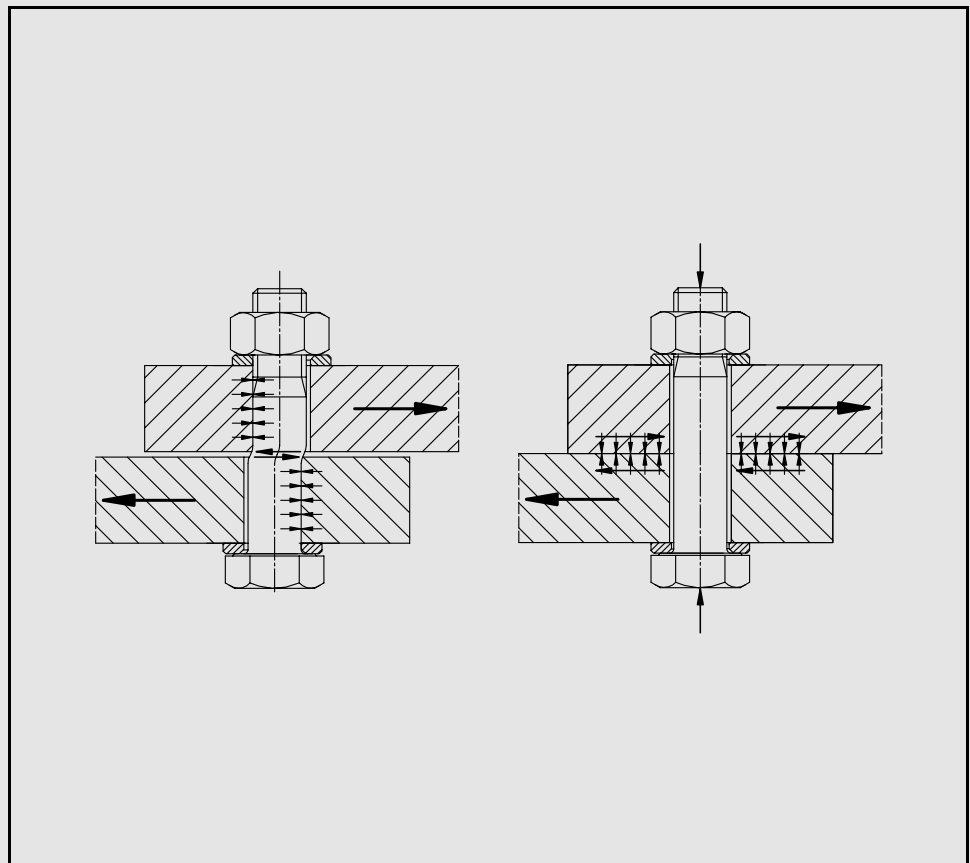


Merkblatt 322

Anwendungen von Schrauben im Stahlbau



Das Stahl-Informations-Zentrum ist eine Gemeinschaftsorganisation der deutschen Stahlindustrie. Markt- und anwendungsorientiert werden firmenneutrale Informationen über Verarbeitung und Einsatz des Werkstoffs Stahl bereitgestellt.

Verschiedene **Schriftenreihen** bieten ein breites Spektrum praxisnaher Informationen für Planer, Konstrukteure und Verarbeiter von Stahl:

„**Merkblätter**“ sind mit Fotos und technischen Zeichnungen illustrierte Schriften, die konzentrierte praxisorientierte Informationen über die Anwendungsvielfalt sowie die Bandbreite der Be- und Verarbeitungsverfahren von Stahl vermitteln. Sie finden auch Anwendung in Ausbildung und Lehre.

„**Charakteristische Merkmale**“ berichten über Produkteigenschaften und technische Lieferbedingungen von oberflächenveredeltem Stahlblech und geben Hinweise auf Regelwerke.

„**Stahl und Form**“ hat ästhetisch, gestalterisch und funktionell vorbildliche Beispiele von Stahlanwendungen in der Architektur zum Inhalt. Es werden Bauwerke mit Fotos, Zeichnungen und Skizzen signifikanter Details ausführlich dargestellt.

„**Dokumentationen**“ beschreiben die Leistungsfähigkeit von Stahl aus technischer, ökologischer und ökonomischer Sicht in verschiedenen Anwendungsfeldern.

Vortragsveranstaltungen informieren über Stahlanwendungen und bieten ein Forum für Erfahrungsberichte aus der Praxis. Die Themen reichen von Konstruktion über Anwendung und Verarbeitung bis hin zur Ökologie.

Messen und Ausstellungen dienen der Präsentation spezifischer Leistungsmerkmale von Stahl. Neue Werkstoffentwicklungen sowie innovative, zukunftsweisende Stahlanwendungen werden exemplarisch dargestellt.

Die **Internet-Präsentation** unter der Adresse www.stahl-info.de informiert über aktuelle Themen, Veranstaltungen sowie neue Publikationen. Einige Publikationen sind bereits als pdf-Files abrufbar. Online besteht zudem die Möglichkeit zur Kommunikation.

Marketing-Aktivitäten werden zur Förderung des Stahleinsatzes in verschiedenen Märkten durchgeführt, beispielsweise im Automobilbau sowie im Wohnungs- und Wirtschaftsbau. Im Abstand von drei Jahren wird der Stahlinnovationspreis verliehen. Die Aus- und Weiterbildung wird mit speziellen Aktionen, wie dem Europäischen Stahlbau-Lehrprogramm ESDEP (European Steel Design Education Programme), unterstützt.

Bei **Anfragen** werden als individueller Service Kontakte zu Instituten, Fachverbänden und Spezialisten aus Forschung und Industrie vermittelt.

Die **Pressearbeit** richtet sich an Fach-, Tages- und Wirtschaftsmedien und informiert kontinuierlich über neue Werkstoffentwicklungen und -anwendungen.

Impressum

Merkblatt 322

„Anwendungen von Schrauben im Stahlbau“

1. Auflage 2001

ISSN 0175-2006

Herausgeber:

Stahl-Informations-Zentrum

Postfach 10 48 42, 40039 Düsseldorf

Redaktionelle Bearbeitung:

Dr. Ing. Klaus Weynand,

Dipl.-Ing. Sebastian Stark

PSP- Prof. Sedlacek & Partner

Technologien im Bauwesen GmbH, Aachen

Die dieser Veröffentlichung zugrunde liegenden Informationen wurden mit größter Sorgfalt recherchiert und redaktionell bearbeitet. Eine Haftung ist jedoch ausgeschlossen.

Ein Nachdruck - auch auszugsweise - ist nur mit schriftlicher Genehmigung des Herausgebers und bei deutlicher Quellenangabe gestattet.

Inhalt

Impressum	2
Einleitung	3
Wegweiser durch das Merkblatt	3
Bezeichnungen	4
1 Schrauben, Muttern, Scheiben und deren Anwendungen	5
2 Abmessungen der Schrauben, Muttern und Scheiben	13
3 Schraubenverbindungen	17
4 Bemessung	22
5 Normen	26
6 Schrifttum	26
7 Berechnungsbeispiele	27

Einleitung

Schrauben sind bekannte und bewährte Verbindungsmittel. Bis in die 50er Jahre gab es im Stahlbau überwiegend Niet- und Schweißverbindungen. Schraubenverbindungen waren Ersatzlösungen für Nieten. Sie wurden anstelle von Nieten verwendet, wenn die Montageverhältnisse das Setzen von Nieten nicht ermöglichten, die Verbindung wieder lösbar sein sollte oder größere Zugkräfte übertragen werden mußten. Inzwischen haben Schraubenverbindungen die Nietverbindungen weitgehend verdrängt. Die Ursachen hierfür sind:

- einfache Verarbeitbarkeit,
- Weiterentwicklung der Schraubentechnologie, insbesondere in der Entwicklung hochfester Schrauben sowie in der Präzision der Herstellung der Verbindungen, zum Beispiel in der planmäßigen Vorspannung,
- weitere Erforschung der Wirkungsweise.

Schraubenverbindungen sind kein Ersatz für Nietverbindungen. Es gibt viele Gemeinsamkeiten, aber auch große Unterschiede. Das augenfälligste Beispiel ist die alte Nietregel: „Ein Niet ist kein Niet“. Diese für Nieten im allgemeinen richtige Regel, wurde lange Zeit auch für Schrauben angewendet. Erst die neue Grundnorm für die Bemessung und Konstruktion von Stahlbauten, DIN 18800 Teil 1 erwähnt die Möglichkeit der Einschraubenverbindung. DIN V ENV 1993 Teil 1-1 (Eurocode 3, kurz EC3) gibt ebenfalls Regeln zur Bemessung einschchnittiger Überlappungsstöße mit einer Schraube an.

Zur Zeit befinden wir uns in einer Phase größerer Veränderungen. Die Schrauben selbst sind streng genormte Produkte. Hier vollzieht sich eine internationale Angleichung. In der internationalen Normung hat in den letzten Jahren eine umwälzende Entwicklung stattgefunden, die noch nicht abgeschlossen ist. Auch die Entwicklung in der Bautechnik mit neuen Sicherheits- und Bemessungskonzepten beeinflusst die Entwicklung der Schraubenverbindungen, wie es in der DIN 18800 Teil 1 in der Ausgabe November 1990 und in dem europäischen Regelwerk Eurocode 3, das als DIN V ENV 1993 Teil 1-1 Ausgabe April 1993 erschienen ist, zum Ausdruck kommt.

Dieses Merkblatt richtet sich an Studenten, Ingenieure und Architekten, die diese Verbindungstechnik des Stahlbaues studieren oder anwenden. Es betrifft Stahlbauten im Sinne DIN 18800 bzw. DIN V ENV 1993 (EC3) und gilt für die Bemessung und Konstruktion tragender Bauteile aus Stahl. Für Bauteile mit nicht vorwiegend ruhender Belastung sind

zusätzliche Regelungen zu beachten, ebenso zusätzliche Bestimmungen in den entsprechenden Fachnormen (z.B. DIN 4132) oder Vorschriften der Deutschen Bahn (z.B. DS 804). Auf solche Regeln wird in diesem Merkblatt nicht weiter eingegangen. Das Merkblatt behandelt Schrauben

- mit metrischem Gewinde,
- mit Sechskantköpfen und Sechskantmuttern,
- aus den Werkstoffen der Festigkeitsklassen 4.6, 5.6, 8.8 und 10.9 und die zugehörigen Scheiben.

Es gibt eine Vielzahl weiterer Schraubentypen, die hier nicht behandelt werden können, da dies den Rahmen eines solchen Merkblattes sprengen würde.

Wegweiser durch das Merkblatt

Dieses Merkblatt soll für den Stahllhochbau einen Überblick geben über

- das Produkt „Schraube“ und die zugehörige „Mutter“,
- die Anwendung und Bemessung von Schraubenverbindungen.

Das Produkt „Schraube“ ist ein Serienprodukt, das in vielen Gebieten der Konstruktions-technik verwendet wird. Es gibt viele Arten, es gibt viele Informationen, viele Vorschriften und Normen. Das Merkblatt beschränkt sich im wesentlichen auf die Schrauben M 12 bis M 36, die im Stahllhochbau üblicherweise Verwendung finden. Größere Schrauben mit Abmessungen bis M 64 sind für die Festigkeitsklasse 8.8 in DIN EN 24014/24017 genormt. Muttern mit größeren Abmessungen werden beispielsweise auch bei Zugstäben verwendet.

Im **Kapitel 1** wird zunächst das Produkt Schraube beschrieben. Nach einer allgemeinen Beschreibung der Schrauben und ihrer Werkstoffe wird die Wirkungsweise einer Schraubenverbindung erläutert. Diese drei Abschnitte sind weitgehend allgemeingültig.

Auf dem Gebiet der internationalen Normung und Harmonisierung gibt es eine große Aktivität. Deshalb werden die Abmessungen in einem gesonderten Kapitel beschrieben. Hier sind Änderungen möglich. Das **Kapitel 2** dient als Nachschlagewerk für Detailinformationen über Formen und Abmessungen.

Der Teil „Schraubenverbindungen“ (**Kapitel 3**) enthält Erläuterungen für das Konstruieren kompletter Verbindungen. Das Kapitel beschreibt die allgemeinen Grundlagen, die in der Zukunft nur geringfügigen Veränderungen unterworfen sein werden.

Wie die Produktnormung ist auch die internationale Normung und Harmonisierung der Bemessungsregeln in Bewegung. Da die Normung der Schraubenverbindungen in ein neues Bemessungskonzept für den gesamten Stahlbau eingebettet ist, also nicht nur die Schrauben betrifft, wird bei den Bemessungsregeln (**Kapitel 4**) kurz das Grundsätzliche an Veränderungen erwähnt. Im Interesse einer übersichtlichen Darstellung sind nur die wesentlichen Konzepte genannt, Grundlegende Bemessungsformeln und Tragfähigkeiten sind in tabellarischer Form angegeben. Das Merkblatt soll und kann kein Abdruck der geltenden Bauvorschriften sein. Zum Schluß werden die Grundlagen der Bemessung einfacher Schraubenverbindungen anhand von Berechnungsbeispielen gezeigt.

Bezeichnungen

Da für die Schrauben und Schraubenverbindungen sehr viele ISO- und DIN-Vorschriften und andere Richtlinien auch außerhalb der Bautechnik existieren, ist eine durchgehend einheitliche Bezeichnungsweise kaum möglich. Auch läßt sich eine doppelte Bedeutung einiger Zeichen nicht vermeiden. Ebenso sind die Bezeichnungen nach DIN 18800 und EC 3 nicht identisch. Deshalb ist im Text die betreffende Bezeichnung erläutert, wenn der Sinn nicht eindeutig ist. Bezeichnungen, die nur in einem bestimmten Zusammenhang Bedeutung haben, werden nicht weiter allgemein behandelt.

In Anlehnung an geltende Normen werden im Merkblatt die nachstehend aufgeführten Bezeichnungen verwendet:

Bezeichnungen bei den Schrauben

d, d_1	Gewindenenddurchmesser
d_{Sch}	Schaftdurchmesser (DIN 18800)
d_2	Flankendurchmesser (DIN 13)
d_3	Kerndurchmesser (DIN 13)
d_s	Schaftdurchmesser (DIN 7990, etc.)
d_2	Schaftdurchmesser (nur DIN 7999)
d_L, d_o	Lochdurchmesser
Δd	Lochspiel
A_{Sch}, A	Schaftquerschnitt
A_{Sp}, A_s	Spannungsquerschnitt
b	Gewindelänge
s	Schlüsselweite
e	Eckenmaß
k	Kopfhöhe
m	Mutternhöhe

Allgemeine Bezeichnungen

M	Moment
N	Normalkraft
V	Querkraft
A	Querschnittsfläche
V	zu übertragene Schraubenkraft quer zur Schraubenachse (Abscheren, Lochleibung)
N	Schraubenkraft bei Zug
t	Materialdicke
n	Anzahl der Schrauben in einer Verbindung
m	Anzahl der Scherfugen (Schnittigkeit)
γ_M, γ_F	Teilsicherheitsbeiwerte
μ	Reibbeiwert
σ	Normalspannung
τ	Schubspannung
f_u	Zugfestigkeit
f_y	Streckgrenze

1 Schrauben, Muttern, Scheiben und deren Anwendungen

1.1 Allgemeines

Die Schraube ist ein punktförmiges Verbindungsmittel. Zwei oder mehrere zu verbindende Teile werden mit je einem oder mehreren Löchern versehen, die durch eine oder mehrere Schrauben ausgefüllt werden. Die einzelne Schraube kann dabei quer zu ihrer Achse auf Abscheren und/oder in Richtung ihrer Achse auf Zug beansprucht werden. Damit sie fest mit den Konstruktionsteilen verbunden ist, wird sie über ein Gewinde durch Drehen der Mutter angezogen. Durch die äußeren Beanspruchungen auf Abscheren und auf Zug und durch das Anziehen der Mutter entstehen vielfältige Wechselwirkungen zwischen Schrauben und den zu verbindenden Konstruktionsteilen (**Bild 1**).

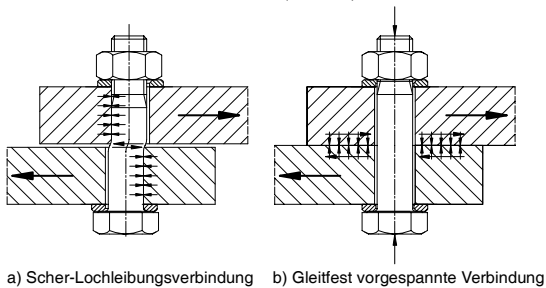


Bild 1: Wirkungsweise einer Schraube

1.2 Schraubenformen und -arten

1.2.1 Beschreibung einer Schraube

Eine Schraube besteht aus dem Gewinde und einem Kopf. Zwischen Gewinde und Kopf kann ein glattes Stück, der Schaft, vorhanden sein (**Bild 2**). Bei Schrauben für den Stahlbau ist dies üblich.

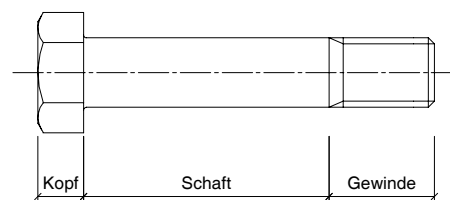


Bild 2: Bestandteile einer Schraube

Die Mutter wird auf das Gewinde der Schraube aufgeschraubt. Es gibt aber auch die Möglichkeit, ein Gewinde in ein Bauteil einzu-

schneiden, wobei das Bauteil dann die Funktion der Mutter übernimmt.

1.2.2 Gewinde

Für den Stahlbau gilt das ISO-Gewinde nach DIN 13 Teil 1. Es ist ein metrisches Gewinde. Deshalb haben die Schrauben die Bezeichnung M. M 16 bedeutet: Schraube mit metrischem Gewinde und dem Nenndurchmesser 16 mm. Die wichtigsten Begriffe zur Beschreibung von Gewinden sind in **Bild 3** erläutert. Es sind bei den Durchmessern

- d, d_1 : das Nennmaß (Nenndurchmesser),
- d_2 : der Flankendurchmesser
- d_3 : der Kerndurchmesser.

