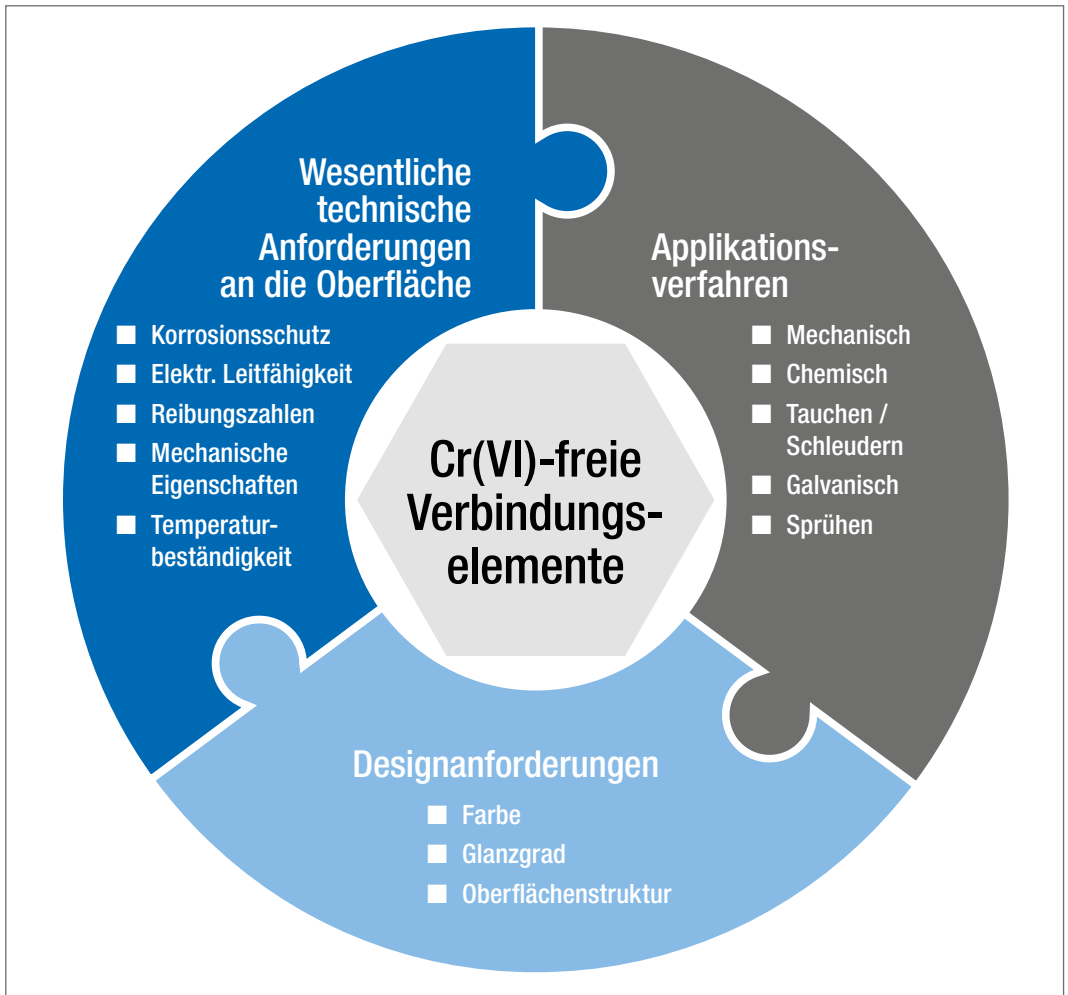


Bild 11.4 Anforderungen an Oberflächenbeschichtungssysteme

Eine dieser Marktentwicklungen ist das eingeführte Verbot von Chrom(VI) in den Schlüsselbranchen Automobil- und Elektroindustrie, dem sich die Zuliefererfirmen und Galvanotechnik gestellt haben.

In Anlehnung an den VDA und die DIN EN ISO 3613 liegt die Nachweisgrenze von Cr(VI) bei 0,1 µg/cm².

Folgender Chrom(VI)-Gehalt in Beschichtungen kann in Anlehnung an den VDA als Grundlage betrachtet werden:

Beschichtung	Ca. Gehalt in µg/cm ²
Gelb chromatiert	10
Oliv chromatiert	15
Schwarz chromatiert	16
Zinklamellenüberzüge nach DIN EN ISO 10683 FIZnyc (z. B. Dacromet)	20

Tabelle 11.1 Chrom(VI)-Gehalt in verschiedenen Beschichtungen

Neuer Chrom(VI)-freier Standard

Böllhoff bietet als Ersatz für die Gelbchromatierung einen neuen Standard, der hohen technischen Ansprüchen gerecht wird. Es handelt sich dabei bei Verbindungselementen ab der Gewindegröße M5 um eine verzinkte Oberfläche mit einer Schichtdicke von ≥ 5 µm. Darüber hinaus ist diese Oberfläche dickschichtpassiviert und auf das Reibzahlfenster µ_{ges} von 0,12 – 0,18 µm bei hochfesten Außen-gewindeteilen eingestellt.

Produktspezifische Vor- und Nachteile der unterschiedlichen Systeme stehen sich gegenüber. Teilweise sind bei den Chrom(VI)-freien Systemen wegen des fehlenden Selbstheilungseffekts Versiegelungen notwendig. Die Umstellung auf Chrom(VI)-freie Beschichtungen ist mittelfristig jedoch für alle Anwender und Branchen unausweichlich und umweltgerecht.

Unsere Empfehlungen bei der Auswahl einer Oberflächenbeschichtung basieren auf den modernen „giftfreien“ Systemen.

Eine Versiegelung ist optional vorhanden. Die definierte Oberfläche VZD bietet mit 144 h Korrosionsbeständigkeit gegenüber Rotrost einen verbesserten Schutz im Vergleich zu verzinkt, 8 µm, gelb chromatiert (A3C) und kann aufgrund der geringen Schichtdicke für diverse Schrauben und Zubehörteile genutzt werden.

Cr(VI)-haltige Referenzoberfläche, gem. DIN EN ISO 4042 (bei mind. 8 µm Schichtdicke)	Zinkkorrosion h	Grundmetallkorrosion h	Benennung
Zn, gelbchromatiert	72	120	A3C
ZnFe, schwarzchromatiert	72	360	R3R

Die Angaben der oben stehenden Tabelle sind ermittelte Richtwerte für Verbindungselemente im Trommelverfahren. Der Korrosionsschutz ist dimensions- und geometrieabhängig. Anforderungen an sonstige Funktionseigenschaften und Montagebedingungen müssen ergänzend beurteilt werden.