Die Indizes für die Durchmesser werden in anderen Fällen in anderem Sinne benutzt, so zum Beispiel bei den Durchmesserangaben in den Stahlbaunormen. Verwechslungen sind aber in der Praxis kaum zu befürchten.

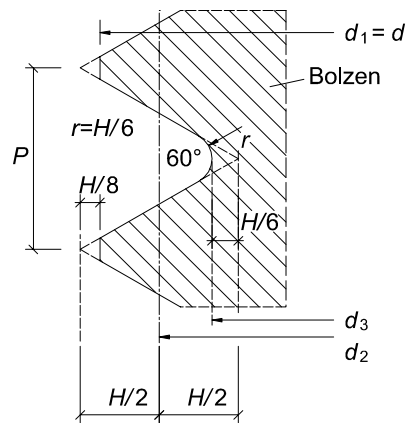


Bild 3: Metrisches Regelgewinde nach DIN 13 Teil 1

Der Flankensteigungswinkel ist konstant für alle Durchmesser. Das Maß H ist abhängig von d . Dadurch ist auch die Steigung P vom Durchmesser abhängig. Für das ISO-Regelgewinde ist z.B. für $d = 12$ mm (Schraube M 12) die Steigung $P = 1,75$ mm, für M 30 ist $P = 3,5$ mm. Außerdem Regelgewinde gibt es noch Feingewinde, die hier aber nicht weiter behandelt werden.

Neben den gebräuchlichen Rechtsgewinden gibt es Linksgewinde. Damit man beim Lösen von Schrauben diejenigen mit Linksgewinden erkennen kann, müssen sie deutlich und dauerhaft gekennzeichnet sein (**Bild 4**).

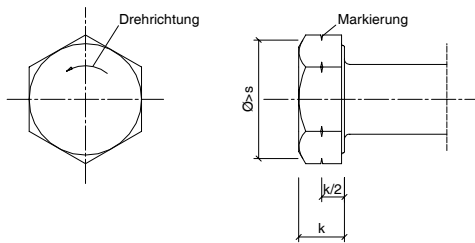


Bild 4: Beispiel zur Kennzeichnung von Linksgewinden

1.2.3 Schraubenköpfe und -schäfte (Passung)

Im allgemeinen werden Schrauben mit Sechskantköpfen und Sechskantmutter verwendet. Das wichtigste Maß ist hier die Schlüsselweite s . Aus der Geometrie ergibt sich dann das Eckenmaß e . Die nach DIN genormten Abmessungen sind in **Bild 5** dargestellt. Es ist zu beachten, daß für Schrauben gleichen Durchmessers, aber verschiedener Festigkeit unterschiedliche Schlüsselweiten genormt sind. So haben hochfeste Schrauben nach DIN 6914 jeweils die Schlüsselweite der nächstgrößeren Schraube nach DIN 7990. Das dient zum einen aus Sicherheitsgründen zur Unterscheidung zwischen Schrauben der Festigkeitsklassen 4.6 und 5.6 (DIN 7990 und 7968) und hochfesten Schrauben der Festigkeitsklasse 10.9 (DIN 6914 und DIN 7999). Zum anderen können hochfeste Schrauben mit größeren Momenten angezogen werden und dadurch entsprechend große Vorspannkräfte erhalten, die auf die zu verbindenden Bleche übertragen werden müssen. Dies ist ein weiterer wesentlicher Grund für die größeren Abmessungen der Köpfe.

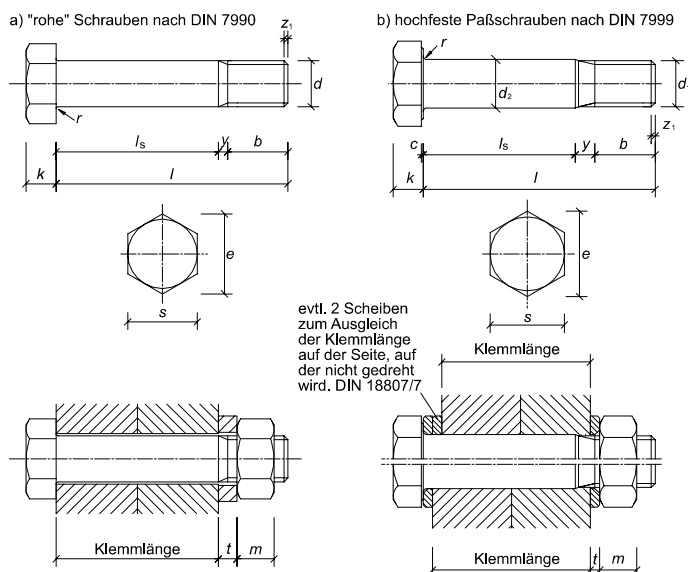


Bild 5: Schrauben und ihre Maße

Schrauben der Festigkeitsklasse 8.8 nach DIN EN 24014/24017 haben die gleichen Schlüsselweiten wie Schrauben nach DIN 7990, also wie normale Schrauben.

Die sogenannten „rohen Schrauben“ nach DIN 7990 sind vorgesehen für Schraubenlöcher, die 1 bis 2 mm größer als der Schraubendurchmesser sind. Die Durchmesserdiffferenz wird als Lochspiel bezeichnet. Für bestimmte Verbindungen benötigt man Paßschrauben mit einem Lochspiel von $\Delta d < 0,3$ mm. Dann haben die Schrauben den gleichen Nenndurchmesser d_1 (bzw. d), werden aber nach DIN 7968 oder DIN 7999 (hochfest) ausgeführt (**Bild 5b**). Ein Beispiel mit Schrauben M 12 soll dies verdeutlichen, siehe **Tafel 1**.

	Rohe Schraube		Paßschraube	
	Bezeichnung	Maß [mm]	Bezeichnung	Maß [mm]
Nenn- \varnothing	d_1	12	d_1	12
Schaft- \varnothing	d_2	12	d_2	13
Loch- \varnothing	d_1 (d_0)	13-14	d_1 (d_0)	13-13,3

Tafel 1: Vergleich der Abmessungen

Verbindungen mit Paßschrauben haben eine sogenannte Passung, das heißt das Lochspiel ist begrenzt. Die zulässigen Abweichungen von den Nennmaßen sind in DIN ISO 268 Teil 1 (11.90) „ISO-Systeme für Grenzmaße und Passungen; Grundlagen für Toleranzen, Abmaße und Passungen“ (identisch mit ISO 268-1:1988) geregelt.

Die Toleranzfestlegungen, das heißt die Abweichungen vom Nennmaß, sind durchmesserabhängig. Das Lochspiel, also die Summe der Abweichungen, ist bei Paßschrauben auf 0,3 mm begrenzt; d.h. Lochspiel $\Delta d < 0,3$ mm. Im Rahmen dieses Merkblatts wird jedoch nicht weiter auf diesen Schraubentyp eingegangen.

Neben den Sechskantschrauben gibt es im Stahlbau nur die Senkschrauben nach nach DIN 7969 (**Bild 6**).

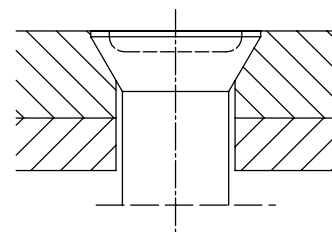


Bild 6: Verbindung mit einer Senkschraube

1.2.4 Muttern und Scheiben

Die hier beschriebenen Schrauben sind stets mit Scheiben zu verwenden. Es gibt für die verschiedenen Schrauben jeweils entsprechende Scheiben. Für Schrauben nach DIN 7968 und DIN 7990 gilt dies für die Seite, an der die Mutter aufsitzt. Sie dienen dazu, daß das Gewinde nicht zu tief in das Loch des Konstruktionsteils hineinragt. Gemäß DIN 18800 Teil 7 sind Scheiben unter dem beim Anziehen gedrehten Teil erforderlich; wenn möglich sollten die Muttern gedreht werden. Bei hochfesten Schrauben muß auch an der Kopfseite eine Scheibe untergelegt werden. Auf diese Scheibe darf bei nicht planmäßig vorgespannten hochfesten Schrauben verzichtet werden, wenn das Nennlochspiel 2 mm beträgt. Die kopfseitige Scheibe ist durch die Geometrie der Schraube bedingt und dient vor allem zur Vermeidung einer Kerbwirkung am Übergang vom Schaft zum Schraubenkopf. Außerdem treten bei Verbindungen mit hochfest vorgespannten Schrauben hohe Flächenpressungen zwischen Kopf und Bauteil auf. Die Scheiben sorgen für eine definierte Flächenpressung.

Bei einigen Profilreihen, (z.B. U-Profilen nach DIN 1026) sind die Flanschflächen geneigt. Diese Neigungen müssen durch entsprechende Scheiben ausgeglichen werden, siehe DIN 434/435 bzw. DIN 6917/6918.

1.3 Werkstoffe

1.3.1 Festigkeitsklassen

Es gibt Schrauben verschiedener Festigkeitsklassen nach ISO 898-1.

Festigkeitsklasse (Kennzeichen)	Zugfestigkeit	Streckgrenze	Bruchdehnung
	N/mm ²	N/mm ²	%
4.6	400	240	22
5.6	500	300	20
8.8	800	640	12
10.9	1000	900	9

Tafel 2: Charakteristische Werte von Schraubenstählen

Die Kennzeichnung erfolgt durch zwei Zahlen, z.B. 4.6. Die beiden Zahlen werden durch einen Punkt getrennt; der Punkt wird „laut mitgelesen“. Die erste Zahl entspricht 1/100 des

charakteristischen Wertes der Zugfestigkeit $f_{u,b,k}$, die zweite Zahl gibt das 10-fache des Verhältnisses der Streckgrenze $f_{y,b,k}$ zur Zugfestigkeit $f_{u,b,k}$ (Streckgrenzenverhältnis) an.

Beispiel: Eine Schraube der Festigkeitsklasse 4.6 hat eine Zugfestigkeit von $f_{u,b,k} = 400 \text{ N/mm}^2$ und eine Streckgrenze von $0,6 \times 400 = 240 \text{ N/mm}^2$.

Für den Stahlhochbau kommen nach DIN 18800 Teil 1 die Festigkeitsklassen 4.6, 5.6, 8.8 und 10.9 in Frage. Die wichtigsten mechanischen Eigenschaften und Merkmale sind in **Tafel 2** zusammengestellt. Für die Muttern und Scheiben gelten die entsprechenden Werkstoffe. Scheiben für planmäßig vorgespannte Verbindungen sowie alle Schrauben und Muttern müssen ein Herstellerkennzeichen und die Kennzeichnung der Festigkeitsklasse enthalten. Beispiele zeigt **Bild 7**.



Bild 7: Kennzeichnung von Schrauben

1.3.2 Korrosionsschutz

Nach der Herstellung der Konstruktionsteile oder nach der Montage der Bauteile erhalten die Schrauben den gleichen Korrosionsschutz durch Überzüge (z.B. Anstrich) wie die Stahlkonstruktion. Bei verzinkten Konstruktionen sind auch verzinkte Schrauben zu verwenden. Immer häufiger werden auch bei nicht verzinkten Konstruktionen verzinkte Schrauben eingesetzt. Bei wetterfesten Stählen werden entsprechende wetterfeste Schrauben verwendet. Für mechanische Verbindungselemente aus nichtrostenden Stählen gilt DIN ISO 3506.

Stahlbauteile werden zum Schutz gegen Korrosion häufig feuerverzinkt. Die Montage dieser Teile erfolgt mit feuerverzinkten Schrauben, deren technische Lieferbedingungen in DIN 267 Teil 10 geregelt sind.

Es können auch hochfeste Schrauben in feuerverzinkter Ausführung verwendet werden. Die namhaften Schraubenhersteller sind heute in der Lage auch hochfeste Schrauben so zu verzinken, daß Wasserstoffversprödung, Sprödbriechanfälligkeit und Spannungsrißkorrosion in der Flüssigzinkphase ausgeschlossen werden. Feuerverzinkte und/oder vorgespannte Schrauben dürfen nur als komplette Garnituren (Schrauben, Muttern, Scheiben) von einem Hersteller verwendet werden.

1.4 Wirkungsweise einer Schraubenverbindung

1.4.1 Grundlagen der Kraftübertragung bei Schrauben

Die grundsätzliche Wirkungsweise einer Schraube ist in **Bild 1** dargestellt. Meistens werden Durchsteck-Schraubenverbindungen verwendet, welche eine Scherverbindung zwischen zwei oder mehreren Querschnittsteilen oder Bauteilen herstellen. Schrauben eignen sich aber auch zur Aufnahme von Zugkräften.

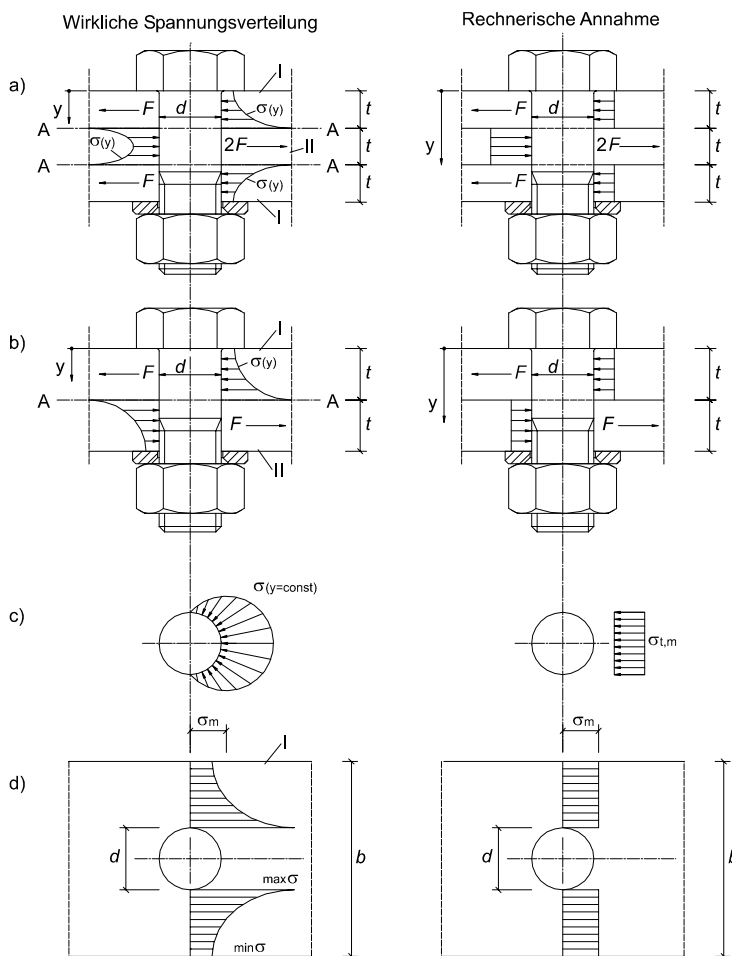


Bild 8: ScherLochleibungsbeanspruchung einer Schraube

Vernachlässigt man zunächst, daß in den Schrauben durch das Anziehen Zugkräfte entstehen, so werden die Schrauben bei einer Scherverbindung beansprucht durch:

- Scherwirkung im Schaft- oder im Gewindequerschnitt und
- Druck zwischen einer Hälfte der Schraubenlochwandung und der entsprechenden Schraubenumfangsfläche (Lochleibung).

Nach **Bild 8** wird die Schraube in den Schnittebenen A auf Abscheren beansprucht. In den Flächenteilen I entsteht auf der rechten Seite eine Druckbeanspruchung auf die Schraubenoberfläche und auf den Lochrand. Entsprechend entstehen im Teil II auf der linken Seite Druckbeanspruchungen. Es ist leicht einzusehen, daß sich diese Beanspruchungen nicht gleichmäßig verteilen.

In **Bild 8** ist links der wirkliche Spannungsverlauf dargestellt. Rechts ist jeweils die idealisierte, gleichmäßig verteilte Spannungsverteilung dargestellt, die dem Tragfähigkeitsnachweis zugrunde liegt. **Bild 8a** und **Bild 8b** zeigen die Druckspannungsverteilungen auf den Schraubenschaft bzw. auf die Lochwandung. **Bild 8c** zeigt die Spannungsverteilung über den Schaftumfang und den Lochrand. In **Bild 8d** ist die Spannungsverteilung im Bauteilquerschnitt dargestellt. Neben der wirklichen Verteilung ist auch hier jeweils die gleichmäßig verteilte Beanspruchung gezeigt, die der Rechnung zugrunde gelegt werden darf. Der Vorteil, daß man die gleichmäßig verteilte Spannung, das heißt den einfach zu errechnenden Mittelwert nehmen darf, liegt im plastischen Verformungsvermögen des Stahls. Die Wirkungsweise ist dann auch bei der Festlegung der entsprechenden Sicherheitsbeiwerte berücksichtigt worden.

In **Bild 8a** übernehmen 2 Schnittflächen A die Schraubenbelastung F . Man nennt dies daher eine zweischnittige Verbindung. **Bild 9** zeigt ein- und mehrschnittige Verbindungen. Da diese Art des Kräfteverlaufs sowohl Scher- als auch Lochleibungsspannungen hervorruft, nennt man diese Verbindung eine Scher-Lochleibungsverbindung (SL). Werden Paßschrauben eingesetzt, bezeichnet man solche Verbindungen als SLP-Verbindungen.

Durch das Anziehen der Mutter wird der Schraubenbolzen in seiner Längsrichtung auf Zug beansprucht. Als Reaktion entstehen Druckkräfte

- zwischen Schraubenkopf und Oberfläche des Bauteils, bei zwischengelegten Scheiben durch die Scheiben,
- zwischen den zu verbindenden Bauteilen.

Durch die zwischen den Stahlbauteilen entstehenden Druckkräfte F_V können aufgrund der definierten Vorspannung Reibungskräfte $\mu \cdot F_V$ rechtwinklig zur Richtung der Schraubenachse, also in Richtung der vorher beschriebenen Scherwirkung, aktiviert werden. Sind F_V bzw. $\mu \cdot F_V$ groß genug, so können die Scherkräfte vollständig von den durch die Schraubenvorspannung hervorgerufenen Reibungskräften aufgenommen werden, ohne die Schraube durch Abscheren oder Lochleibungsdruck zu beanspruchen. Eine so wirkende Verbindung wird GV-Verbindung (gleitfest plan-

mäßig vorgespannt) bezeichnet. Es versteht sich von selbst, daß die Berührungsflächen (Reibflächen) eine entsprechende Oberflächenbeschaffenheit aufweisen müssen. Ebenso muß eine definierte Vorspannkraft F_V vorhanden sein. Da ein Anziehen der Mutter in jedem Fall, also auch bei einer SL-Verbindung, eine Längsspannung hervorruft, ist auch bei einer SL-Verbindung eine gewisse Reibwirkung vorhanden. Andererseits kann bei einer als reine GV-Verbindung konzipierten Verbindung beim Überschreiten der Reibungskraft noch die Tragwirkung als SL-Verbindung in Rechnung gestellt werden.

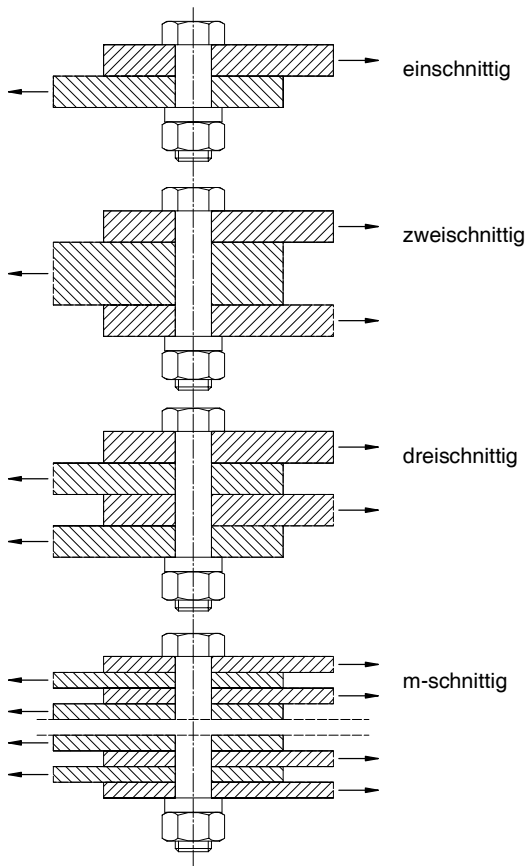


Bild 9: Ein- und mehrschnittige Schraubenverbindungen

Das ist bei den folgenden Sicherheitbetrachtungen von Bedeutung. Soll wegen der Gebrauchseigenschaft eines Tragwerkes eine verformungsarme, schlupffreie Verbindung existieren, so muß im Gebrauchszustand die Verbindung als GV-Verbindung allein sicher sein. Für die Grenztraglast kann die SL-Tragwirkung mit herangezogen werden. Wenn Schrauben planmäßig vorgespannt werden, aber als SL-Verbindung wirken, spricht man von einer SLV- bzw. bei Verwendung von Paßschrauben von einer SLVP-Verbindung.

Bei einer GV-Verbindung erfolgt die Kraft-

übertragung nicht mehr so konzentriert punktförmig wie bei der SL-Verbindung. Der in **Bild 10** doppelt schraffiert angelegte Bereich in den verbundenen Blechen zeigt die Zone der Druckverteilung. So entsteht eine kreisförmige Fläche mit Druckspannungen in der Fuge, d.h. die schubübertragende Reibfläche A_R .

Im Schraubenkopf und in der Mutter entstehen Spannungen, die ebenfalls in **Bild 10** angedeutet sind. Außerdem entstehen durch das Anziehen der Mutter Torsionsmomente im Schraubenbolzen. Bei den Festigkeitsnachweisen nach den bestehenden Bemessungsregeln brauchen diese Beanspruchungen jedoch nicht gesondert berücksichtigt zu werden.

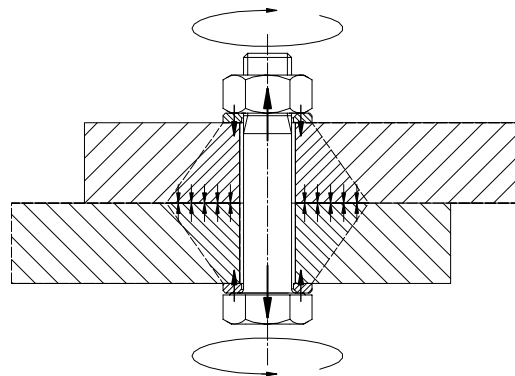


Bild 10: Spannungen in einer GV-Verbindung

Außer der planmäßigen Vorspannkraft in einer GV-Verbindung oder einer durch ein beliebiges Vorspannen der Garnitur entstehenden Zugkraft in der Schraube können aus der Konstruktion entstehende Zugkräfte, d.h. Zugkräfte aus äußerer Belastung auf die Schrauben wirken. Bei GV-Verbindungen hat dies zwei Wirkungen:

- Abminderung der Reibungskraft,
- Erhöhung der Zugbelastung in der Schraube, sobald die Zugkraft aus äußerer Belastung die Vorspannkraft übersteigt.

1.4.2 Verformung, Schlupf

Bei normalen Schraubenverbindungen ist das Schraubenloch größer als die Schraube. Bei SL-, SLV- und GV-Verbindungen beträgt das Lochspiel, das heißt die Durchmesserdifferenz $\Delta d = 1$ bis 2 mm. Damit können unvermeidliche Herstellungs- und Montageungenauigkeiten aufgefangen werden. Das bedeutet aber auch, daß bei Überwindung der Reibungskräfte ein Schlupf auftreten kann.

Bild 11 zeigt eine Verbindung, die in einer Extremlage a und einer Extremlage b montiert ist. Wird die Verbindung a gezogen, so stellt sich durch Verschieben der Bauteile (Schlupf) die Lage c ein, die identisch mit b ist. Es kann eine Verformung infolge Schlupf von max. $\Delta d = 4 \text{ mm}$ entstehen.

Durch Anordnung von Paßschrauben kann Schlupf vermieden werden. Für Paßschrauben werden die zunächst kleiner gebohrten Löcher während der Montage nach Fixierung der zu fügenden Bauteile gemeinsam auf den Nenndurchmesser mit einer Toleranz von $\Delta d < 0,3 \text{ mm}$ aufgerieben. Sie dürfen nach der Fixierung der Bauteile auch gemeinsam gebohrt werden. In diesem Fall darf auf nachträgliches Aufreiben verzichtet werden, wenn das maximale Lochspiel nicht überschritten wird. Paßschrauben kann man verwenden bei SL-Verbindungen, die dann SLP-Verbindungen heißen, und bei GV-Verbindungen, die dann mit GVP bezeichnet werden oder bei SLVP-Verbindungen.

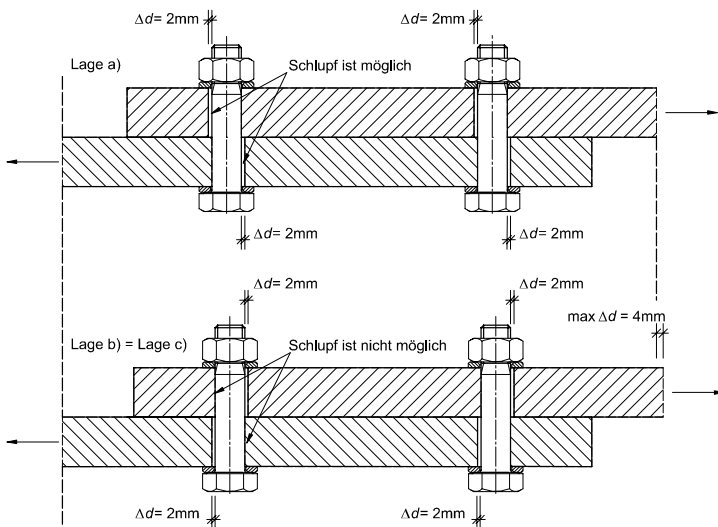


Bild 11: Auswirkung des Lochspiels

Schrauben und ihre Löcher unterliegen wie andere Teile aus Stahl elastischen und plastischen Verformungen, wenn sie belastet werden.

Bild 12a zeigt die Verformungen bei größerem Lochspiel in überhöhter Darstellung für ein- und zweischnittige Verbindungen, **Bild 12b** zeigt, wie durch Plastizieren am Lochrand eine Ovalisierung entsteht.

Verformungen der bisher beschriebenen Art treten bei GV und GVP-Verbindungen nicht oder nur in geringem Maße auf, solange die Reibungskräfte nicht überschritten werden. Nach

Überwindung der Reibungskräfte wirken sie wie SLV- bzw. SLVP-Verbindungen. **Bild 13** zeigt in vereinfachter Darstellung das Last-Verformungs-Diagramm einer Schraubenverbindung. Der Bereich A stellt die elastische Verformung des Kontinuums „Schrauben + Bauteil“ dar. Der Bereich B ist der Schlupf nach Überschreiten des Reibungsschlusses. Bei einem „totalen Schlupf“ verläuft die Linie B horizontal. Da sich das System nach Überwindung des Schlupfes (Bereich C) geändert hat, kann auch die Steifigkeit, also die Steigung der Last-Verformungskurve eine andere als im Bereich A sein.

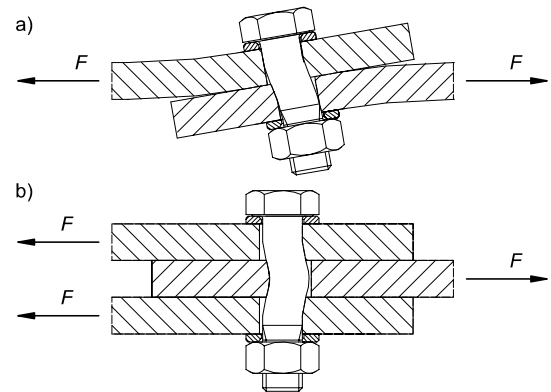


Bild 12: Verformung der Schrauben und des Lochrandes

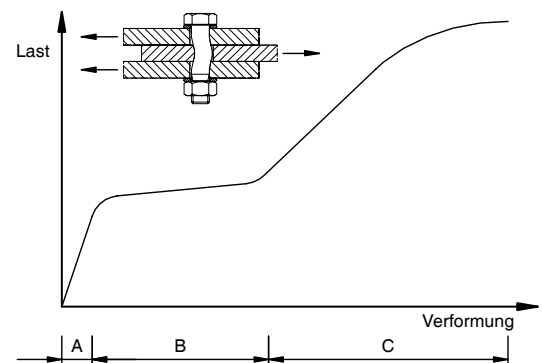


Bild 13: Last-Verformungsdiagramm für eine Schraubenverbindung

Bei mehreren Schrauben, bei denen der Schlupf bei unterschiedlich großen Kräften auftreten könnte (nicht exakt gleiche Vorspannkraft), würde B zu einer Treppenlinie werden. Es ist leicht einzusehen, daß das Diagramm unterschiedlich verläuft, je nachdem ob es sich um eine SL- oder GV-Verbindung handelt. Auch gibt es Unterschiede zwischen ein- und mehrschnittigen Verbindungen.

Wenn Lochleibungsversagen im Grenzzustand maßgebend wird, zeigt das Last-Verformungsdiagramm einer Schraubenverbindung im allgemeinen ein duktiler Verhalten. Eine Vorankündigung des Versagens wird gut wahrnehmbar. Wenn beim Entwurf der Konstruktion das Verformungsverhalten berücksichtigt und die Verbindung entsprechend gewählt wird, so kann man Schraubenverbindung als äußerst zuverlässig ansehen. Dies ist auch ein wichtiges Kriterium für die spätere Sicherheitsbetrachtung [3].

An dieser Stelle sei angemerkt, daß in diesem Merkblatt kein vollständiger Literaturüberblick zu Forschungsarbeiten für den Stahlbau gegeben werden kann. Im Literaturverzeichnis sind unter [1] bis [13] nur einige wesentliche Arbeiten aufgeführt.

1.4.3 Herstellen einer Schraubenverbindung

Zum Herstellen einer Schraubenverbindung gehören 3 Vorgänge:

- Herstellen der Löcher,
- Einsetzen der Schraube mit Scheiben und Mutter,
- Vorspannen der Garnitur durch Anziehen der Mutter.

Schraubenlöcher können gebohrt oder gestanzt werden. Zusammengehörige Löcher müssen aufeinander passen. Bei Versetzungen muß der Durchgang aufgebohrt oder aufgerieben werden. Aufzureiben sind i.a. auch die Löcher für Paßschrauben. Einzelteile müssen zwangungsfrei zusammengebaut werden. Die Schraubenlöcher können auch nach Fixieren der Bauteile gemeinsam gebohrt werden. Bei Paßschraubenverbindungen ist dann ein zusätzliches Aufreiben nicht notwendig, wenn das zulässige Lochspiel eingehalten wird.

Das Vorspannen der Garnitur erfolgt von Hand mit einem Schraubenschlüssel oder besser mit einem Anziehgerät. Durch die Steigung des Schraubengewindes entsteht eine Abhängigkeit zwischen dem Drehmoment beim Anziehen und der Axialkraft in der Schraube. Das ist insbesondere bei der vorgespannten Schraubenverbindung wichtig. Deshalb ist das Vorspannen der Garnituren in Vorschriften und Richtlinien geregelt. Das Vorspannen erfolgt durch Anziehen der Mutter, gegebenenfalls auch des Schraubenkopfes. Für das kontrollierte Vorspannen gibt es 4 Verfahren:

- a) das Drehmomentverfahren: Die erforderliche Vorspannkraft F_V wird von Hand mit einem Drehmomentenschlüssel aufgebracht, an dem das Anziehmoment M_A eingestellt wurde. Die aufzubringenden Werte M_A sind je nach Schmierung des Gewindes und der Auflageflächen von Schraube und Mutter für Schrauben 10.9 in **Tafel 4**, Spalte 3 und 4 angegeben. Für feuerverzinkte Schrauben 8.8 sind sie in **Tafel 3**, Spalte 3 angegeben.
- b) das Drehimpulsverfahren: Mit maschinellen Schlagschraubern wird die erforderliche Vorspannkraft F_V durch Drehimpulse erzeugt. Die vom Schlagschrauber aufzubringenden Werte F_V sind in **Tafel 3**, Spalte 5 und in **Tafel 4**, Spalte 5, angegeben.
- c) das Drehwinkelverfahren, bei dem nach dem Herstellen eines Drehmomentes anschließend noch ein definierter Drehwinkel entweder mit dem Schraubenschlüssel oder mit einem Schlagschrauber aufgebracht wird. Diese Methode ist nur mit einer Verfahrensprüfung gestattet, wobei die erforderlichen Weiterdrehwinkel ermittelt werden müssen.
- d) Das Kombinierte Verfahren, hier wird mittels eines Drehmomentenschlüssels ein definiertes Anziehmoment aufgebracht. Dieses ist größer als bei dem Drehwinkelverfahren und stellt in der Regel eine flächige Anlage der Kontaktflächen im Bereich der Verschraubung sicher. Danach wird die Verbindung durch das Aufbringen eines festgelegten Drehwinkels angezogen.

Die Vorgänge sind von der Reibung im Schraubengewinde und an der Kopfauflagefläche abhängig. Deswegen werden die Gewinde von Muttern geschmiert. Dies wird bereits im Herstellerwerk vorgenommen. **Tafel 3** und **Tafel 4** geben die erforderlichen Vorspannkraft und Anziehmomente für hochfeste Schrauben 8.8 und 10.9 sowie die Drehwinkel für Schrauben 10.9 an.

Bei vorgespannten Verbindungen muß der ordnungsgemäße Einbau kontrolliert werden, da z.B. die Wirksamkeit der gleitfesten Verbindungen neben dem Reibbeiwert der Berührungsflächen der zu verbindenden Bauteile hauptsächlich von der Vorspannkraft der Schrauben abhängig ist. Die Überprüfung der Vorspannkraft erstreckt sich deshalb auf mindestens 5 % aller Schrauben in der Verbindung. Das Prüfverfahren ist in DIN 18800 Teil 7 geregelt.

Anwendungen von Schrauben im Stahlbau

	1	2	3	4	5
Abmessung		Regel- vorspann- kraft F_v in kN	Drehmomentverfahren		Drehimpulsverfahren
			Aufzubringendes Anziehmoment M_A zum Erreichen der Regelvorspannkraft F_A in Nm		Einzustellende Vorspannkraft F_{vdi} zum Erreichen der Regelvorspannkraft F_v in kN ²⁾
			Oberflächenzustand		
			Feuerverzinkt und geschmiert ¹⁾	wie hergestellt und leicht geölt	
1	M 12	35	70	³⁾	40
2	M 16	70	170		80
3	M 20	110	300		120
4	M 22	130	450		145
5	M 24	150	600		165
6	M 27	200	900		220
7	M 30	245	1200		270
8	M 36	355	2100		390
¹⁾ Muttern mit Molybdänsulfid oder gleichwertigem Schmierstoff behandelt ²⁾ Unabhängig von Schmierung des Gewindes und der Auflagerfläche von Muttern und Schrauben ³⁾ Spezieller Nachweis erforderlich					

Tafel 3: Vorspannkraft und Anziehmomente für Drehmoment- und Drehimpulsvorspannverfahren für Garnituren der Festigkeitsklasse 8.8 nach DIN 18800 Teil 7

	1	2	3	4	5
Abmessung		Regel- vorspann- kraft F_v in kN	Drehmomentverfahren		Drehimpulsverfahren
			Aufzubringendes Anziehmoment M_A zum Erreichen der Regelvorspannkraft F_A in Nm		Einzustellende Vorspannkraft F_{vdi} zum Erreichen der Regelvorspannkraft F_v in kN ²⁾
			Oberflächenzustand		
			Feuerverzinkt und geschmiert ¹⁾	wie hergestellt und leicht geölt	
1	M 12	50	100	120	60
2	M 16	100	250	350	110
3	M 20	160	450	600	175
4	M 22	190	650	900	210
5	M 24	220	800	1100	240
6	M 27	290	1250	1650	320
7	M 30	350	1650	2200	390
8	M 36	510	2800	3800	560
¹⁾ Muttern mit Molybdänsulfid oder gleichwertigen Schmierstoffen behandelt ²⁾ Unabhängig von Schmierung des Gewindes und der Auflagerfläche von Muttern und Schrauben					

Tafel 4: Vorspannkraft und Anziehmomente für Drehmoment- und Drehimpulsvorspannverfahren für Garnituren der Festigkeitsklasse 10.9 nach DIN 18800 Teil 7

2 Abmessungen der Schrauben, Muttern und Scheiben

2.1 Normung

Schrauben sind Konstruktionsteile, die in großen Stückzahlen vorkommen und vielseitig verwendbar sind. Deshalb sind Schrauben schon sehr früh genormt worden, in Deutschland in DIN-Normen. In den letzten Jahrzehnten hat die internationale Normung große Fortschritte erzielt, so daß in den ISO-Normen eine internationale Angleichung der Schraubennormen stattfand.