Tabelle 11.2 Chrom(VI)-haltige Oberflächenbeschichtungen (Auswahl)

Korrosionsbeständigkeiten von Cr(VI)-freien Oberflächen im Salzsprühnebeltest

Beschichtung	Schichtdicke µm min	DIN EN ISO 9227		Böllhoff Oberfläche
		SS Weißrost h	SS Rotrost h	
Zn (dünn-schicht-)passiviert ohne Versiegelung	5	12	36	C1
	8	24	72	C2
Zn schwarzpassiviert mit Versiegelung	8 ^②	12	72	C9
Zn dickschichtpassiviert mit / ohne Versiegelung	5	72	144	VZD Standardoberfläche ^①
Zn dickschichtpassiviert mit Versiegelung	5	96	168	V4
	8	96	240	V5
ZnFe schwarz mit Versiegelung	5	120	168	E8
	8	120	360	E9
ZnFe transparent ohne Versiegelung	5	72	168	E0
	8	72	360	E1
ZnFe transparent mit Versiegelung	5	120	240	E3
	8	120	360	E4
ZnNi transparent ohne Versiegelung	5	120	360	N0
	8	120	600	N1
ZnNi transparent mit Versiegelung	5	144	480	N3
	8	144	720	N4
ZnNi schwarzpassiviert ohne Versiegelung	8 ^①	24	360	N7
ZnNi schwarzpassiviert mit Versiegelung	5	120	480	N8
	8	120	720	N9
Zinkflake Beschichtung z. B. DIN EN ISO 10683 f Zn/nc/480h	~8	–	480	Beispiele: G1 = Geomet 321 A L0 = Delta Protekt KL 100
Zinkflake Beschichtung z. B. DIN EN ISO 10683 f Zn/nc/L/720h	~10	–	720	Beispiele: G7 = Geomet 321 B+VL L2 = Delta Protekt KL100+VH 301 GZ
Zinkflake Beschichtung z. B. DIN EN ISO 10683 f Zn/nc/TL/480h	~10	–	480	Beispiele: G9 = Geomet 500 A L8 = Delta Protekt KL105
Zinkflake Beschichtung z. B. DIN EN ISO 10683 f Zn/nc/480h schwarz	~8	120	480	Beispiele: L4 = Delta Protekt KL 100 + Delta Seal schwarz L9 = Zintek 300 + Techseal SL

Die Werte sind Richtwerte für Trommelware unmittelbar nach der Beschichtung.

^① Mit Gleitmittelzusatz bei hochfesten Schrauben (> 8.8), Reibungszahl VZD = 0,12 - 0,18 µ ges., auch mit Reibungszahl B2 = 0,09 - 0,14 µ ges. (nach VDA) möglich.

^② Zu empfehlende Mindestschichtstärke.

Tabelle 11.3 Chrom(VI)-freie Oberflächenbeschichtungen (Auswahl)

Kennzeichnung für galvanische Überzüge nach DIN ISO 4042

Überzugsmetall/-legierung		Kennbuchstabe
Kurzzeichen	Element	
Zn	Zink	A
Cd ^❶	Cadmium	B
Cu	Kupfer	C
CuZn	Kupfer-Zink	D
Ni	Nickel	E
Ni Cr ^❷	Nickel-Chrom	F
CuNi	Kupfer-Nickel	G
CuNi Cr ^❷	Kupfer-Nickel-Chrom	H
Sn	Zinn	J
CuSn	Kupfer-Zinn	K
Ag	Silber	L
CuAg	Kupfer-Silber	N
ZnNi	Zink-Nickel	P
ZnCo	Zink-Kobalt	Q
ZnFe	Zink-Eisen	R

❶ Die Verwendung von Cadmium ist aus Umweltschutzgründen teilweise eingeschränkt.

❷ Dicke der Chromschicht = 0,3 µm

Tabelle 11.4 Galvanisch aufbrachte Überzüge

Glanzgrad	Passivieren durch Chromatieren Farbe ^❶	Kennbuchstabe
matt	keine Farbe	A
matt	bläulich bis bläulich irisierend	B
matt	gelblich bis gelbbraun, irisierend	C
matt	olivgrün bis olivbraun	D
blank	keine Farbe	E
blank	bläulich bis bläulich irisierend	F
blank	gelblich schimmernd bis gelbbraun, irisierend	G
blank	olivgrün bis olivbraun	H
glänzend	keine Farbe	J
glänzend	bläulich bis bläulich irisierend	K
glänzend	gelblich schimmernd bis gelbbraun, irisierend	L
glänzend	olivgrün bis olivbraun	M
hochglänzend	keine Farbe	N
beliebig	wie B, C oder D	P
matt	braunschwarz bis schwarz	R
blank	braunschwarz bis schwarz	S
glänzend	braunschwarz bis schwarz	T
alle Glanzgrade	ohne Chromatieren	U

Passiviert werden Zink, Zinklegierungsüberzüge oder Cadmiumüberzüge. Einige Farben sind nur bei Zinküberzügen möglich.

❶ Die Normung geht noch nicht auf Cr(VI)-freie Passivierungen ein. Daher müssen diese gesondert bezeichnet und bestellt werden, z. B. als Cr(VI)-freie Dünn- oder Dickschichtpassivierungen. Siehe Übersicht Seite 115.

Tabelle 11.5 Chrom(VI)-haltige Oberflächenbeschichtungen

Schichtdicke (Gesamtschichtdicke) in µm		Kennzahl
ein Überzugsmetall	zwei Überzugsmetalle ^❶	
Keine Schichtdicke vorgeschrieben	-	0
3	-	1
5	2 + 3	2
8	3 + 5	3
10	4 + 6	9
12	4 + 8	4
15	5 + 10	5
20	8 + 12	6
25	10 + 15	7
30	12 + 18	8

❶ Die für das erste und zweite Überzugsmetall festgelegten Dicken gelten für alle Kombinationen von Überzügen mit der Ausnahme, dass Chrom die oberste Schicht ist, die immer eine Dicke von 0,3 µm hat.

Tabelle 11.5 Schichtdicke der Metallüberzüge

Beispiel für Kennzeichnung einer mit 5 µm verzinkten, bläulich matt passivierten Schraube:

A 2 B

Hinweis:

Im Jahr 2018 wurde im Zuge der Aktualisierung der Norm ein neues Bezeichnungssystem festgelegt, welches das betreffende Element am Anfang der Bezeichnung enthält. Anschließend werden die galvanische Beschichtung, die Schichtdicke, die Konversionsschicht und der Schmierzustand aufgeführt.