In den letzten Jahren wurde die weltweite Normung für mechanische Verbindungselemente von der europäischen Normung in Teilbereichen eingeholt. Einige EN-Normen sind identisch mit ISO-Normen; in einigen Fällen gibt es aber auch noch keine ISO-Normen, auf denen die EN-Normen aufbauen könnten.

Im Bereich der Stahlbaunormen gab es eine Sonderentwicklung: die europäischen Länder beschlossen, EN-Normen zu veröffentlichen, die

den noch nicht überarbeiteten ISO-Normen nicht entsprechen.

Die wesentlichen Merkmale einer Schraube sind:

- das Gewinde (hier metrisches ISO-Gewinde nach DIN 13)
- der Durchmesser d , der sich in der Schraubenbezeichnung ausdrückt (z.B. M 16 mit $d = 16$ mm),
- die Schraubenform, z.B. Sechskantschrauben für den Stahlbau.

Für den Stahlhochbau beschränkt man sich in der Regel auf:

- Sechskantschrauben und Senkschrauben,
- Normalausführung, Paßschrauben, hochfeste Schrauben,
- M12, M16, M20, M22, M24, M27, M30, M36.

Eine Übersicht der entsprechenden Normen für Schrauben, Muttern und Scheiben für Ausführungsformen zeigt **Tafel 5**.

Zeile Nr.	Ausführungsform der Verbindung gemäß DIN 18800-1 ¹⁾	Schrauben		Muttern		Scheiben	
		Produktnorm	Festigkeitsklasse gemäß ISO 898-1	Produktnorm	Festigkeitsklasse gemäß ISO 898-2	Produktnorm	Härteklasse gemäß Produktnorm
1	SL	DIN 7990 DIN 7969	4.6	DIN EN 24034 DIN EN 24032	> M16 ³⁾ : 4 ³⁾ ≤ M16 : 5 ³⁾	DIN 7989-1 DIN 7989-2	100
2	SL	DIN 7990	5.6		5 ³⁾	DIN 434 DIN 435	
3	SLP	DIN 7968					
4	SL	DIN EN 24014 DIN EN 24017	8.8	DIN EN 24032	8	DIN ISO 7089	200 300
						DIN ISO 7090	200 300
						DIN ISO 7091 DIN 434 DIN 435	100
5	SLV ²⁾					DIN 125-2 Form B ⁴⁾	300
6	SL, SLV ²⁾ , GV ²⁾	DIN 6914 (HV)	10.9	DIN 6915	10	DIN 6916 DIN 6917 DIN 6918	300
7	SLP, SLVP ²⁾ , GVP ²⁾	DIN 7999					

¹⁾ grundsätzlich ist vorwiegend ruhende Zugbeanspruchung zulässig

²⁾ zusätzlich auch nicht vorwiegend ruhende Zugbeanspruchung zulässig

³⁾ auch Muttern der Festigkeitsklasse 8 zulässig

⁴⁾ zusätzlich gekennzeichnet mit dem Herstellerkennzeichen an der der Fase gegenüberliegenden Seite

Tafel 5: Ausführungsformen für Schrauben, Muttern und Scheiben nach DIN 18800 Teil 7

Anwendungen von Schrauben im Stahlbau

Bezeichnung		M 12	M 16	M 20	M 22	M 24	M 27	M 30	M 36
Gewinde(nenn)durchmesser in mm	d bzw. d_1	12	16	20	22	24	27	30	36
Schaftdurchmesser roher Schrauben in mm	d bzw. d_1	12	16	20	22	24	27	30	36
Schaftdurchmesser von Paßschrauben in mm	d bzw. d_2	13	17	21	23	25	28	31	37
Schaftquerschnitt roher Schrauben in mm ²	$A_{s,0}$ bzw. A	113	201	314	380	452	573	707	1018
Schaftquerschnitt von Paßschrauben in mm ²	$A_{s,0}$ bzw. A	133	227	346	415	491	616	755	1075
Spannungsquerschnitt für rohe und Paßschrauben mm ²	A_{sp} bzw. A_s	84,3	157	245	303	353	459	561	817
Rohe Schrauben der Festigkeitsklasse 4.6, 5.6 nach DIN 7990									
Gewindelänge	b	17,75	21	23,5	25,5	26	29	30,5	-
Kopfhöhe in mm	k	8	10	13	14	15	17	19	-
Paßschrauben der Festigkeitsklasse 5.6 nach DIN 7968									
Gewindelänge	b	17,12	20,5	23,75	25,75	26,5	29,5	31,25	-
Kopfhöhe in mm	k	8	10	13	14	15	17	19	-
Muttern nach DIN EN 24034 für Schrauben nach DIN 7990, DIN 7969 & 7968									
Mutterhöhe m in mm	min./max.	10,4/12,2	14,1/15,9	16,9/19	18,1/20,2	20,2/22,3	22,6/24,7	24,3/26,4	28/31,5
Schlüsselweite in mm	s	18	24	30	34	36	41	46	55
Maß über Eck in mm	$e_{(mn)}$	19,85	26,17	32,95	37,29	39,55	45,20	50,85	60,79
Runde Scheiben nach DIN 7989 für Schrauben nach DIN 7990, DIN 7969 & DIN 7968									
Lochdurchmesser der Scheibe in mm	d_1	14	18	22	24	26	30	33	39
Scheibendurchmesser in mm	d_2	24	30	37	39	44	50	56	66
Dicke der Scheibe in mm	b	8	8	8	8	8	8	8	8
Rohe Schrauben der Festigkeitsklasse 8.8 nach DIN EN 24014									
Gewindelänge b in mm für Längen	$l \leq 125$ mm	30	38	46	-	54	-	66	-
	125 mm $< l \leq 200$ mm	-	44	52	-	60	-	72	84
	$l > 200$ mm	-	-	-	-	73	-	85	97
Kopfhöhe in mm	k	7,5	10	12,5	-	15	-	18,7	22,5
Rohe Schrauben der Festigkeitsklasse 8.8 nach DIN 24017									
Gewindelänge		Gewinde geht bis zum Kopf							
Kopfhöhe in mm	k	7,5	10	12,5	-	15	-	18,7	22,5
Muttern nach DIN EN 24032 für Schrauben nach DIN 7990, DIN 7969, DIN 7968, DIN EN 24014 & DIN EN 24017									
Mutterhöhe m in mm	min./max.	10,37/10,8	14,1/14,8	16,9/18	18,1/19,4	20,2/21,5	22,5/23,8	24,3/25,6	29,4/31
Schlüsselweite in mm	s	18	24	30	34	36	41	46	55
Maß über Eck in mm	$e_{(mn)}$	20,03	26,75	32,95	37,29	39,55	45,20	50,85	60,79
Runde Scheiben nach DIN 125-1 & 125-2 für Schrauben nach DIN EN 24014 und DIN EN 24017									
Lochdurchmesser der Scheibe in mm	d_1	13	17	21	23	25	28	31	37
Scheibendurchmesser in mm	d_2	24	30	37	39	44	50	56	66
Dicke der Scheibe in mm	b	2,5	3	3	3	4	4	4	5
Rohe Schrauben der Festigkeitsklasse 10.9 nach DIN 6914									
Gewindelänge b in mm	b_1 / b_2	21/23	26/28	31/33	32/34	34/37	37/39	40/42	48/50
	l'	40	70	85	85	85	95	95	100
Kopfhöhe in mm	k	8	10	13	14	15	17	19	23
Paßschrauben der Festigkeitsklasse 10.9 nach DIN 7999									
Gewindelänge b in mm	b	18,5	22	26	28	29,5	32,5	35	-
Kopfhöhe in mm	k	8	10	13	14	15	17	19	-
Muttern nach DIN 6915 für Schrauben nach DIN 6914 und DIN 7999									
Mutterhöhe m in mm	min./max.	9,64/10	12,3/13	14,9/16	16,9/18	17,7/19	20,7/22	22,7/24	27,7/29
Schlüsselweite in mm	s	22	27	32	36	41	46	50	60
Maß über Eck in mm	$e_{(mn)}$	23,91	29,56	35,03	39,55	45,20	50,85	55,37	66,44
Runde Scheiben nach DIN 6916 für Schrauben nach DIN 6914 und DIN 7999									
Lochdurchmesser der Scheibe in mm	d_1	13	17	21	23	25	28	31	37
Scheibendurchmesser in mm	d_2	24	30	37	39	44	50	56	66
Dicke der Scheibe in mm	b	3	4	4	4	4	5	5	6

Tafel 6: Abmessungen von Schrauben, Muttern und Scheiben

2.2 Abmessungen

Tafel 6 zeigt eine Übersicht über die wichtigsten Abmessungen von Schrauben, Muttern und Scheiben im Stahlbau. Für Schrauben nach DIN 7990 und Paßschrauben nach DIN 7968 sind die Klemmlängen in **Tafel 7** zusammengestellt.

Die Klemmlängen hochfester Schrauben nach DIN 6914 und DIN 7999 unterscheiden sich zum Teil erheblich von denen der „normalfesten“ Schrauben nach **Tafel 7**.

Gewinde d	M12	M16	M20	M22	M24	M27	M30
Länge l	Klemmlänge l_k						
30	5 - 9	-	-	-	-	-	-
35	10 - 14	6 - 10	-	-	-	-	-
40	15 - 19	11 - 15	8 - 12	6 - 10 ¹⁾	-	-	-
45	20 - 24	16 - 20	13 - 17	11 - 15	9 - 13 ¹⁾	-	-
50	25 - 29	21 - 25	18 - 22	16 - 20	14 - 18	-	-
55	20 - 34	26 - 30	23 - 27	21 - 25	19 - 23	-	-
60	35 - 39	31 - 35	28 - 32	26 - 30	24 - 28	21 - 25	-
65	40 - 44	36 - 40	33 - 37	31 - 35	29 - 33	26 - 30	-
70	45 - 49	41 - 45	38 - 42	36 - 40	34 - 38	31 - 35	29 - 33 ²⁾
75	50 - 54	46 - 50	43 - 47	41 - 45	39 - 43	36 - 40	34 - 38 ²⁾
80	55 - 59	51 - 55	48 - 52	46 - 50	44 - 48	41 - 45	39 - 43
85	60 - 64	56 - 60	53 - 57	51 - 55	49 - 53	46 - 50	44 - 48
90	65 - 69	61 - 65	58 - 62	56 - 60	54 - 58	51 - 55	49 - 53
95	70 - 74	66 - 70	63 - 67	61 - 65	59 - 63	56 - 60	54 - 58
100	75 - 79	71 - 75	68 - 72	66 - 70	64 - 68	61 - 65	59 - 63
105	80 - 84	76 - 80	73 - 77	71 - 75	69 - 73	66 - 70	64 - 68
110	85 - 89	81 - 85	78 - 82	76 - 80	74 - 78	71 - 75	69 - 73
115	90 - 94	86 - 90	83 - 87	81 - 85	79 - 83	76 - 80	74 - 78
120	95 - 99	91 - 95	88 - 92	86 - 90	84 - 88	81 - 85	79 - 83
125	-	96 - 100	93 - 97	91 - 95	89 - 93	86 - 90	84 - 88
130	-	101 - 105	98 - 102	96 - 100	94 - 98	91 - 95	89 - 93
135	-	106 - 110	103 - 107	101 - 105	99 - 103	96 - 100	94 - 98
140	-	111 - 115	108 - 112	106 - 110	104 - 108	101 - 105	99 - 103
145	-	116 - 120	113 - 117	111 - 115	109 - 113	106 - 110	104 - 108
150	-	121 - 125	118 - 122	116 - 120	114 - 118	111 - 115	109 - 113
155	-	126 - 130 ²⁾	123 - 127	121 - 125	119 - 123	116 - 120	114 - 118
160	-	131 - 135 ²⁾	128 - 132	126 - 130	124 - 128	121 - 125	119 - 123
165	-	-	133 - 137	131 - 135	129 - 133	126 - 130	124 - 128
170	-	-	138 - 142	136 - 140	134 - 138	131 - 135	129 - 133
175	-	-	143 - 147	141 - 145	139 - 143	136 - 140	134 - 138
180	-	-	148 - 152 ²⁾	146 - 150	144 - 148	141 - 145	139 - 143
185	-	-	-	151 - 155	149 - 153	146 - 150	144 - 148
190	-	-	-	156 - 160	154 - 158	151 - 155	149 - 153
195	-	-	-	161 - 165	159 - 163	156 - 160	154 - 158
200	-	-	-	166 - 170	164 - 168	161 - 165	159 - 163

¹⁾ nur für Schrauben nach DIN 7990
²⁾ nur für Paßschrauben nach DIN 7968

Tafel 7: Klemmlängen nach DIN 7990 und DIN 7968 für Schrauben der Festigkeitsklasse 4.6 und 5.6.

2.3 Sinnbilder für Schrauben

In DIN 407 waren Sinnbilder für Schrauben und Niete genormt, die z.T. auch in CAD-Programmen verarbeitet waren. Seit 1983 ist die internationale Norm ISO 5261-1981 unverändert in die Deutsche Norm DIN ISO 5845 Teil 1 Ausg. 4/97 übernommen worden. Eine Symboldarstellung für die Schrauben- oder Nietdurchmesser entfällt. Statt dessen werden die Schrauben oder Nieten in der Beschriftung angegeben, z.B.

5 M 16 x 100 DIN 7968 (für 5 Paßschrauben M 16, Länge 100 mm). Zusätzlich ist stets die Festigkeitsklasse anzugeben. Dies kann entweder durch eine globale Angabe oder einzeln für jede Schraube erfolgen.

In der Zeichnung wird unterschieden nach der Darstellung in der Zeichenebene senkrecht zur Achse (Draufsicht) und der Darstellung parallel zur Achse (Schnitt oder Seitenansicht). In **Tafel 8** sind die Symbole beispielhaft angegeben.

Bedeutung des Symbols	Zeichenebene					
	senkrecht zur Achse			parallel zur Achse		
	nicht gesenkt	Senkung auf der		Mutterseite	Mutterseite	Senkung
	Vorderseite	Rückseite	freigestellt	rechts	rechts	
Schraube in der Werkstatt eingebaut						
Schraube auf der Baustelle eingebaut						
Schraube auf der Baustelle gebohrt und eingebaut						
-bei den Sinnbildern für Löcher entfallen der Punkt in der Mitte bzw. in der Ansicht parallel zur Achse die senkrechten Striche. Zusätzlich ist der Lochdurchmesser anzugeben.						

Tafel 8: Sinnbilder für Löcher und Schrauben nach DIN ISO -5845 Teil 1 Ausg. 4/97

3 Schraubenverbindungen

3.1 Überblick

Schraubenverbindungen dienen zur Herstellung von zusammengesetzten Bauteilen und zur Verbindung von Bauteilen untereinander zu einem Gesamtbauwerk. Dabei können die Verbindungen aus einer oder mehreren Schrauben bestehen. Für die Betrachtung der Gebrauchsfähigkeit und der Tragfähigkeit der Verbindungen sind folgende Punkte wichtig:

- Verteilung der Kräfte auf die Schrauben,
- Festigkeit der Verbindung (Schrauben und Lochleibung),
- Verformung der Verbindung,
- Festigkeit des Bauteiles und Festigkeit der Verbindungshilfsmittel (Laschen),
- Konstruktive (bauliche) Durchbildung.

3.2 Verteilung der Kräfte auf die Schrauben

Bei einer einzelnen Schraube hat diese Schraube die Kraft allein aufzunehmen. Bei zwei Schrauben verteilt sich eine Scherkraft F quer zur Schraubenachse gleichmäßig auf beide Schrauben. Jede Schraube erhält $V = 0,5 F$. Ordnet man drei Schrauben hintereinander an, so erhält aufgrund der Elastizitätsgesetze die mittlere Schraube eine geringere Kraft (**Bild 14**).

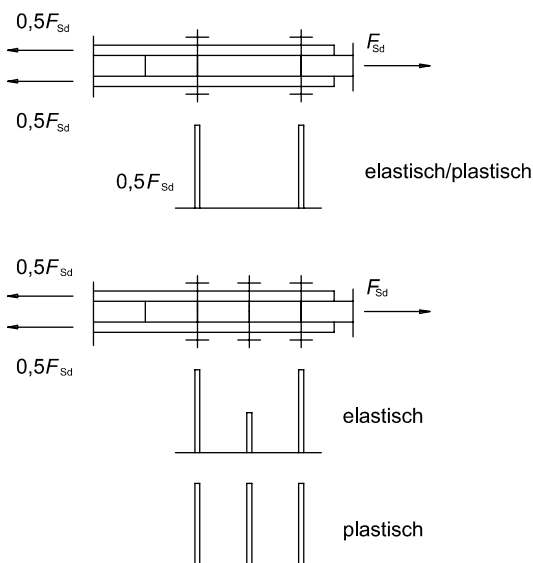


Bild 14: Lastverteilung auf die Schrauben

Läßt man ein Plastizieren in den Lochleibungen zu, so erfolgt im Grenzlastzustand wieder eine gleichmäßige Verteilung der Kräfte auf alle drei Schrauben. Aus diesem Grund kann man bis zu einer bestimmten Schraubenanzahl eine gleichmäßige Kraftverteilung zulassen. Die DIN 18800 Teil 1 läßt bis zu 8 hintereinander angeordnete Schrauben zu. Nach DIN V ENV 1993 Teil 1-1 soll für „lange“ Schraubenverbindungen in Abhängigkeit von der Länge L_j der Verbindung zum Schraubendurchmesser d eine Abminderung der Tragfähigkeit vorgenommen werden (**Bild 15**). Wenn die Anschlußlänge L_j mehr als $15d$ beträgt, ist der Grenzabscherwiderstand $F_{v,Rd}$ von allen Verbindungsmitteln durch Multiplikation mit einem Reduktionsfaktor β abzumindern. Dieser Reduktionsfaktor ergibt sich zu:

$$\beta_{1,f} = 1 - \frac{L_j - 15d}{200d} \text{ jedoch } 0,75 \leq \beta_{1,f} \leq 1,0.$$

Diese Bestimmung gilt nicht, wenn eine gleichmäßige Verteilung der Kraftübertragung über die Länge des Anschlusses vorhanden ist, z.B. bei der Übertragung der Querkraft im Stegblech eines Querschnitts bei einem Vollstoß.

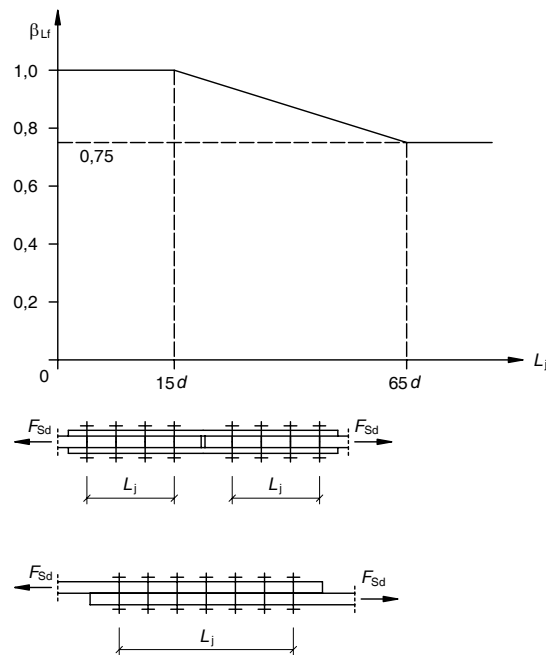


Bild 15: Abminderung der Schraubentraglast nach EC 3

Greifen an einem Schraubenbild nach **Bild 16** ein Moment M und eine Querkraft V an, so wirken auf eine Schraube vertikal V_1 infolge V und M sowie horizontal V_2 infolge M . Die Resultierende ist:

$$V_R = \sqrt{V_1^2 + V_2^2}$$

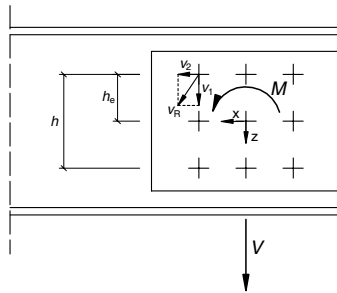


Bild 16: Moment und Querkraft an einer Schraubenverbindung

Schwieriger wird es bei einer größeren Schraubenanzahl. Dabei erhalten die außenliegenden Schrauben größere Kräfte als die inneren. Man kann dies mit der linearen Spannungsverteilung in einem Biegestabquerschnitt vergleichen. Hier ist für das betreffende Schraubenbild das polare Trägheitsmoment I_p zu ermitteln. Die aus dem Moment M entstehende größte Schraubenkraft ist dann:

$$V_2 = \frac{M \cdot b_c}{I_p} \quad \text{mit} \quad I_p = \sum (x^2 + z^2)$$

Einfache und sehr genaue Näherungen sind in allen gängigen Bemessungstabellen für Ingenieure zu finden und sollen hier nicht weiter besprochen werden. Auf diese Weise wird die maximale Schraubenkraft ermittelt. Würde man hier die gleichen Überlegungen mit der Plastizierung anstellen, wie bei den linear angeordneten Schrauben, könnte man die innenliegenden Schrauben stärker zum Tragen heranziehen. Versuche haben gezeigt, daß dieses in bestimmten Fällen möglich ist.

3.3 Festigkeit der Verbindungen

Bei einer Scher-Lochleibungsverbindung ist maßgebend, daß die Schraube nicht abschert und die Lochleibung die auftretende Druckspannung aufnehmen kann. Für das Abscheren sind die Scherfestigkeiten der Schraube bekannt. Formeln zur Berechnung der Bemessungswerte der Tragfähigkeit sind in DIN 18800 bzw. EC3 angegeben. Liegt die Scherfläche im Schraubenschaft, so

ist hier der Schaftquerschnitt zugrunde zu legen. Liegt die Scherfläche im Gewinde, so gilt der wirksame Querschnitt A_s (Spannungsquerschnitt). Er läßt sich wie folgt ermitteln:

$$A_s = \frac{\pi}{4} \left(\frac{d_2 + d_3}{2} \right)^2$$

Hierin sind nach **Bild 3** d_2 der Flankendurchmesser und d_3 der Kerndurchmesser. Die Werte A_s sind in den Normen (ISO 898) angegeben. Die Lochleibungsspannung darf dank der Duktilität des Stahls als gleichmäßig verteilt im Sinne von **Bild 8** angesetzt werden. Bei gleitfesten, planmäßig vorgespannten Verbindungen sind zwei Größen zu beachten:

- die planmäßige Vorspannkraft,
- der Reibwert zwischen den Kontaktflächen.

Werden die Verbindungen nicht quer zur Schraubenachse, sondern in Richtung der Schraubenachse, d.h. auf Zug aus äußerer Belastung durch die Konstruktion beansprucht, so ist für die Tragfähigkeitsberechnung der Spannungsquerschnitt A_s anzusetzen.

Bei GV- und GVP-Verbindungen wird die Reibungskraft in der Berührungsfläche zwischen den Bauteilen zur Übertragung der äußeren Kräfte herangezogen. Die Reibungskraft ist abhängig vom Anpreßdruck (Vorspannkraft). Der Anpreßdruck und damit auch die Reibungskraft wird durch die Wirkung einer äußeren Zugkraft (in Schraubenlängsrichtung) abgemindert werden.

3.4 Verformung der Verbindung

In den vorangegangenen Abschnitten konnte wiederholt die Duktilität, also das Plastizierungsvermögen des Stahls, als Vorteil herausgestellt werden. Eine Verformung ist jedoch nicht immer vorteilhaft. Schraubenverbindungen, d.h. Stöße und Anschlüsse, stellen in einem Tragwerk immer Stellen mit einer Inhomogenität dar. Bisher galt die Regel, daß Verbindungen nach den Querschnitten und nicht nur nach den an der Verbindungsstelle auftretenden Kräften ausgelegt werden sollten. Das galt insbesondere für biegesteife Trägerstöße und für solche Fälle, bei denen die plastischen Tragreserven ausgenutzt werden. Mit dem Eurocode 3 werden aber neue Verfahren eingeführt, die auch gezielt in den Verbindungen Verformungen oder plastische Gelenke zulassen. Man spricht von verformbaren (engl. semi-rigid) oder teiltragfähigen (engl. partial-strength) Anschlüssen, die die Palette der Entwurfsmöglichkeiten erweitern und eine weitere Optimierung der Tragwerke hinsichtlich Tragverhalten und

Kosten ermöglichen [5].

Stöße aus GVP- und GV-Verbindungen haben die geringste Verformung, solange die Reibungskräfte in den Gleitfugen nicht überschritten werden. Solche Verbindungen sind im Gebrauchszustand starr, im Grenztragzustand wirken sie im allgemeinen wie eine SLP- oder SL-Verbindung.

Den größten Verschiebungswert hat die SL-Verbindung durch den möglichen Schlupf. Weitere Fälle, für die ein größerer Schlupf von Nachteil sein kann, sind

- Durchlaufträger (Einfluß auf das Stützmoment),
- viele additive Stöße bei Anschlußgliedern an Verbände (große Vorverformungen),
- Bauteile mit Lastumkehr (positive und negative Momente).

Lastumkehr bei Winddruck und Windsog zählt hier in der Regel nicht zu den kritischen Fällen.

3.5 Festigkeit des Bauteils

Da für eine Schraubenverbindung Löcher notwendig sind, wird der Querschnitt der zu verbindenden Bauteile durch die Löcher geschwächt. In druckbeanspruchten Querschnittsteilen wird das Loch durch die Schraube als ausgefüllt angesehen. Bei Zugbeanspruchung ist für den Festigkeitsnachweis der Nettoquerschnitt $A_N = A - \Delta A$ anzusetzen, wobei ΔA der Gesamtlochquerschnitt ist. Für einen Zugstabanschluß muß der „Rißquerschnitt“ gesucht werden. Ein Beispiel hierzu gibt das Rechenbeispiel 1. In der Regel kann die Spannungsverteilung als gleichmäßig verteilt angesehen werden. Spannungsspitzen am Lochrand (vgl. **Bild 8**) werden durch Plastizieren abgebaut. Anders ist es jedoch, wenn die Lasteinleitung exzentrisch erfolgt:

Beim Winkelanschluß mit nur einer Schraube überträgt sich die Kraft nicht auf den gesamten Nettoquerschnitt, sondern auf eine Querschnittsfläche, die nach DIN 18800 etwa dem 2-fachen der doppelt schraffierten Fläche A_1 in **Bild 17** entspricht. Bei zwei Schrauben wirkt an der zweiten Schraube ein größerer Querschnittsteil, so daß der Nachweis zu führen ist:

$$\sigma = \beta \cdot \frac{F}{A_N}$$

Aus niederländischen und französischen Versuchen [10], [11], [12] wurden hierfür β -Werte ermittelt, die in **Tafel 9** angegeben sind. Im EC3 ist ein ähnlicher Nachweis vorhanden.

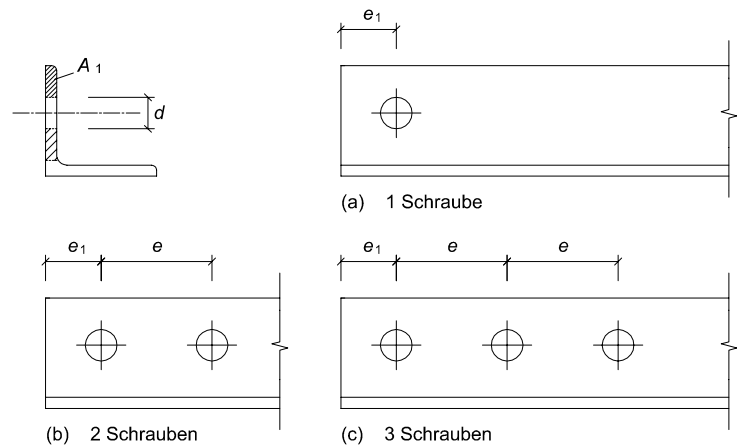


Bild 17: Geschraubter Winkelanschluß (s. **Tafel 9**)

Lochabstand	e	$\geq 2,5 d$	$\geq 3 d$	$\geq 4 d$	$\geq 5 d$
2 Schrauben	β_2	0,5	0,6	0,7	0,8
3 Schrauben	β_3	0,75	0,85	-	-

Tafel 9: β -Werte für die Spannungsermittlung in Winkeln

Der Nachweis im Stab außerhalb des Anschlusses ist mit der Exzentrizität zwischen dem Wurzelmaß (Schraubenrißlinie) und der Schwerlinie zu führen; wie es bisher auch üblich ist.

3.6 Bauliche Durchbildung

Beim Entwerfen der Einzelteile, insbesondere der Verbindungen, ist darauf zu achten, daß sich alle Teile einfach bearbeiten, verbinden und erhalten lassen. Die Anzahl der Stöße ist möglichst einzuschränken. Stöße und Anschlüsse sind gedungen auszubilden. In Stößen sind deshalb unmittelbare Stoßdeckung und doppelsymmetrische Laschen anzustreben. Schrauben-, Niet- und Schweißverbindungen am selben Bauteil sind zulässig, wenn auf die Verträglichkeit der Formänderungen geachtet wird.

Gemeinsame Kraftübertragung darf z.B. angenommen werden bei gleichzeitiger Anwendung von

- Nieten und Paßschrauben,
- GV- und GVP-Verbindungen und Schweißnähten,
- Schweißnähten in einem Gurt und Nieten, Paßschrauben oder gleitfeste Verbindungen in allen übrigen Querschnittsteilen bei vorwiegend auf einachsige Biegung beanspruchten Stößen.

Die zulässige übertragbare Gesamtkraft ergibt sich nach DIN durch Addition der zulässigen über-

Anwendungen von Schrauben im Stahlbau

tragbaren Kräfte der einzelnen Verbindungsmittel. Nach EC 3 ist die kleinste Tragfähigkeit der einzelnen Schrauben einer Schraubengruppe für die zulässige übertragbare Gesamtkraft maßgebend. Hier darf nur die kleinste Schraubentragfähigkeit mit der Anzahl der Schrauben multipliziert werden.

SL-Verbindungen dürfen nicht mit SLP-, GV-, GVP- und Schweißverbindungen zur gemeinsamen Kraftübertragung herangezogen werden. Am selben Bauwerk sollen Schrauben mit möglichst wenig unterschiedlichen Durchmessern verwendet werden. Hier ist es außerdem zweckmäßig, benachbarte Schraubendurchmessergrößen möglichst zu vermeiden, um Verwechslungen auf der Baustelle auszuschließen.

Während bei Verbindungen mit Nieten, abgesehen von Ausnahmefällen, mindestens zwei Niete vorzusehen sind, ist bei Schraubenverbindungen auch eine Schraube zulässig.

Die Wahl der Schraubendurchmesser richtet sich nach der anzuschließenden Kraft und den Platzverhältnissen innerhalb der Konstruktion und bei der Montage. Es gibt außerdem Empfehlungen für eine günstige Wahl des Schraubendurchmessers in Abhängigkeit von der Materialdicke, beispielweise in **Bild 18**, welches der früheren DIN 18800 Ausgabe 3.81 entnommen ist.

Rand- und Lochabstände dürfen nicht zu klein sein, damit die zu verbindenden Bauteile nicht ausreißen, bei GV- und GVP-Verbindungen ausrei-

chend Reibfläche zur Verfügung steht und auch Platz für den Schraubenschlüssel oder andere Anziehgeräte vorhanden ist. Die Abstände dürfen aber auch nicht zu groß sein, damit die Flächen fest aufeinander liegen und Korrosionsgefahr vermieden wird. Aus diesem Grund sind die Schraubenlochabstände in DIN 18800 bzw. EC 3 geregelt.

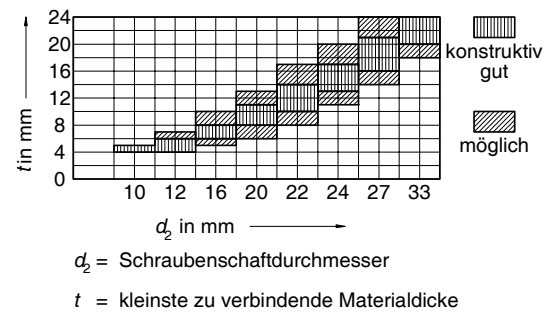


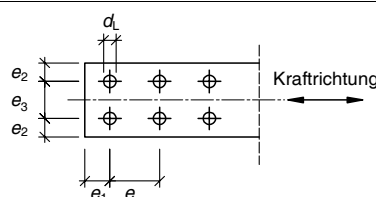
Bild 18: Zusammenhang zwischen Materialdicke und Schraubendurchmesser

Nach der neuen DIN 18800 sind kleinere Rand- und Lochabstände möglich (**Tafel 10**). Kleinere Abstände vermindern allerdings die Lochleibungstragfähigkeiten der Schrauben.

Für die Anreißmaße und Lochdurchmesser der Form und Stabstähle sowie für die zulässigen kleinsten Versetzungen der Schrauben in den beiden Schenkeln von Winkelstahl gelten unter Beachtung der **Tafeln 10** und **11**, DIN 997, DIN 998 und DIN 999.

1		Randabstände		Lochabstände		
2	Kleinster	In Krafrichtung e_1	$1,2 d_L$	Kleinster	In Krafrichtung e	$2,2 d_L$
3	Randabstand	Rechtwinklig zur Krafrichtung e_2	$1,2 d_L$	Lochabstand	Rechtwinklig zur Krafrichtung e_3	$2,4 d_L$
4	Größter Randabstand	In Krafrichtung oder rechtwinklig dazu e_1 bzw. e_2	$3 d_L$	Größter Lochabstand, e bzw. e_3	Zur Sicherung gegen lokales Beulen	$6 d_L$ oder $12 t$
5			$6 t$		wenn lokale Beulgefahr nicht besteht	$10 d_L$ oder $20 t$

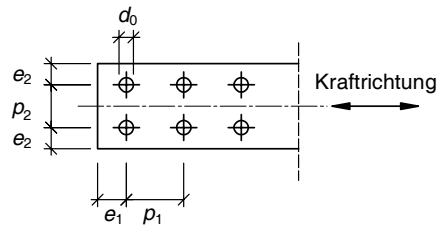
Bei gestanzten Löchern sind die kleinsten Randabstände $1,5 d_L$, die kleinsten Lochabstände $3,0 d_L$. Die Rand- und Lochabstände nach Zeile 5 dürfen vergrößert werden, wenn durch besondere Maßnahmen ein ausreichender Korrosionsschutz sichergestellt ist.



Tafel 10: Zulässige Schraubenabstände nach DIN 18800 Teil 1

Randabstände			Lochabstände		
Kleinsten Rand- abstand	In Krafrichtung e_1	$1,2 d_0$	Kleinsten Loch- abstand	In Krafrichtung p_1	$2,2 d_0$
	Rechtwinklig zur Krafrichtung e_2	$1,2 d_0$		Rechtwinklig zur Krafrichtung p_2	$2,4 d_0$
Größter Rand- abstand	In Krafrichtung oder rechtwinklig dazu e_1 bzw. e_2	Im Freien oder unter korrosiven Einflüssen : e_1 bzw. $e_2 \leq 40\text{mm} + 4t$ in allen anderen Fällen: e_1 bzw. $e_2 \leq \max(12t; 150\text{mm})$	Größter Loch- abstand	In Krafrichtung p_1 oder rechtwinklig dazu p_2	Bei Druckstäben: p_1 bzw. $p_2 \leq \min(14t; 200\text{mm})$ Bei Zugstäben: äußere Reihen: $p_1 \leq \min(14t; 200\text{mm})$ ¹⁾ innere Reihen: $p_1 \leq \min(28t; 400\text{mm})$ ¹⁾

¹⁾ Bei Bauteilen, die nicht der Witterung oder korrosiven Einflüssen ausgesetzt sind, dürfen die angegebenen Werte um 50% vergrößert werden.