BEISPIEL 3 Ein Verbindungselement mit einem galvanisch aufgebrachtem Überzug (ISO 4042) aus Zink (Zn) und einer erforderlichen Schichtdicke von 12 µm, mit einer Chrom (VI)-freien irisierenden Konversionsschicht (Cn), mit einer nachträglichen Versiegelung mit oder ohne integriertes Schmiermittel (T2) wird wie folgt bezeichnet:

[Bezeichnung des Verbindungselements] – **ISO 4042/Zn12/Cn/T2**

Bild 11.5 Beispiel aus Normendatenblatt ISO 4042

Galvanisieren

Verbindungselemente werden entfettet, gebeizt und auf elektrolytischem Weg in Bädern mit dem Überzugsmetall versehen. Bei Verbindungselementen und Kleinteilen geschieht das überwiegend in Trommelanlagen. Große Verbindungselemente und sperrige Teile werden als Gestellware galvanisiert, um Beschädigungen durch das hohe Eigengewicht zu vermeiden.

Die Metallabscheidung auf die Stahloberfläche geschieht nicht gleichmäßig. Vorstehende Stellen werden stärker, Vertiefungen und Einkerbungen werden schwächer beschichtet.

Für die Schichtdickenmessung sind deshalb feste Messstellen vorgesehen, siehe Bild 11.6. Bei langen und dünnen Schrauben können beim Galvanisieren durch die ungleichmäßige Schichtdicke Probleme mit der Lehrenhaltigkeit auftreten.

In der Galvanik können die unterschiedlichsten Metalle aufgebracht werden. Die häufigsten Überzüge sind Zink, Nickel, Chrom, Kupfer, Messing und Zinn.

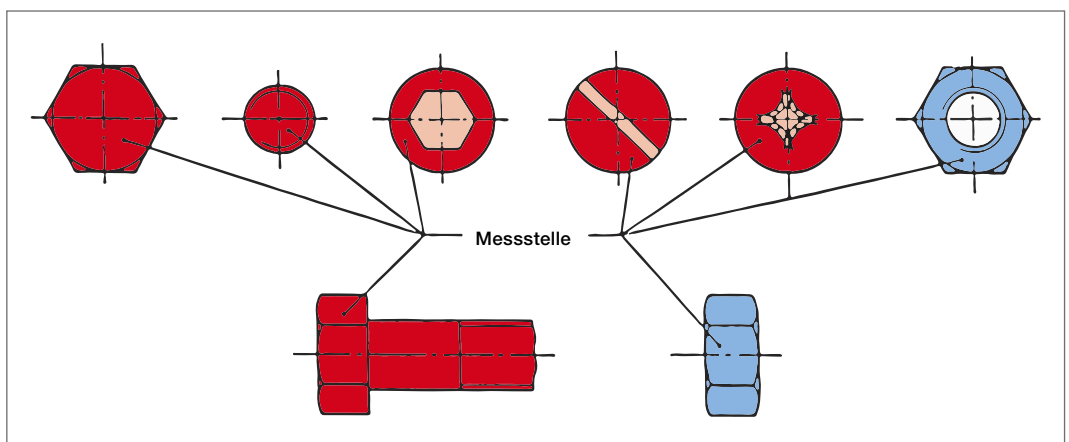


Bild 11.6 Messstellen für die örtliche Schichtdickenmessung

Zink

Zink eignet sich wegen der anodischen Wirkung gut für die galvanische Oberflächenbeschichtung.

Aufgrund des Faraday'schen Gesetzes kann durch Variation von Galvanisierzeit und Stromstärke die Menge des auf dem Verbindungselement abgedehnten Zinks und damit die Schichtdicke nach Wunsch bemessen werden.

Üblicherweise werden Verbindungselemente mit 5 – 7 µm verzinkt und passiviert.

Zinklegierungsüberzüge

Dieses Verfahren zeichnet sich durch Legierungsüberzüge auf Basis von Zink mit anderen Elementen aus. Anschließend kann transparent oder schwarz passiviert werden.

ZnFe enthält 0,3 % bis 1 % Eisen. ZnNi 8 % bis 15 % Nickel.

Aufgrund geringer Korrosionsprodukte der Legierungsschicht gewinnen Zinklegierungsschichten verstärkt an Bedeutung.

Nickel und Chrom

Im Gegensatz zu den unedlen Metallen wie Zink schützen Nickel und Chrom durch ihre harte Schicht. Diese Metalle sind edler als Stahl. Wenn die Oberfläche verletzt wird, unterrostet das Überzugsmetall und löst sich.

Beide Metalle werden zu dekorativen Zwecken eingesetzt.

Die Chromoberfläche ist besonders hart, widerstandsfähig gegen Abrieb und läuft nicht an.

Chromoberflächen werden üblicherweise nicht direkt auf Stahloberflächen aufgebracht. Das Stahlteil wird verkupfert, anschließend vernickelt und dann erst verchromt.

Die galvanische Oberflächenbeschichtung mit Chrom wird üblicherweise als Gestellware vorgenommen.

Kupfer

Kupferoberflächen dienen als Zwischenschichten für Nickel- und Chromoberflächen und haben außerdem eine hohe elektrische Leitfähigkeit.

Messing

Verbindungselemente werden überwiegend für dekorative Zwecke galvanisch vermessingt.

Zinn

Teile mit einer Zinnoberfläche lassen sich besser verlöten.



Bild 11.7 Trommelgalvanik

Nachbehandlung galvanisch aufgebrachtener Zinküberzüge

Bei den galvanisch abgeschiedenen Überzügen ist eine Nachbehandlung zur Verbesserung der Korrosionsbeständigkeit üblich.

Passivierung

Diese durch Nachtauchlösung entstandene Konversionsschicht ist technisch vorgesehen und erhöht die Korrosionsbeständigkeit.

Passivierungen decken die galvanische Schutzschicht komplett ab. Sie werden chemisch aufgebracht. Damit werden auch die Poren der Zinkoberfläche geschlossen.

Dünnschichtpassivierungen sind Cr(VI)-frei erhältlich. Diese Standardnachbehandlung erfolgt auf Zn-, ZnFe- und ZnNi-Basis. Mehr Sicherheit gegen Korrosionsanfälligkeit der Zinkschicht bieten

Dickschichtpassivierungen. Auch diese sind auf Cr(III)-wertiger Basis und werden damit der Gesetzesanforderung nach Cr(VI)-Freiheit gerecht. Passivierungsschichten sind blau-silbrig-regenbogenfarbig irisierend oder können zusätzlich eingefärbt sein.

Chromatierung ¹. Cr(VI)-haltige Passivierung. Gelbliche bis schwarze Farbe bei steigendem Cr(VI)-Gehalt. Gelb chromatierte Oberflächen bieten einen guten Korrosionsschutz, allerdings sind Chromatierungen nur bis ca. 70 °C beständig.

Eine Ablösung Chrom(VI)-haltiger Oberflächen durch Chrom(VI)-freie passivierte Oberflächen ist je nach Branche entweder bereits erfolgt oder wird aktuell vollzogen. Voraussichtlich werden Chrom(VI)-haltige Oberflächen in der Zukunft in allen Branchen durch Chrom(VI)-freie ersetzt.

Topcoats

In der Regel filmbildende zusätzliche Schichten zur Erhöhung des Korrosionsschutzes oder für alternative Farbgebung.

Versiegelungen

Meist silikathaltige Substanzen zur Erhöhung des Korrosionsschutzes, die mit der Passivierung vernetzt werden. Die Versiegelungen festigen die Optik der Passivierungsschichten und können eine Reibwerteeinstellung übernehmen.

- 1 Die in der Vergangenheit gängigste Methode der Chromatierung ist auf Grund von EU-Richtlinien zum Schutz von Mensch und Umwelt in bestimmten Branchen nicht mehr zulässig. Daher ist auch für Verbindungselemente die Auswahl einer alternativen Behandlung oder eines Beschichtungssystems nötig. Hier bieten sich Cr(VI)-freie Passivierungen mit oder ohne Versiegelung an.

Möglicher Oberflächenaufbau

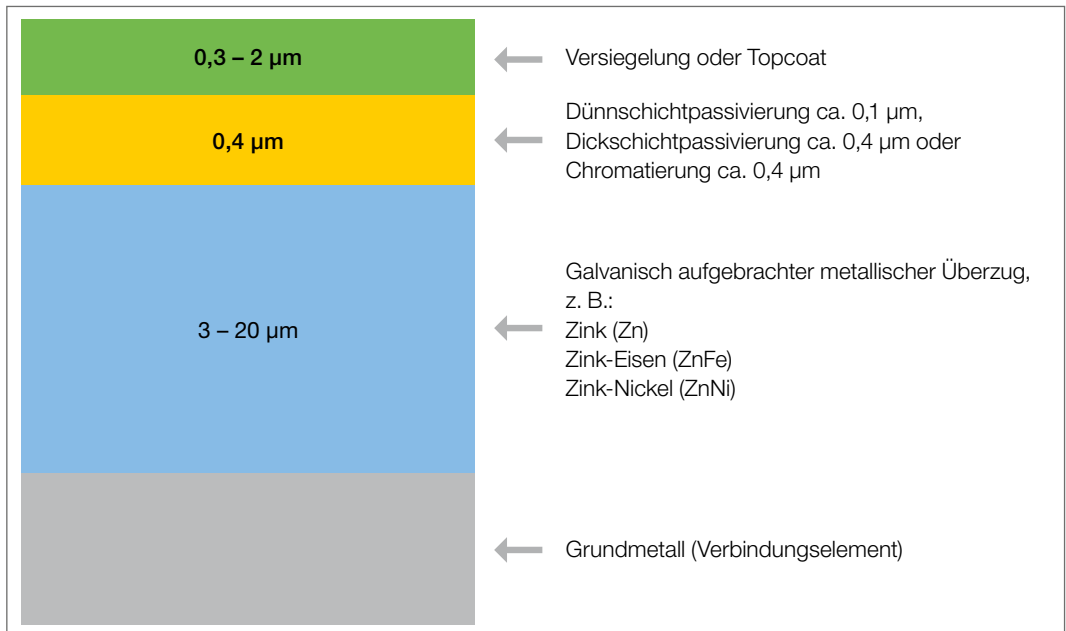


Bild 11.8 Schematische Darstellung eines galvanischen Oberflächenaufbaus

Wasserstoffversprödung

Zu diesem komplizierten technischen Vorgang haben sich im Normenausschuss Mechanische Verbindungselemente (FMV) Anwender und Hersteller auf wichtige Formulierungen geeinigt, die in die DIN EN ISO 4042 eingegangen sind:

Wasserstoffinduzierter Sprödbruch

„... ist das Versagen von Bauteilen durch das Zusammenwirken von atomar aufgenommenem Wasserstoff und Zugeigenspannungen bzw. Zuglastspannungen ...“.

Zur Gefahr der Wasserstoffversprödung

Bei den heute bekannten Verfahren zur Abscheidung von Metallüberzügen aus wässrigen

Lösungen ist für Schrauben aus Stählen mit den nach DIN ISO 898 Teil 1 festgelegten Mindest-Legierungsbestandteilen, bzw. Mindest-Anlastemperaturen ein wasserstoffinduzierter, verzögerter Sprödbruch nicht mit Sicherheit auszuschließen. Dies gilt für Teile aus Stählen mit Zugfestigkeiten $R_m \geq 1000 \text{ N/mm}^2$, entsprechend 300 HV. Er kann durch die Auswahl eines für das Aufbringen von galvanischem Oberflächenschutz besonders geeigneten Werkstoffes, unter Anwendung moderner Oberflächenbehandlungsverfahren, einschließlich geeigneter Nachbehandlungen im Regelfall vermieden werden.

Bei Zubehörteilen mit federnden Eigenschaften und mit Härten größer 400 HV ist eine erhöhte Sprödbruchgefahr gegeben. In Bezug auf Werkstoffauswahl, Wärme- und Oberflächenbehandlung sind daher besondere Maßnahmen erforderlich.

Bei anderen mechanischen Verbindungselementen ist im Einzelfall zu prüfen, wann eine Wasserstoffversprödung auftreten kann. Sollte eine entsprechende Gefahr erkennbar sein, sind geeignete Maßnahmen zu treffen, um eine Wasserstoffversprödung zu vermeiden.

Wie kommt der Wasserstoff in den Stahl?

Der schädigende Wasserstoff kann vom Stahl aufgenommen werden beim Beizen, beim Galvanisieren und bei Korrosion.

Die Empfindlichkeit gegen Wasserstoffversprödung steigt mit zunehmender Festigkeit des Stahls. Die Sprödbruchanfälligkeit kann durch die Wahl eines ausreichend duktilen Werkstoffes mit Mindest-Anlasstemperatur von + 500 °C und geeigneten Oberflächenbehandlungsverfahren, einschließlich geeigneter Nachbehandlung, weitgehend vermieden werden. (Unter geeigneter Nachbehandlung ist ein Erwärmen auf + 190 bis + 200 °C mit Haltezeiten von zwei bis vier Stunden zu verstehen.)