Tafel 11: Schraubenabstände nach DIN V ENV 1993 Teil 1-1

Für Walzprofile werden in Profiltabellen die entsprechenden Wurzelmaße (w) angegeben. Beispiele zeigt **Bild 19**.

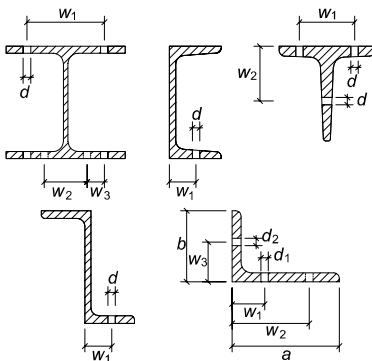


Bild 19: Anordnung von Schrauben in Walzprofilen (Wurzelmaße)

In Winkelprofilen oder bei unsymmetrischen Anschlüssen können hierbei Außermittigkeiten entstehen. Planmäßig ausmittig beanspruchte Zugstäbe sind im allgemeinen auf Längskraft und Biegung zu berechnen. Nicht berücksichtigt zu werden brauchen Ausmittigkeiten, die entstehen, wenn

- Schwerachsen von Gurten gemittelt werden,
- die Anschlußebene eines Verbandes nicht in der Ebene der gemittelten Gurtschwerachse liegt,
- die Schwerachsen der einzelnen Stäbe von Verbänden nicht erheblich aus der Anschlußebene herausfallen.

Bei mittelbarer Stoßdeckung über z Zwischenlagen zwischen der Stoßlasche und dem zu stoßenden Teil ist die Anzahl der Schrauben und Niete gegenüber der bei unmittelbarer Deckung rechnerisch erforderlichen Anzahl n auf: $n' = n(1 + 0,3z)$ zu erhöhen (**Bild 20**).

Nach DIN 18800 gelten Futterstücke von mehr als 6 mm Dicke als Zwischenlage, wenn sie nicht mit mindestens einer Schraubenreihe oder durch entsprechende Schweißnähte vorgebunden werden.

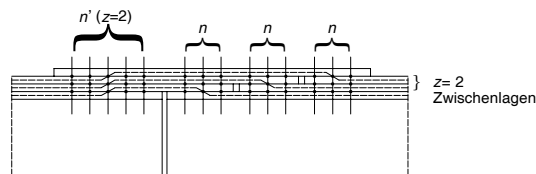


Bild 20: Erhöhung der Anzahl der Verbindungsmittel bei mittelbarer Stoßdeckung

In gleitfesten Verbindungen ist ein Vorbinden oder Erhöhen der Schraubenzahl nicht erforderlich. Gurtplatten von Vollwandträgern gelten erst an der Stelle als voll wirksam, an der ihre anteilige Kraft angeschlossen ist. Bei Anschlüssen mit Scher- Lochleibungs- und gleitfesten Verbindungen ist mindestens eine Reihe der Verbindungsmittel vor dem rechnerischen Anschlußpunkt anzuordnen. Weitere Hinweise sind den Fachnormen zu entnehmen.

4 Bemessung

4.1 Normen

Für die Festigkeits- und Tragfähigkeitsnachweise im Bauwesen gelten die bauaufsichtlich eingeführten Technischen Baubestimmungen. Mit der DIN 18800 Teile 1 bis 4 (11.90) wird erstmals das wahrscheinlichkeitstheoretische Sicherheitskonzept eingeführt. Diese Grundnormenreihe trägt den laufenden Arbeiten an dem europäischen Regelwerk Eurocode 3 „Stahlbau“ Rechnung und ist weitgehend mit diesem kompatibel. Mit dem Erscheinen der DIN 18800-1/A1 „Stahlbauten, Bemessung und Konstruktion, Änderung A1“ (02.96) endete die Übergangsregelung, daß neben der neuen DIN 18800 (11.90) auch die alte DIN 18800 (03.81) anwendbar war. Der Eurocode liegt im Stadium einer Vornorm als DIN V ENV 1993 Teil1-1 (04.93) „Bemessung und Konstruktion von Stahlbauten“ vor. Die Überführung in eine EN ist in Arbeit. Es darf wahlweise mit beiden neuen Vorschriftenwerken gearbeitet werden.

Das vorliegende Merkblatt verzichtet auf eine Wiedergabe der Normentexte.

Tafel 12 gibt einen Überblick über die Verbindungsarten nach DIN 18800 Teil 1. Die Begriffe SL (Scher-Lochleibungs-Verbindung) und GV (gleitfeste Verbindung), früher HV-Verbindung genannt, sind bekannt. Diese Verbindungen sind jeweils auch als Paßschraubenverbindung mit der Bezeichnung SLP und GVP anwendbar. **Tafel 13** zeigt analog die Einteilung nach DIN V ENV 1993 Teil 1-1. Eine Zusammenstellung der Bemessungsregeln zur Berechnung der grundlegenden Beanspruchbarkeiten (Tragfähigkeit von

Schrauben auf Abscheren und Zug bzw. Lochleibungstragfähigkeit) sowie Zahlenwerte für einzelne Grenztragfähigkeiten findet man in den **Tafeln 14 bis 19**. Weiter wird im **Kapitel 7** anhand von Beispielen die Bemessung von Schraubenverbindungen aufgezeigt, und zwar getrennt nach DIN 18800 Teil 1 und nach DIN V ENV 1993 Teil 1-1. Somit können sowohl die unterschiedlichen Vorgehensweisen als auch Ergebnisse direkt miteinander verglichen werden. Im Vergleich zum Nachweis nach der alten DIN 18800 (03.81) zeigt es sich, daß man nach dem neuen Normenkonzept mit weniger Schrauben oder mit Schrauben geringerer Festigkeitsklassen auskommen kann, als es bisher erforderlich war.

Der Nachweis der Tragsicherheit erfolgt mit den Bemessungswerten der Einwirkungen und des Widerstands unter Berücksichtigung der Teilsicherheitsbeiwerte: γ_F für die Einwirkungen (Lasten) und γ_M für die Widerstandsgrößen (Tragfähigkeiten). In der prinzipiellen Formulierung

$$\frac{S_d}{R_d} \leq 1$$

ist dann nachzuweisen, daß die Beanspruchung S_d die Beanspruchbarkeiten R_d nicht überschreiten. Die Bemessungswerte der Einwirkungen (Index d; design) ergeben sich aus den charakteristischen Werten (Index k) durch Multiplikation mit den Teilsicherheitsbeiwerten γ_F und ggf. den Kombinationswerten ψ (für die Lasten). Die Bemessungswerte der Widerstandsgrößen sind im allgemeinen aus den charakteristischen Werten der Widerstandsgrößen durch Dividieren mit dem Teilsicherheitsbeiwert γ_M zu berechnen.

Nennlochspiel $\Delta d = d_L - d_{Sch}$ in mm	ohne planmäßige Vorspannung	mit planmäßiger Vorspannung	
		ohne gleitfeste Reibfläche	mit gleitfester Reibfläche
$0,3 < \Delta d \leq 2,0^1)$	SL	SLV	GV
$\Delta d \leq 0,3$	SLP	SLVP	GVP
SL	Scher-Lochleibungsverbindungen		
SLP	Scher-Lochleibungs-Paßverbindungen		
SLV	Planmäßig vorgespannte Scher-Lochleibungsverbindungen		
SLVP	Planmäßig vorgespannte Scher-Lochleibungs-Paßverbindungen		
GV	Planmäßig vorgespannte gleitfeste Verbindungen		
GVP	Planmäßig vorgespannte gleitfeste Paßverbindungen		
¹⁾ Der Größtwert des Nennlochspiels Δd in Verbindungen mit Senkschrauben beträgt im Bauteil mit den Senkkopf $\Delta d = 1,0$ mm.			

Tafel 12: Ausführungsformen von Schraubenverbindungen nach DIN 18800 Teil 1

Scher-/Lochleibungs- und gleitfeste Verbindungen			
Kategorie	Verbindungsart	Kriterium	Anmerkungen
A	Scher/Lochleibungsverbindungen	$F_{v,Sd} \leq F_{v,Rd}$ $F_{v,Sd} \leq F_{b,Rd}$	Keine Vorspannung erforderlich; alle Schrauben von 4.6 bis 10.9
B	Im Grenzzustand der Gebrauchstauglichkeit gleitfeste Verbindung	$F_{v,Sd,ser} \leq F_{s,Rd,ser}$ $F_{v,Sd} \leq F_{v,Rd}$ $F_{v,Sd} \leq F_{b,Rd}$	Hochfeste vorgespannte Schrauben; kein Gleiten im Grenzzustand der Gebrauchstauglichkeit
C	Im Grenzzustand der Tragsicherheit gleitfeste Verbindung	$F_{v,Sd} \leq F_{s,Rd}$ $F_{v,Sd} \leq F_{b,Rd}$	Hochfeste vorgespannte Schrauben; kein Gleiten im Grenzzustand der Tragsicherheit
Auf Zug beanspruchte Verbindungen			
Kategorie	Verbindungsart	Kriterium	Anmerkungen
D	nicht vorgespannt	$F_{t,Sd} \leq F_{t,Rd}$	Keine Vorspannung erforderlich. Alle Festigkeitsklassen von 4.6 bis 10.9
E	vorgespannt	$F_{t,Sd} \leq F_{t,Rd}$	Hochfeste vorgespannte Schrauben
Erläuterungen:			
$F_{v,Sd,ser}$	Bemessungswert der Abscherkraft pro Schraube im Grenzzustand der Gebrauchstauglichkeit		
$F_{v,Sd}$	Bemessungswert der Abscherkraft pro Schraube im Grenzzustand der Tragsicherheit		
$F_{v,Rd}$	Grenzabschwerwiderstand pro Schraube		
$F_{b,Rd}$	Grenzlochleibungswiderstand pro Schraube		
$F_{s,Rd,ser}$	Grenzgleitwiderstand pro Schraube im Grenzzustand der Gebrauchstauglichkeit		
$F_{s,Rd}$	Grenzgleitwiderstand pro Schraube im Grenzzustand der Tragsicherheit		
$F_{t,Sd}$	Bemessungswert der Zugkraft pro Schraube im Grenzzustand der Tragsicherheit		
$F_{t,Rd}$	Grenzzugwiderstand pro Schraube		

Tafel 13: Einteilung von Schraubenverbindungen nach DIN V ENV 1993 Teil 1-1

4.2 Typisierte Anschlüsse im Stahlbau

Es gibt Verbindungsarten, die im Stahlhochbau immer wiederkehren. Dies sind querkraftbeanspruchte Trägeranschlüsse an Unterzügen oder Stützen, außerdem momententragfähige Stirnplattenanschlüsse oder -stöße. Aus diesem Grunde wurde bereits Ende der 70er Jahre vom Deutschen Stahlbauverband (DSTV) in Zusammenarbeit mit dem Deutschen Ausschuss für Stahlbau (DASt) ein Typenkatalog für diese Anschlüsse erarbeitet. Die Typisierung läßt eine Serienfertigung und eine einfache Lagerhaltung zu. Wo Berechnungsverfahren fehlten oder Tragfähigkeitsreserven zu mobilisieren waren, wurden Traglastversuche durchgeführt. Um auch hier der geänderten Normenlandschaft gerecht zu werden, wurden die typisierten Anschlüsse zunächst in [2] mit den Tragfähigkeiten nach der neuen DIN 18800 veröffentlicht. Inzwischen ist das bewährte Tabellenwerk vollständig überarbeitet worden [4]. Es enthält für den Typenkatalog Formelsammlungen und Bemessungstabellen sowohl für die DIN 18800 als auch für den Eurocode 3. Eine Auswahl der Anschlüsse zeigt **Bild 21**.

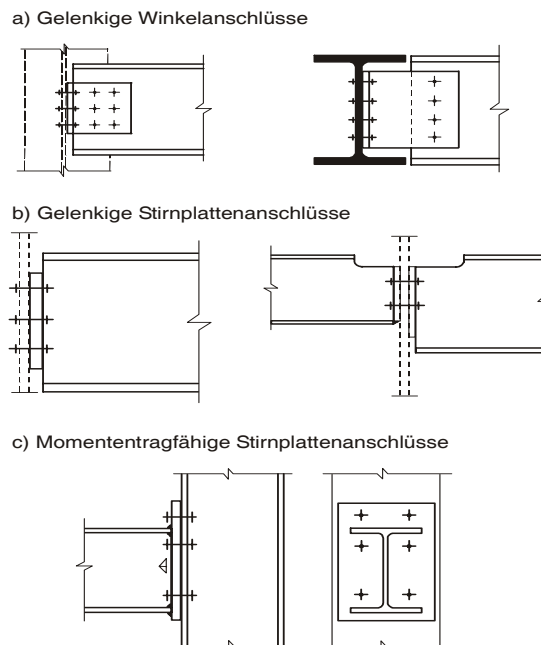
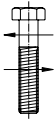
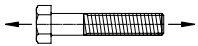


Bild 21: Beispiele für typisierte Anschlüsse

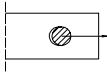
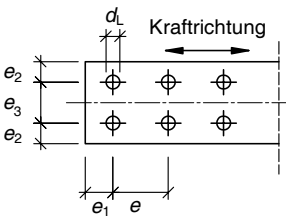
Anwendungen von Schrauben im Stahlbau

DIN 18800		Schaft: $V_{a,R,d} = \alpha_a A_{Sch} f_{u,b,k} / \gamma_M$ $\alpha_a = 0,60$ für Schrauben 4.6, 5.6 und 8.8, $\alpha_a = 0,55$ für Schrauben 10.9							
		Gewinde: $V_{a,R,d} = \alpha_a A_{Sp} f_{u,b,k} / \gamma_M$ $\alpha_a = 0,60$ für Schrauben 4.6, 5.6 und 8.8, $\alpha_a = 0,44$ für Schrauben 10.9 $\gamma_M = 1,1$ bzw. $\gamma_M = 1,25$ für einschnittige ungestützte Verbindungen (Bild 12a)							
Lage Scherfuge	Festigkeitsklasse	Schraubengröße							
		M 12	M 16	M 20	M 22	M 24	M 27	M 30	M 36
Scherfuge im Schaft	4.6	24,68	43,87	68,54	82,94	98,70	124,9	154,2	222,1
	5.6	30,84	54,84	85,68	103,7	123,4	156,2	192,8	277,6
	8.8	49,35	87,74	137,1	165,9	197,4	249,8	308,4	444,2
	10.9	56,55	100,5	157,1	190,1	226,2	286,3	353,4	508,9
Scherfuge im Gewinde	4.6	18,39	34,25	53,45	66,11	77,02	100,1	122,4	178,3
	5.6	22,99	42,82	66,82	82,64	96,27	125,2	153,0	222,8
	8.8	36,79	68,51	106,9	132,2	154,0	200,3	244,8	356,5
	10.9	33,72	62,80	98,00	121,2	141,2	183,6	224,4	326,8
Scherfuge im Schaft (Paßschrauben)	4.6	28,96	49,52	75,57	90,65	107,1	134,3	164,7	234,6
	5.6	36,20	61,90	94,46	113,3	133,9	167,9	205,8	293,2
	8.8	57,92	99,05	151,1	181,3	214,2	268,7	329,4	469,2
	10.9	66,37	113,5	173,2	207,7	245,4	307,9	377,4	537,6


Tafel 14: Grenzabscherkräfte je Schraube und Scherfuge in kN nach DIN 18800 Teil 1

DIN 18800		$N_{R,d} = \min \left\{ \begin{array}{l} A_{Sch} f_{y,b,k} / (1,1 \gamma_M) \\ A_{Sp} f_{u,b,k} / (1,25 \gamma_M) \end{array} \right.$ $\gamma_M = 1,1$							
Festigkeitsklasse		Schraubengröße							
		M 12	M 16	M 20	M 22	M 24	M 27	M 30	M 36
rohe Schrauben	4.6	22,43	39,88	62,31	75,40	89,73	113,6	140,2	201,9
	5.6	28,04	49,85	77,89	94,25	112,2	142,0	175,3	252,4
Paßschrauben	4.6	24,52	45,02	68,70	82,41	97,36	122,1	149,7	213,3
	5.6	30,65	56,28	85,87	103,0	121,7	152,7	187,1	266,7
alle Schrauben	8.8	49,05	91,35	142,5	176,3	205,4	267,1	326,4	475,3
	10.9	61,31	114,2	178,2	220,4	256,7	333,8	408,0	594,2

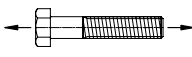
Tafel 15: Grenzzugkräfte je Schraube in kN nach DIN 18800 Teil 1

DIN 18800		$V_{l,R,d} = \alpha_1 t d_{Sch} f_{y,k} / \gamma_M$ $\gamma_M = 1,1$
	<p>Für Schrauben, bei denen der <u>Randabstand</u> in Krafrichtung maßgebend ist und $e_1 \geq 1,2 d_L$:</p> <p>$\alpha_1 = \min (0,73 e_1/d_L - 0,2 ; 2,0)$ für $e_2 = 1,2 d_L$ und $e_3 = 2,4 d_L$ $\alpha_1 = \min (1,10 e_1/d_L - 0,3 ; 3,0)$ für $e_2 \geq 1,5 d_L$ und $e_3 \geq 3,0 d_L$</p> <p>Für Schrauben, bei denen der <u>Lochabstand</u> in Krafrichtung maßgebend ist und $e \geq 2,2 d_L$:</p> <p>$\alpha_1 = \min (0,72 e/d_L - 0,51 ; 2,0)$ für $e_2 = 1,2 d_L$ und $e_3 = 2,4 d_L$ $\alpha_1 = \min (1,08 e/d_L - 0,77 ; 3,0)$ für $e_2 \geq 1,5 d_L$ und $e_3 \geq 3,0 d_L$</p> <p>Für Rand- und/oder Lochabstände quer zur Krafrichtung $1,2 d_L < e_2 < 1,5 d_L$ bzw. $2,4 d_L < e_3 < 3,0 d_L$ darf linear interpoliert werden.</p>	