Dies bedeutet, dass Schrauben nicht gefahrlos nachträglich galvanisch oberflächenbehandelt werden können, die hinsichtlich Werkstoff und Anlasstemperatur nur die für die FestigkeitsklassEN 10.9 und 12.9 in DIN ISO 898 Teil 1 gegebenen Mindestanforderungen erfüllen.

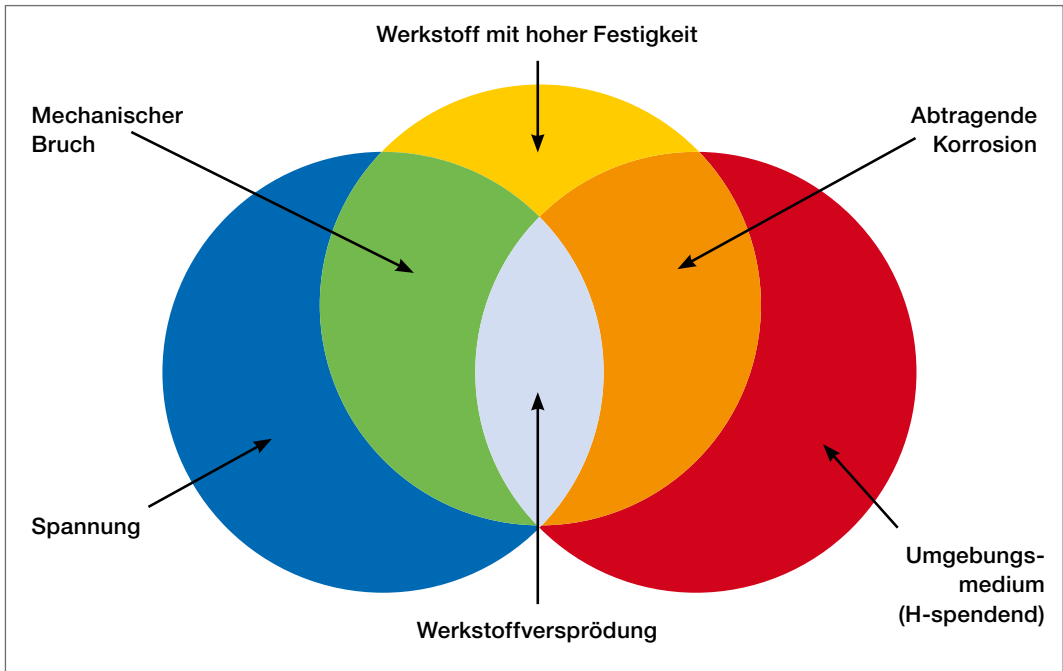


Bild 11.9 Zusammenspiel der Voraussetzungen für einen wasserstoffinduzierten, verzögerten Sprödbruch.*

* K. Kayser: Kritische Betrachtung zum Korrosionsschutz an Schrauben, VDI-Z Bd. 126 Nr. 20

Zinklamellenüberzüge

Nach dem Reinigen und Entfetten der Oberfläche werden die Teile in eine wässrige oder lösemittelhaltige, dispersive Lösung mit einer Mischung aus Zink- und Aluminiumlamellen getaucht.

Anschließend werden die Teile geschleudert, um das überflüssige Überzugsmetall zu entfernen.

Bei großen und sperrigen Teilen wird die Oberfläche aufgespritzt.

Danach wird die aufgetragene Schicht bei 180 °C bzw. 300 °C eingebrannt.

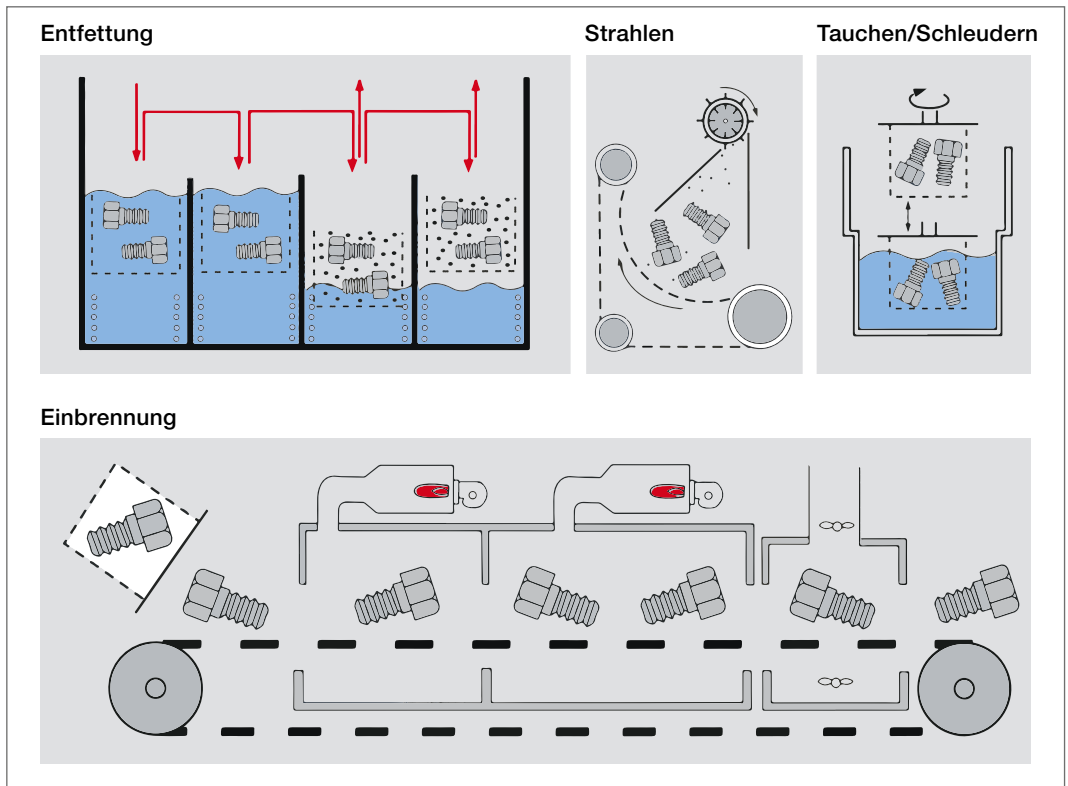


Bild 11.10 Beschichtungsablauf beim Aufbringen eines Zinklamellenüberzugs

Nach einem Zyklus beträgt die Schichtdicke ca. 4 µm. Es werden mindestens zwei Schichten aufgetragen, so dass die Auflage 8-10 µm beträgt und daher für Schrauben mit einem kleinen Gewindedurchmesser nicht geeignet ist.

Die mit einer Dispersionsschicht behandelten Teile sind matt grau und haben einen hohen Korrosionsschutz, der erheblich über dem für galvanisch verzinkte Teile liegt.

Versiegelungen oder **Topcoats** können nachträglich aufgetragen werden. Schmiermittel können in eine Schicht integriert werden oder als abschließende Nachbehandlung erfolgen. Reibbeiwerte können relativ genau eingestellt werden.

Die Gefahr einer **Wasserstoffversprödung** wird in diesem Beschichtungsablauf ausgeschlossen.

Zinklamellenüberzüge sind auch unter den Namen Dünnschichtungen oder **Dispensionsüberzüge** geläufig und u. a. unter den Marken Dacromet, Geomet und Delta-Protekt bekannt.

DIN EN ISO 10683 beschreibt diese Überzüge als nichtelektrolytisch aufgebraute **Zinklamellenüberzüge**.

Die Normbezeichnung ist **flZn**. Zusätzlich werden die Stundenzeiten für die erforderliche Dauer im Salzsprühnebeltest angegeben. Nach dieser Prüfdauer dürfen die Teile keinen Rotrost zeigen.

flZn / 480 h

Zinklamellenüberzug mit einer Prüfdauer von 480 h

flZnL / nc / 480 h

Zinklamellenüberzug mit einer Prüfdauer von 480 h und einem integrierten Schmierstoff, ohne Cr(VI)

flZn / nc / 720 h / L

Zinklamellenüberzug ohne Cr(VI) mit einer Prüfdauer von 720 h und einem nachträglich aufgetragenen Schmierstoff

flZn / nc / 480 h

Zinklamellenüberzug mit einer Prüfdauer von 480 h ohne Cr(VI)

flZn / nc / Tn / L / 720 h / C

Zinklamellenüberzug mit einer Prüfdauer von 720 h ohne Cr(VI), mit einer Deckschicht ohne Schmierstoff, mit zusätzlichem Schmierstoff mit einer festgelegten Reibungszahl

Durch die Angabe der Prüfdauer ergibt sich die Schichtdicke des Überzuges. Bei einer Beständigkeit von 480 Stunden im Salzsprühnebeltest ist eine Schichtdicke (flZn) von 5 µm mit Cr(VI), bzw. von 8 µm ohne Cr(VI) erforderlich.

Bei nachträglicher Beschichtung von Lagerware sind die Gewindetoleranzen und deren möglichen Schichtdicken zu beachten (siehe Kap. 6, S. 68).

Dünnlackbeschichtungen (Topcoat)

Deckbeschichtung aus einer organischen Verbindung, die in flüssigem Zustand aufgebracht wird. Die Verbindungselemente werden getaucht oder der Topcoat aufgespritzt und anschließend auf 200 °C erwärmt. Dabei härtet die Lackschicht aus.

Diese Schutzschicht kann in vielen Farben auf eine andere Oberflächenbeschichtung aufgetragen werden. In diese Schutzschicht können Schmierstoffe eingearbeitet werden, die für die Verschraubung günstige, konstante Reibungszahlen erbringen.

Diese Verfahren sind u. a. unter den Marken „Delta-Seal“ oder „Polyseal“ bekannt.

Feuerverzinken

Das thermische Verzinken (tZn) erfolgt in einem Bad aus flüssigem Zink mit einer Temperatur von ca. 500 °C. Durch die hohe Temperatur reagieren Zink und Eisen zu einer Schicht aus einer Zink/Eisenlegierung. Diese Schicht wird bei der Verarbeitung nicht beschädigt.

Nach dem Tauchen werden die Verbindungselemente durch Schleudern vom überflüssigen Zink befreit. Die Bolzengewinde dürfen nicht nachgeschnitten werden.

DIN EN ISO 10684 schreibt für feuerverzinkte Teile eine Schichtdicke von mindestens 40 µm vor. Diese dicke Schutzschicht und die darunter liegende Zink/Eisenschicht sorgen für einen sehr hohen Korrosionsschutz.

Die starke Auflage muss bei der Gewindegestaltung berücksichtigt werden, wenn die Gewinde im verzinkten Zustand schraubbar bleiben sollen. Das Schraubengewinde muss also vor dem Verzinken mit einem stärkeren Untermaß gefertigt werden.

Dadurch reduziert sich aber der Spannungsquerschnitt, und die Flankenüberdeckung ist vermindert. Deshalb gelten für feuerverzinkte Schrauben andere Prüfkräfte als für Teile mit galvanischen Beschichtungen (DIN EN ISO 10684).

Aus den vorgenannten Gründen ist es auch nicht sinnvoll, Schrauben unter M 8 feuerverzinken. Mutterngewinde werden erst nach dem Feuerverzinken geschnitten, sind also nicht verzinkt. Durch den Zink auf dem Bolzengewinde wird auch das Mutterngewinde geschützt.

Für feuerverzinkte HV-Verbindungen ist DIN EN 14399 (bis September 2007 ebenfalls DIN 18800) zu beachten.

Phosphatieren oder Bondern

Der dunkelgraue bis schwarze Oberflächenschutz entsteht durch das Tauchen in eine Zinkphosphat-Lösung. Auf dieser Phosphatschicht haften Farbanstriche und Schmiermittel gut. Häufig wird auch phosphatiert, um bei einer Kaltumformung bessere Gleiteigenschaften zu bekommen.

Phosphatschichten bieten nur einen geringen Korrosionsschutz.

Brünieren

Blanke Eisenwerkstoffe werden bei ca 140 °C in eine oxidierende Lösung getaucht. Es entsteht auf der Oberfläche eine bräunlich-schwarze Eisenoxidschicht. Die brünierten Teile werden anschließend geölt oder gewachst.

Der Korrosionsschutz ist sehr gering.

Schwärzen

Hochfeste Schrauben werden bei der Wärmebehandlung nach dem Anlassen in einer Öl-emulsion abgekühlt. Das Öl brennt sich in die Oberfläche ein und gibt dem Teil eine schwarze Färbung.

Diese Behandlung bietet einen leichten Korrosionsschutz für die Lagerung und den Transport.