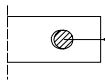
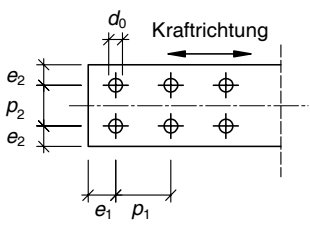
Tafel 16: Grenzlochleibungskräfte in kN nach DIN 18800 Teil 1

DIN V ENV 1993		Schaft:	$F_{v,Rd} = 0,6 A_s f_{ub} / \gamma_{Mb}$	für alle Schrauben					
		Gewinde:	$F_{v,Rd} = 0,6 A_s f_{ub} / \gamma_{Mb}$	für Schrauben 4.6, 5.6 und 8.8					
			$F_{v,Rd} = 0,5 A_s f_{ub} / \gamma_{Mb}$	für Schrauben 10.9					
		$\gamma_{Mb} = 1,25$							
Lage Scherfuge	Festigkeitsklasse	Schraubengröße							
		M 12	M 16	M 20	M 22	M 24	M 27	M 30	M 36
Scherfuge im Schaft	4.6	21,71	38,60	60,32	72,99	86,86	109,9	135,7	195,4
	5.6	27,14	48,25	75,40	91,23	108,6	137,4	169,6	244,3
	8.8	43,43	77,21	120,6	146,0	173,7	219,9	271,4	390,9
	10.9	54,29	96,51	150,8	182,5	217,1	274,8	339,3	488,6
Scherfuge im Gewinde	4.6	16,19	30,14	47,04	58,18	67,78	88,13	107,7	156,9
	5.6	20,23	37,68	58,80	72,72	84,72	110,2	134,6	196,1
	8.8	32,37	60,29	94,08	116,4	135,6	176,3	215,4	313,7
	10.9	33,72	62,80	98,00	121,2	141,2	183,6	224,4	326,8
Scherfuge im Schaft (Paßschrauben)	4.6	25,48	43,58	66,50	79,77	94,25	118,2	144,9	206,4
	5.6	31,86	54,48	83,13	99,71	117,8	147,8	181,1	258,1
	8.8	50,97	87,16	133,0	159,5	188,5	236,4	289,8	412,9
	10.9	63,71	109,0	166,3	199,4	235,6	295,6	362,3	516,1

Tafel 17: Grenzabscherkräfte je Schraube und Scherfuge in kN nach DIN V ENV 1993 Teil 1-1

DIN V ENV 1993		$F_{t,Rd} = 0,9 A_s f_{ub} / \gamma_{Mb}$						
		$\gamma_{Mb} = 1,25$						
Festigkeitsklasse	Schraubengröße							
	M 12	M 16	M 20	M 22	M 24	M 27	M 30	M 36
4.6	24,28	45,22	70,56	87,26	101,7	132,2	161,6	235,3
5.6	30,35	56,52	88,20	109,1	127,1	165,2	202,0	294,1
8.8	48,56	90,43	141,1	174,5	203,3	264,4	323,1	470,6
10.9	60,70	113,0	176,4	218,2	254,2	330,5	403,9	588,2

Tafel 18: Grenzzugkräfte je Schraube in kN nach DIN V ENV 1993 Teil 1-1

DIN V ENV 1993		$F_{b,Rd} = 2,5 \alpha t d f_u / \gamma_{Mb}$
		$\gamma_{Mb} = 1,25$
	Für Schrauben, bei denen der <u>Randabstand</u> oder <u>Lochabstand</u> in Krafrichtung maßgebend ist ($e_1 \geq 1,2 d_o$ und $p_1 \geq 1,2 d_o$):	
	$\alpha = \min \left(\frac{e_1}{3 d_o} ; \frac{p_1}{3 d_o} - \frac{1}{4} ; \frac{f_{ub}}{f_u} ; 1 \right)$ für $e_2 \geq 1,5 d_o$ und $p_2 \geq 3,0 d_o$	
	Für Rand- und/oder Lochabstände quer zur Krafrichtung $e_2 = 1,2 d_o$ bzw. $p_2 = 2,4 d_o$ ist $F_{b,Rd}$ auf 2/3 ihres Wertes abzumindern.	
	Für Zwischenwerte $1,2 d_o < e_2 < 1,5 d_o$ bzw. $2,4 d_o < p_2 < 3,0 d_o$ darf linear interpoliert werden.	

Tafel 19: Grenzlochleibungskräfte in kN nach DIN V ENV 1993 Teil 1-1

5 Normen

- DIN 13 - Gewindearten
- DIN 407 - Sinnbilder für Niete, Schrauben und Lochdurchmesser
- DIN 434/435 - Scheiben, vierkant, keilförmig für U-Träger bzw. I-Träger
- DIN 6914/6915 - Sechskantschrauben und Muttern mit großen Schlüsselweiten, HV-Schrauben in Stahlkonstruktionen.
- DIN 6916/6917/6918 - Scheiben für HV-Schrauben in Stahlkonstruktionen.
- DIN 7968 - Sechskant-Paßschrauben
- DIN 7969 - Senkschrauben mit Schlitz
- DIN 7989 - Scheiben für Stahlkonstruktionen
- DIN 7990 - Sechskantschrauben mit Sechskantmutter für Stahlkonstruktionen
- DIN 7999 - Sechskantpaßschrauben, hochfest, mit großen Schlüsselweiten für Stahlkonstruktionen
- DIN 17111 - Kohlenstoffarme, unlegierte Stähle für Schrauben, Muttern und Nieten
- DIN 18800 Teil 1 - Stahlbauten; Bemessung und Konstruktion
- DIN V 18800 Teil 7 - Stahlbauten - Ausführungen und Herstellerqualifikation
- DIN EN 20 898 - Mechanische Eigenschaften von Verbindungselementen
- DIN EN 24 014 - Sechskantschrauben mit Schaft
- DIN EN 24 017 - Sechskantschrauben mit Gewinde bis Kopf
- DIN EN 24 032 - Sechskantmutter, Typ 1
- DIN EN 24 034 - Sechskantmutter
- DIN V ENV 1993 Teil 1-1 - Eurocode 3: Bemessung und Konstruktion von Stahlbauten, Teil 1-1: Allgemeine Bemessungsregeln, Bemessungsregeln für den Hochbau

6 Schrifttum

- [1] Hotz, R.: Bessere Ausnutzbarkeit von typisierten Verbindungen, Stahlbau 60 (1991), S. 235-239.
- [2] Oberegge, O; Hockelmann, H.-P.: Bemessungshilfen für profilorientiertes Konstruieren, Stahlbau-Verlagsges. mbH, 3. Auflage, Köln 1997.
- [3] DIN: Grundlagen zur Festlegung von Sicherheitsanforderungen für bauliche Anlagen, Beuth Verlag, Berlin, 1981.
- [4] Typisierte Anschlüsse im Stahlhochbau, Stahlbau-Verlags-GmbH, Düsseldorf 2000
- [5] Sparenberg, H.: Internationale Normung von Sechskantschrauben und Muttern, DIN-Mitteilungen und Elektronorm 58 (1979), Nr. 9, S. 557-561.
- [6] Weynand, K.: Sicherheits- und Wirtschaftlichkeitsuntersuchungen zur Anwendung nachgiebiger Anschlüsse im Stahlbau, Diss RWTH Aachen, Shaker Verlag, 1997.
- [7] Dubbel: Taschenbuch für den Maschinenbau, Springer-Verlag, Berlin, Heidelberg, New York, 14. Auflage, 1981.
- [8] Nather, F.: Standsicherheit von Stahlbauten unter Berücksichtigung der Nachgiebigkeit der Verbindungen, Mitt. Lehrstuhl für Stahlbau, Universität München, 1980.
- [9] Steinhardt, O., Möhler, K.: Versuche zur Anwendung vorgespannter Schrauben im Stahlbau Berichte des DAST, Köln, Teil 1, Heft 18, 1954; Teil II, Heft 22, 1959; Teil III, Heft 24, 1962; Teil IV, Heft 25, 1969.
- [10] Steinhardt, O.: Stand der Verbindungstechnik im Metallbau Abhandlungen der IVBH, Band 26, Zürich 1966.
- [11] Valtinat, G.: Der Einsatz der Feuerverzinkung im Stahlbau - im Hinblick auf Schraubenverbindungen. Hrsg. DAST und DSTV Köln, Gemeinschaftsausschuß Verzinken e.V. Düsseldorf, Verband Deutscher Feuerverzinkereien Hagen, 1976.
- [12] Valtinat, G.: Regelanschlüsse im Stahlbau, Teil 2. Biegesteife HV Stirnplatten-Verbindungen. Bericht der Versuchsanstalt für Stahl, Holz und Steine der Universität Karlsruhe 1974.
- [13] Fisher, J. W., Struik, J. H. A.: Guide to Design Criteria for Bolted and Riveted Joints. Verlag J. Wiley & Sons, New York, Sidney, London, Toronto 1974.

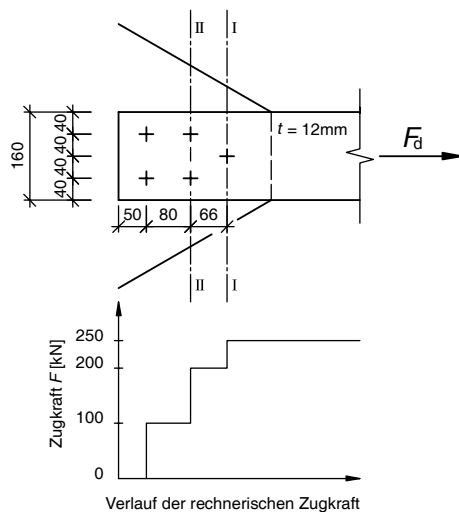
7 Berechnungsbeispiele

Hinweis:

Die Berechnung der Bemessungswerte der Einwirkungen kann für die Nachweisführung nach DIN 18800 bzw. DIN V ENV 1993 zu unterschiedlichen Resultaten führen. In den folgenden Beispielen wird angenommen, daß die Bemessungswerte der Einwirkungen $F_{d,DIN}$ und $F_{d,EC3}$

gleich sind, um Unterschiede bei den Nachweisen besser sichtbar machen zu können. Es sei an dieser Stelle aber ausdrücklich auf das „Mischverbot“ bei der Anwendung der Normen hingewiesen, d.h. Berechnung und Nachweise für ein Bauwerk müssen vollständig entweder nach DIN oder nach EC3 geführt werden.

7.1 Beispiel 1: SL-Verbindung, Zugstab



Zugstab Blech 160 x 12, S235 (früher St 37)

Stabquerschnittsfläche $A = 19,2 \text{ cm}^2$

Anschluß 5 M 24 DIN 7990 - 4.6

Lochdurchmesser $d_L = 25 \text{ mm}$,

Schraubenschaftquerschnitt M 24 :

$A = 452 \text{ mm}^2 = 4,52 \text{ cm}^2$

Anschlußkraft:

Bemessungswert der Einwirkungen

$F_d = 345 \text{ kN}$

7.1.1 Nachweis nach DIN 18800 Teil 1

Tabelle 1 für S235 (St 37) und $t \leq 40 \text{ mm}$:

$f_y = 240 \text{ N/mm}^2$

Schrauben auf Abscheren:

(Element 804, 408, 720)

Grenzabscherkraft :

$\alpha_a = 0,6$ (für Schrauben der Festigkeitsklasse 4.6)

$$V_{a,R,d} = A \cdot \alpha_a \cdot \frac{f_{u,b,k}}{\gamma_M} = 4,52 \cdot 0,6 \cdot \frac{40}{1,1} = 98,6 \text{ kN}$$

Lasche auf Lochleibung:

(Element 805, 513)

Lochdurchmesser: $d_L = 25 \text{ mm}$

Rand- und Lochabstand in Kraftrichtung:

$e_1 = 50 \text{ mm} > 1,2 \cdot d_L = 30 \text{ mm}$

$e = 80 \text{ mm}$ bzw. $e = 66 \text{ mm} > 2,2 \cdot d_L = 55 \text{ mm}$

7.1.2 Nachweis nach DIN V ENV 1993 Teil 1-1

Tabelle 3.1 für S235 und $t \leq 40 \text{ mm}$:

$f_y = 235 \text{ N/mm}^2$

Schrauben auf Abscheren:

(Tabelle 6.5.3)

Scherkraft je Schraube und Scherfuge:

$$F_{v,Sd} = \frac{1}{5} \cdot 345 = 69 \text{ kN}$$

Grenzabscherkraft :

$c_1 = 0,6$ (für Schrauben der Festigkeitsklasse 4.6)

$$F_{v,Rd} = c_1 \cdot f_{u,b} \cdot \frac{A}{\gamma_{Mb}} = 0,6 \cdot 40 \cdot \frac{4,52}{1,25} = 86,8 \text{ kN}$$

Nachweis:

$$F_{v,Sd}/F_{v,Rd} = 69/86,8 = 0,79 < 1,0$$

Lasche auf Lochleibung:

(Abschnitt 6.5.1 und Tabelle 6.5.3)

Lochdurchmesser: $d_o = 25 \text{ mm}$

Rand- und Lochabstand in Kraftrichtung:

$e_1 = 50 \text{ mm} > 1,2 \cdot d_o = 30 \text{ mm}$

$p_1 = 80 \text{ mm}$ bzw. $p_1 = 66 \text{ mm} > 2,2 \cdot d_o = 55 \text{ mm}$

Anwendungen von Schrauben im Stahlbau

Nachweise nach DIN 18800 (Forts.)

Rand- und Lochabstand quer zur Krafrichtung:
 $e_2 = 40 \text{ mm} > 1,5 \cdot d_L = 37,5 \text{ mm}$ (keine Abmind.)
 $e_3 = 80 \text{ mm} > 3,0 \cdot d_L = 75 \text{ mm}$ (keine Abmind.)

Alle Schrauben können einzeln betrachtet werden, wenn die einzelnen Schraubenkräfte beim Nachweis auf Abscheren berücksichtigt werden.

Grenzlochleibungskräfte $V_{l,R,d}$:

1. Schraubenreihe ($e_1 = 50 \text{ mm}$):

$$\alpha_1 = 1,1 \cdot \frac{e_1}{d_L} - 0,3 = 1,1 \cdot \frac{50}{25} - 0,3 = 1,9$$

$$V_{l,R,d} = t \cdot d_{sch} \cdot \alpha_1 \cdot \frac{f_{y,k}}{\gamma_M}$$

$$= 1,2 \cdot 2,4 \cdot 1,9 \cdot \frac{24}{1,1}$$

$$= 119,4 \text{ kN} > 98,6 \text{ kN} = V_{a,R,d}$$

2. Schraubenreihe ($e = 80 \text{ mm}$):

$$\alpha_1 = 1,08 \cdot \frac{e}{d_L} - 0,77 = 1,08 \cdot \frac{80}{25} - 0,77 = 2,69$$

$$V_{l,R,d} = 1,2 \cdot 2,4 \cdot 2,69 \cdot \frac{24}{1,1}$$

$$= 169,0 \text{ kN} > 98,6 \text{ kN} = V_{a,R,d}$$

3. Schraubenreihe ($e = 66 \text{ mm}$):

$$\alpha_1 = 1,08 \cdot \frac{66}{25} - 0,77 = 2,08$$

$$V_{l,R,d} = 1,2 \cdot 2,4 \cdot 2,08 \cdot \frac{24}{1,1}$$

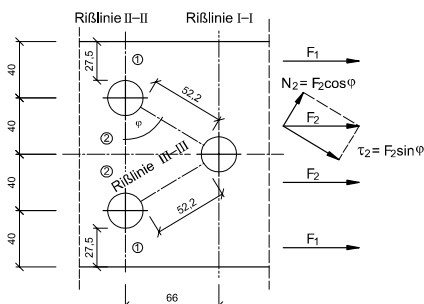
$$= 130,7 \text{ kN} > 98,6 \text{ kN} = V_{a,R,d}$$

Die Grenzlochleibungskräfte $V_{l,R,d}$ können nicht ausgenutzt werden, weil in allen Fällen die Grenzabscherkraft überschritten wird.

Nachweis für Summe der maßgebenden Beanspruchbarkeiten:

$$\frac{345}{5 \cdot 98,6} = 0,70 < 1,0$$

Lasche auf Zug: (Element 742)



Nachweise nach DIN V ENV 1993 (Forts.)

Rand- und Lochabstand quer zur Krafrichtung:
 $e_2 = 40 \text{ mm} > 1,5 \cdot d_o = 37,5 \text{ mm}$ (keine Abmind.)
 $p_2 = 80 \text{ mm} > 3,0 \cdot d_o = 75 \text{ mm}$ (keine Abmind.)

Alle Schrauben sind als Gruppe zu betrachten.

Grenzlochleibungskraft $V_{b,R,d}$:

Reduktionsfaktor zur Berücksichtigung der Rand- und Lochabstände:

$$\alpha = \min \left(\frac{e_1}{3 \cdot d_o} ; \frac{p_1}{3 \cdot d_o} - \frac{1}{4} ; \frac{f_{ub}}{f_u} ; 1,0 \right)$$

$$\alpha = \min (50/75 = 0,67 ; 66/75 - 1/4 = 0,63 ; 40/36 = 1,11 ; 1,0)$$

$$= 0,63$$

$$F_{b,R,d} = 2,5 \cdot \alpha \cdot f_u \cdot d \cdot t \cdot \frac{1}{\gamma_{Mb}}$$

$$= 2,5 \cdot 0,63 \cdot 36 \cdot 2,4 \cdot 1,2 \cdot \frac{1}{1,25}$$

$$= 130,6 \text{ kN} > 86,8 \text{ kN} = F_{v,R,d}$$

(d.h. Abscheren ist maßgebend)

Lasche auf Zug:

Fließen im Bruttoquerschnitt:

$$N_{R,d} = \frac{A \cdot f_y}{\gamma_{M0}} = \frac{16,0 \cdot 1,2 \cdot 23,5}{1,1}$$

$$N_{R,d} = 410,2 \text{ kN}$$

Nachweis:

$$N_{s,d}/N_{R,d} = 345/410,2 = 0,84 < 1,0$$

Nachweise nach DIN 18800 (Forts.)