Mechanische Überzüge

Durch Bewegung in einer Trommel werden Metallpartikel durch eine Glaskugelmischung auf die Verbindungselemente aufgedrückt (plattiert). Die Mischung der Glaskugeln hängt von der Größe und dem Profil der Teile ab.

Dieses Verfahren ist auch unter den Begriffen „Mechanical Plating“ oder „3M-Verzinken“ bekannt.

Chemisch Vernickeln

Die Beschichtung erfolgt stromlos in einer Nickel-salzlösung. Hierbei werden auch an Kanten und in Bohrungen, auch im Mikrobereich, sehr gleichmäßige Schichtdicken erzielt.

Auch für kleine und komplizierte Teile ist diese Beschichtung daher geeignet. Durch das Überzugsmetall Nickel ist die Oberflächenhärte hoch.

Lebensdauer in Jahren bis zur Rotrostbildung in den Korrosionsatmosphären				Oberflächenschutz	Schichtdicke µm
Landklima	Stadtklima	Industrieklima	Meerklima		
03 – 08	1 – 04	unter 1	1 – 3		5 – 8
05 – 12	2 – 06	1 – 2	1 – 4	verzinkt, passiviert	12
10 – 20	5 – 10	2 – 3	2 – 5		20
05 – 13	1 – 07	1	1 – 5	verzinkt, gelb chromatiert / dickschichtpassiviert	5 – 8
08 – 20	3 – 10	1 – 3	1 – 7		12
17 – 34	8 – 17	3 – 5	3 – 8		20
50	25	5	7	feuerverzinkt (ab M 8)	60

Tabelle 11.6 Richtwerte über die Lebensdauer verschiedener Oberflächenbehandlungen

ECOTECH = ECONOMIC TECHNICAL Engineering

Wie lassen sich Kostenersparnisse durch optimierte Verbindungstechnik erreichen? Die Herstellkosten eines Produkts werden bereits zu einem Großteil in der Konstruktionsphase einer Neuentwicklung festgelegt. Wie wirtschaftlich die Verbindungstechnik ist, hängt nur unwesentlich vom Preis der Verbindungselemente ab.

Viel bedeutender sind die Prozesskosten für die Vorbereitung und Montage der zu verbindenden Komponenten. Wesentliche Kostentreiber im Prozess sind: Konstruktion, Beschaffung, Qualitätsicherung, Logistik, Lagerhaltung, Montagevorbereitung, Endmontage und Kapitalbindung. Demgegenüber ist der Teilepreis des Verbindungselementes mit ca. 20 % vergleichsweise gering.

Je früher die ECOTECH Spezialisten einbezogen werden, desto positiver ist der Einfluss auf die gesamte Wertschöpfungskette.

20 % Teilepreis stehen
80 % Systemkosten gegenüber:
Optimierung lohnt sich hier!

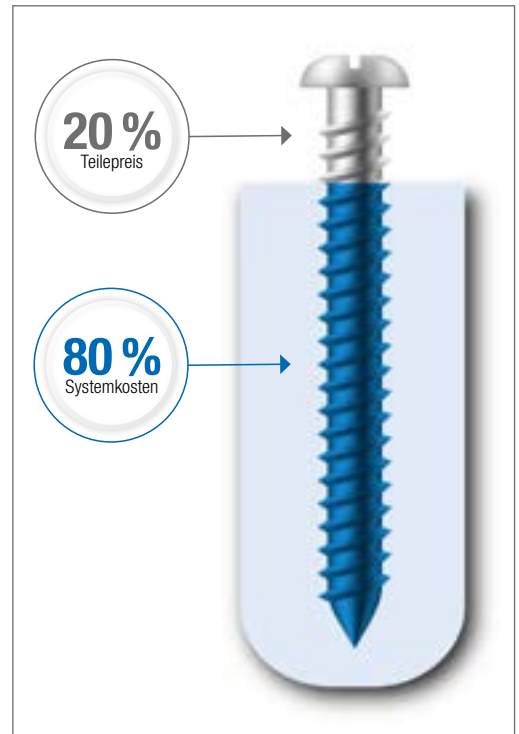


Bild 12.2 Die wahren Kosten stecken im System

Unsere Leistungen für Sie im Überblick



Bild 12.3 Der Kreislauf unserer Dienstleistungen

Rundum-Service für Sie

Sie haben ein fertiges Produkt oder Sie stecken noch mitten in der Entwicklung? Wir werden Ihr Produkt und die Verbindungstechnik darin bis ins letzte Detail analysieren. Der Anspruch von ECOTECH dabei: Optimierungspotenziale aufzeigen.

Dabei greifen unsere Leistungsmodulare perfekt ineinander: Angefangen von der konkreten technischen Lösung über Forschung und Entwicklung bis hin zur serienbegleitenden Optimierung und dem Wissenstransfer – jeder dieser Bausteine wird im Rahmen des gemeinsamen Projekts individuell auf Ihren Bedarf zugeschnitten und rundet unser 360°-Dienstleistungsangebot perfekt ab.

Suchregister

A

Abnahmeprüfzeugnis	40
AD-Merkblatt	40
ALtracs®	87
AMTEC® Schrauben	88
Anlassen	63
Anodisch	112
Ansatzkuppe	46
Antriebsmerkmal	78
Anziehdrehmoment	75
Artikelattribute	8
Austenitische Stähle	31
Außenantrieb	9
Außendurchmesser	45

B

Bemaßung	44
Betriebskraft	13
Bezeichnungssystem	29
Biegeteile	62
Blechschraben	10
Bohrung	65
Bondern	125
Bohrschrauben	85
Bohrspitze	85
Bruchdehnung	38
Brinell	39
Brünieren	125

C

Cam-Out-Effekt	78
CEN	43
Chemische Schraubensicherung	98
Chemisch vernickeln	126
Chrom(VI)	114
Chromoxid	29
Chrom-Nickel-Stahl	30
Cross Threading	9

D

Dacromet	124
Dehngrenze	38
Delta-Protekt	124
Delta-PT-Schraube	90
Delta-Seal	125
Dichtungstechnik	104
Dickschichtpassivierung	120
DIN	42
Direktverschraubung	10
Drehen	59
Drehmomentgesteuerte Montage	76
Drehwinkelgesteuerte Montage	76
Druck-Spreiz-Prinzip	109
Drucktragende Bauteile	54

Druckzapfen	46
Duplexstahl	30
Dünnblechschraube	10
Dünnlackbeschichtung	125
Dynamische Dichtstelle	104

E

ECOTECH	127
Einfädelspitze	9
Einführungszapfen	46
Einsatzhärten	63
EN	43

F

Faserverlauf	61
Ferritische Stähle	30
Festigkeitsklassen	22
Feuerverzinken	125
Findehilfe	79
Finite-Elemente-Methode	15
Flankendurchmesser	64
Flankenwinkel	64
Fließpressen	57
Freistich	46
Funktionsnorm	44
Fügemoment	12

G

Galvanisieren	117
Galvanische Überzüge	116
Geomet	124
Gewinde	64
Gewindearten	70
Gewindeherstellung	60
Gewindeprofil	60
Gewindereibungsmoment	73
Gewindesteigung	64
Gewindeformende Schraube	84
Gewinde, gefurcht	87
Glühen	63
Grundnorm	44
Gurtmagazin	80

H

Härten	63
Härteklasse	28
Härteprüfung	39
HELICOIL®	21
Herstellung	56

Suchregister

I		Nennmaße	65
Innenantrieb	78	Nichteisenmetalle	36
Innensechsrund	78	Nichtrostende Stähle	29
ISO	42	Nietdornexpander	109
K		Normen	42
Kaltumformung	56	Nulllinie	65
Kaltzähe Stähle	34	O	
Kathodisch	112	Oberflächenbeschichtung	112
Kegelkuppe	46	P	
Kegelstumpf	46	Panzerrohrgewinde	70
Kennzeichnung	25	Phosphatieren	125
Kernansatz	48	Plasbolt	101
Kerndurchmesser	64	Precote	100
Klebende Sicherung	98	Produktnorm	44
Klemmende Vorbeschichtung	107	Prüfkräfte	26
Kolbendichtung	104	Prüfbescheinigung	54
Kombi-Elemente	80	PT-Schraube	90
Kombischraube	47	R	
Konisches Gewinde	108	Reduzieren	57
Konstruktionsprinzip	13	Reibung	19
Kontaktkorrosion	110	Ringschneide	46
Kopfreibungsmoment	73	Ringschraube	11
Kopfschmieden	58	RIPP LOCK® Sicherung	97
Korrosionsart	110	Rockwell	39
Korrosionsschutz	110	Rohrgewinde	70
Korrosionssystem	111	Rundgewinde	70
Kugelexpander	109	S	
L		Sägengewinde	70
Längenänderung	16	Schabanut	47
Linksgewinde	70	Schichtdicke	114
Linsenkuppe	47	Schlüsselweite	45
Lochkorrosion	110	Schmiermittel	124
M		Schraubensicherung	93
Martensitische Stähle	29	Schraubfall	74
Mechanical Plating	126	Schraubsystem	74
Mechanische Eigenschaften	37	Schwärzen	126
Mechanische Überzüge	126	Schweißbarkeit	41
Messstellen	117	Scotch Grip	100
Metrisches Gewinde	70	screwlock	93
Mikroverkapselte Vorbeschichtung	107	SEALING-PLUG-Dichtstopfen	109
Mikroverkapselung	98	Setzverluste	74
Montage mit Gradientensteuerung	77	Sicherungsloch	47
Montageerleichterung	79	Spaltkorrosion	110
Montagekraft	13	Spanabhebende Fertigung	59
Montagevorspannkraft	14	Spießpassung	65
Mutternhöhe	49	Spannungsrissskorrosion	110
N		Spitze	46
Naviscrew	9	Splintloch	46
Nenndurchmesser	64	Stangendichtung	104
		Stanzteil	62

Suchregister

Statische Dichtstelle	104	Verzinken	125
Stauchen	57	3M-Verzinken	126
Streckgrenze	38	Verzinnen	119
		Vickers	39
		Vorspannkraft	14
T			
Telleransatz	45		
Toleranzen	65		
Toleranzgröße	66		
Toleranzlage	66		
Toleranzfelder	66		
Torsionsfreie Montage	77		
Trapezgewinde	70		
TRD	40		
U			
Umformstufen	57		
Untermaß	67		
Überdrehmoment	12		
Überzugsmetalle	116		
V			
VDI 2230	15		
Verbohrungsdurchmesser	12		
Vergüten	63		
Verkupfern	118		
Vermessingen	119		
Vernickeln	118		
Verschlusschraube	108		
Versiegelung	120		
Versprödung	121		
		W	
		Warmfeste Stähle	34
		Warmumformung	58
		Wasserstoffversprödung	121
		Wärmebehandlung	62
		Welle	65
		Wellendichtung	104
		Werksbescheinigung	40
		Werkstoffe	22
		Werkzeugnis	40
		Werkzeugangriff	78
		Whitworth-Rohrgewinde	108
		Wirkmoment	73
		Z	
		Zinklamellenüberzüge	123
		Zinkschicht	112
		Zollmaße	72
		Zug-Spreiz-Prinzip	109
		Zugexpander mit Innengewinde	109
		Zugfestigkeit	38
		Zugversuch	37

Impressum

Böllhoff GmbH, Archimedesstraße 1 – 4, 33649 Bielefeld
 Telefon +49 521 4482-01, Fax +49 521 4493-64, www.boellhoff.com, message@boellhoff.com

Sitz der Gesellschaft: Bielefeld
 Handelsregister: Amtsgericht Bielefeld HRB 30972
 UST-ID-NR: DE 126 937 416
 Geschäftsführung: Wilhelm A. Böllhoff, Marcel Rupprecht

Rechtshinweis

Die technischen Angaben aus DIN- und DIN ISO-Normen entsprechen dem Stand von 2022. Auszüge aus diesen Normen sind wiedergegeben mit Erlaubnis des DIN Deutschen Instituts für Normung e. V. Maßgebend für die Anwendung sind die jeweils neuesten Ausgaben der Normen, erhältlich im Beuth-Verlag GmbH, Burggrafenstraße 6, 10787 Berlin.

Technische Änderungen vorbehalten.

Für Nachteile, die sich aus Druckfehlern in unserer Zusammenfassung ergeben, übernehmen wir keine Haftung. Trotz gewissenhafter Ermittlung und Überprüfung kann für die Richtigkeit keine Gewähr gegeben werden. Nachdruck auch auszugsweise, Wiedergabe nur mit schriftlicher Genehmigung der Firma Böllhoff GmbH, Archimedesstraße 1 – 4, 33649 Bielefeld.

© Böllhoff GmbH, Bielefeld

BÖLLHOFF

Passion for
successful
joining.



Böllhoff GmbH
Archimedesstraße 1 – 4 · 33649 Bielefeld
Telefon +49 521 4482-03
www.boellhoff.com
E-Mail: message@boellhoff.com