Rißlinie I-I:

$$A_{\text{Netto}} = (16,0 - 2,5) \cdot 1,2 = 13,5 \cdot 1,2 = 16,2 \text{ cm}^2$$

$$A_{\text{Brutto}} / A_{\text{Netto}} = 19,2 / 16,2 = 1,19 < 1,2, \text{ d.h.}$$

Nachweis ohne Lochabzug zulässig (siehe Element 742, Bedingung (27))

$$\sigma_d = 345 / 19,2 = 17,97 \text{ kN/cm}^2$$

$$\sigma_{R,d} = f_{y,k} / \gamma_M = 24 / 1,1 = 21,82 \text{ kN/cm}^2$$

Nachweis:

$$\sigma_d / \sigma_{R,d} = 17,97 / 21,82 = 0,82 < 1,0$$

Rißlinie II-II:

$$A_{\text{Netto}} = 13,2 \text{ cm}^2$$

$$A_{\text{Brutto}} / A_{\text{Netto}} = 19,2 / 13,2 = 1,45 > 1,2$$

Löcher gebohrt (nicht gestanzt), d.h. die Zugkraft $N_{R,d}$ darf mit der Zugfestigkeit des Werkstoffs berechnet werden (Element 742, Gleichung (28))

$$N_{R,d} = A_{\text{Netto}} \cdot f_{u,k} / (1,25 \cdot \gamma_M)$$

$$= 13,2 \cdot 36 / (1,25 \cdot 1,1) = 345,6 \text{ kN}$$

$$N_d = 345 - \frac{1}{5} \cdot 345 = 276,0 \text{ kN}$$

Nachweis:

$$N_d / N_{R,d} = 276 / 345,6 = 0,80 < 1,0$$

Rißlinie III-III: (Zick-Zack-Linie)

Es wird der Nachweis geführt mit den einzelnen Teilkraften entlang der Zick-Zack-Linie, berechnet aus den jeweiligen Nettoquerschnittflächen und den Grenzwerten der Beanspruchbarkeit.

Bereich ①:

$$N_{R,d①} = A_1 \cdot \frac{f_{u,k}}{1,25 \cdot \gamma_M} = 2,75 \cdot 1,2 \cdot \frac{36}{1,25 \cdot 1,1}$$

$$= 86,4 \text{ kN}$$

Bereich ② (schräg):

$$N_{R,d②} = \frac{A_2}{\sqrt{\cos^2 \Phi + 3 \cdot \sin^2 \Phi}} \cdot \frac{f_{u,k}}{1,25 \cdot \gamma_M}$$

$$= \frac{5,22 \cdot 1,2}{1,569} \cdot \frac{36}{1,25 \cdot 1,1} = 104,5 \text{ kN}$$

$$N_{R,d} = 2 \cdot 86,4 + 2 \cdot 104,5 = 381,8 \text{ kN}$$

Nachweis:

$$N_d / N_{R,d} = 345 / 381,8 = 0,90 < 1,0$$

Nachweise nach DIN V ENV 1993 (Forts.)

Rißlinie I-I: (Bruch im Nettoquerschnitt)

$$N_{\text{net,Rd}} = 0,9 \cdot \frac{A_{\text{net}} \cdot f_u}{\gamma_{M2}}$$

$$N_{\text{net,Rd}} = 0,9 \cdot \frac{(19,2 - 1,2 \cdot 2,5) \cdot 36}{1,25}$$

$$= 419,9 \text{ kN}$$

Nachweis:

$$N_{Sd} / N_{\text{net,Rd}} = 345 / 419,9 = 0,82 < 1,0$$

Rißlinie II-II:

$$N_{\text{net,Rd}} = 0,9 \cdot \frac{(19,2 - 2 \cdot 1,2 \cdot 2,5) \cdot 36}{1,25}$$

$$= 342,1 \text{ kN}$$

$$N_{Sd} = 345 - \frac{1}{5} \cdot 345$$

$$= 276 \text{ kN}$$

Nachweis:

$$N_{Sd} / N_{\text{net,Rd}} = 276 / 342,1 = 0,81 < 1,0$$

Rißlinie III-III: (Zick-Zack-Linie)

Nach Abschn. 5.4.2.2 (4) ist

$$A_{\text{netIII}} = A - \Delta A_{\text{III}}$$

mit:

$$\Delta A_{\text{III}} = \Sigma \Delta A_L - \Sigma \frac{s^2 \cdot t}{4 \cdot p}$$

$$= 3 \cdot 1,2 \cdot 2,5 - 2 \cdot \frac{6,6^2 \cdot 1,2}{4 \cdot 4,0}$$

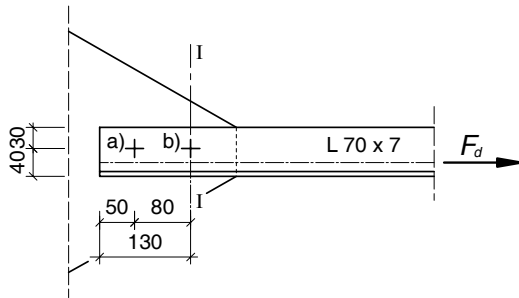
$$= 9,0 - 6,534 = 2,466 \text{ cm}^2$$

$$A_{\text{netIII}} = A - \Delta A_{\text{III}} = 19,2 - 2,466$$

$$= 16,73 \text{ cm}^2 > A_{\text{netI}} = 16,2 \text{ cm}^2,$$

d.h. nicht maßgebend

7.2 Beispiel 2: SLP-Verbindung, Zugstab



Stahl S235 (St37)
 Stab L 70x7, St 37, $A = 9,4 \text{ cm}^2$
 Restquerschnitt bei $d_L = 21 \text{ mm}$:
 $A_{\text{net}} = 9,4 - (0,7 \cdot 2,1) = 7,93 \text{ cm}^2$
 Anschluß: 2 M 20
 DIN 7968 -4.6 Paßschrauben

7.2.1 Nachweis nach DIN 18800 Teil 1

Tabelle 1 für S235 (St 37) und $t \leq 40 \text{ mm}$:
 $f_y = 240 \text{ N/mm}^2$

Schrauben auf Abscheren:
 (Element 804, 408, 720)

Grenzabscherkraft:
 $\alpha_a = 0,6$ (für Schrauben der Festigkeitsklasse 4.6)

$$V_{a,R,d} = 3,46 \cdot 0,6 \cdot \frac{40}{1,1} = 75,5 \text{ kN}$$

L 70 x 7 auf Lochleibung:

Lochdurchmesser: $d_L = 21 \text{ mm}$
 Randabstand in Krafrichtung:
 $e_1 = 50 \text{ mm} > 1,2 \cdot d_L = 25,2 \text{ mm}$
 Lochabstand in Krafrichtung:
 $e = 80 \text{ mm} > 2,2 \cdot d_L = 46,2 \text{ mm}$

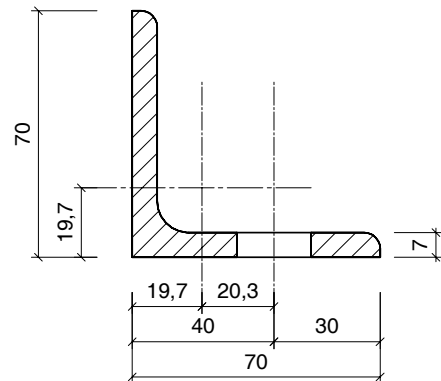
Randabstand quer zur Krafrichtung:

$$\frac{e_2}{d_L} = \frac{30}{21} = 1,43; \Rightarrow e_2 = 1,43 \cdot d_L$$

d.h. $1,2 \cdot d_L < e_2 < 1,5 \cdot d_L$

Für Zwischenwerte von e_2 darf linear interpoliert werden.

Schnitt I - I, L 70x7 :



Anschlußkraft:
 Bemessungswert der Einwirkungen
 $F_d = 117 \text{ kN}$

7.2.2 Nachweis nach DIN V ENV 1993 Teil1-1

Tabelle 3.1 für S235 und $t \leq 40 \text{ mm}$:
 $f_y = 235 \text{ N/mm}^2$

Schrauben auf Abscheren:
 (Tabelle 6.5.3)
 Scherkraft je Schraube und Scherfuge:

$$F_{v,Sd} = \frac{1}{2} \cdot 117 = 58,5 \text{ kN}$$

Grenzabscherkraft:
 $c_1 = 0,6$ (für Schrauben der Festigkeitsklasse 4.6)

$$F_{v,Rd} = 0,6 \cdot 40 \cdot 3,46 \cdot \frac{1}{1,25} = 66,4 \text{ kN}$$

Nachweis:

$$\frac{F_{v,Sd}}{F_{v,Rd}} = \frac{58,5}{66,4} = 0,88 < 1$$

L 70 x 7 auf Lochleibung:

Lochdurchmesser: $d_0 = 21 \text{ mm}$
 Randabstand in Krafrichtung:
 $e_1 = 50 \text{ mm} > 1,2 \cdot d_0 = 25,2 \text{ mm}$
 Lochabstand in Krafrichtung:
 $p_1 = 80 \text{ mm} > 2,2 \cdot d_0 = 46,2 \text{ mm}$

Randabstand quer zur Krafrichtung:

$$\frac{e_2}{d_0} = \frac{30}{21} = 1,43; \Rightarrow e_2 = 1,43 \cdot d_0$$

d.h. $1,2 \cdot d_0 < e_2 < 1,5 \cdot d_0$

Die Grenzlochleibungskraft ist aufgrund des kleinen Randabstandes abzumindern.

Nachweise nach DIN 18800 (Forts.)

Alle Schrauben sind einzeln zu betrachten:

Es gilt für die Schraube a) :

Randabstand in Kraftrichtung:

$$e_1 = 50 \text{ mm} \quad (1,2 \cdot d_L < e_1 < 3 \cdot d_L)$$

$$\text{für } e_2 = 1,2 \cdot d_L \text{ gilt: } \alpha_1 = 0,73 \cdot \frac{e_1}{d_L} - 0,2 = 1,54;$$

$$\text{für } e_2 = 1,5 \cdot d_L \text{ gilt: } \alpha_1 = 1,1 \cdot \frac{e_1}{d_L} - 0,3 = 2,32;$$

Bei linearer Interpolation ergibt sich damit für

$$e_2 = 1,43 \cdot d_L \text{ und } e_1 = 50 \text{ mm:}$$

$$\alpha_1 = 2,14$$

$$V_{1,R,d} = 0,7 \cdot 2,1 \cdot 2,14 \cdot 24/1,1$$

$$= 68,64 \text{ kN}$$

$$< V_{a,R,d} = 75,5 \text{ kN}$$

Lochleibung ist maßgebend.

(Anm. Paßschraube: $d_{SCH} = 21 \text{ mm}$ für M20)

Für die Schraube b) gilt:

Randabstand in Kraftrichtung:

$$e = 80 \text{ mm}, \quad \frac{e}{d_L} = \frac{80}{21} > 3,5 \text{ (oberer Grenzwert)}$$

e darf höchstens mit $3,5 d_L$ in Rechnung gestellt werden.

für $e_2 = 1,2 \cdot d_L$ ist:

$$\alpha_1 = 0,72 \cdot \frac{e}{d_L} - 0,51 = 0,72 \cdot 3,5 - 0,51 = 2,0$$

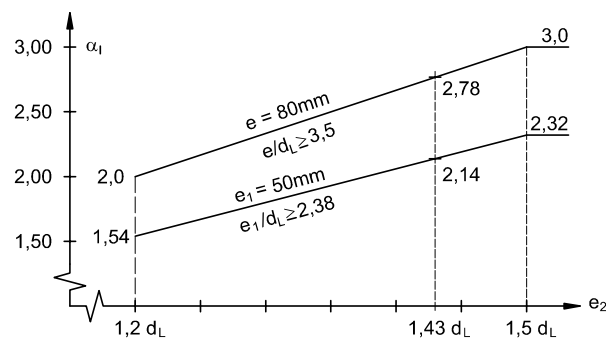
bzw. für $e_2 = 1,5 \cdot d_L$ ist:

$$\alpha_1 = 1,08 \cdot \frac{e}{d_L} - 0,77 = 1,08 \cdot 3,5 - 0,77 = 3,0$$

Bei linearer Interpolation ergibt sich damit für

$$e_2 = 1,43 \cdot d_L \text{ und } e = 80 \text{ mm:}$$

$$\alpha_1 = 2,78$$



Nachweise nach DIN V ENV 1993 (Forts.)

Für die Schraubenverbindung gilt:

$$\alpha = \min \left(\frac{50}{63} = 0,79; \frac{80}{63} - \frac{1}{4} = 1,02; \frac{40}{36} = 1,11; 1,0 \right)$$

$\alpha = 0,79$, d.h. die Schraube a) ist maßgebend.

Es gilt für die Schraube a) :

$$\text{für } e_2 = 1,5 \cdot d_0 :$$

$$F_{b,R,d} = 2,5 \cdot 0,79 \cdot 36 \cdot 2,1 \cdot 0,7 \cdot \frac{1}{1,25} = 83,6 \text{ kN}$$

Für $e_2 = 1,2 \cdot d_0$ gilt:

$$F_{b,R,d} = \frac{2}{3} \cdot 83,6$$

$$= 55,7 \text{ kN}$$

Damit ergibt sich nach linearer Interpolation

für $e_2 = 1,43 \cdot d_0$ und $e_1 = 50 \text{ mm}$:

$$F_{b,R,d} = 77,1 \text{ kN} > F_{v,R,d} \text{ Abscheren ist maßgebend!}$$

Anwendungen von Schrauben im Stahlbau

Nachweise nach DIN 18800 (Forts.)

Damit ist die Grenzlochleibungskraft $V_{l,R,d}$:

$$\begin{aligned} V_{l,R,d} &= 0,7 \cdot 2,1 \cdot 2,78 \cdot \frac{24}{1,1} \\ &= 89,16 \text{ kN} \\ &> V_{a,R,d} = 75,5 \text{ kN} \end{aligned}$$

Für diese Schraube ist Abscheren maßgebend.

Nachweis für die Summe der maßgebenden Beanspruchbarkeiten:

$$\frac{V_{al,d}}{V_{al,R,d}} = \frac{117}{68,6 + 75,5} = 0,81 < 1$$

L 70 x 7 auf Zug:

$$A_{\text{Brutto}} = 9,4 \text{ cm}^2$$

$$\text{Lochschwächung: } \Delta A = 0,7 \cdot 2,1 = 1,47 \text{ cm}^2$$

$$A_{\text{Netto}} = 9,4 - 1,47 = 7,93 \text{ cm}^2$$

$$\frac{A_{\text{Brutto}}}{A_{\text{Netto}}} = \frac{9,4}{7,93} = 1,19 < 1,2$$

Also ist der Nachweis ohne Lochabzug möglich.

$$\begin{aligned} N_{R,d} &= A \cdot \frac{f_{y,k}}{\gamma_M} \\ &= 9,4 \cdot \frac{24}{1,1} \\ &= 205,1 \text{ kN} \end{aligned}$$

Nachweis:

$$\frac{N_d}{N_{R,d}} = \frac{117}{205,1} = 0,57 < 1$$

Nachweise nach DIN V ENV 1993 (Forts.)

Nachweis: Nicht erforderlich da nicht maßgebend.

L 70 x 7 auf Zug:

Bruttoquerschnitt:

$$N_{R,d} = \frac{9,4 \cdot 23,5}{1,1} = 200,8 \text{ kN} > N_d = 117 \text{ kN}$$

Nettoquerschnitt:

Reduktionsfaktor β nach ENV 1993-1-1 Abschnitt 6.5.2.3 mit $p_1 = 80 \text{ mm} = 3,81 \cdot d_0$

$$-\beta_2 = 0,557 \text{ (nach linearer Interpolation)}$$

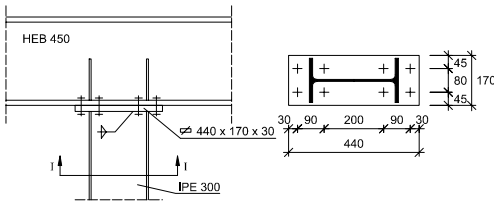
$$A_{\text{Netto}} = 9,4 - 0,7 \cdot 2,1 = 7,93 \text{ cm}^2$$

$$\begin{aligned} N_{u,R,d} &= \frac{\beta_2 \cdot A_{\text{Netto}} \cdot f_u}{\gamma_{M2}} \\ &= \frac{0,557 \cdot 7,93 \cdot 36}{1,25} \\ &= 127,2 \text{ kN} \end{aligned}$$

Nachweis:

$$\frac{N_{t,Sd}}{N_{u,R,d}} = \frac{117}{127,2} = 0,92 < 1$$

7.3 Beispiel 3: Zugstabanschluß ohne Vorspannung



Anschluß: 8 M 22 DIN 6914 - 10.9
ohne planmäßige Vorspannung

Bemessungswerte der Einwirkungen:

$$F_d = 1327,5 \text{ kN}$$

7.3.1 Nachweis nach DIN 18800 Teil 1

Zugkraft je Schraube:

$$N_d = \frac{1327,5}{8} = 166 \text{ kN}$$

Beanspruchbarkeit der Schrauben auf Zug:

$$N_{R,d} = \min \left[A \cdot \frac{f_{y,b,k}}{1,1 \cdot \gamma_M}; A_S \cdot \frac{f_{u,b,k}}{1,25 \cdot \gamma_M} \right]$$

$$N_{R,d} = \min \left\{ \begin{array}{l} 3,80 \cdot \frac{90}{1,1 \cdot 1,1} = 283 \text{ kN} \\ 3,03 \cdot \frac{100}{1,25 \cdot 1,1} = 220 \text{ kN} \end{array} \right.$$

Nachweis:

$$\frac{N_d}{N_{R,d}} = \frac{166}{220} = 0,75 < 1,0$$

7.3.2 Nachweis nach DIN V ENV 1993 Teil1-1

Zugkraft je Schraube:

$$F_{t,Sd} = \frac{1327,5}{8} = 166 \text{ kN}$$

Beanspruchbarkeit der Schrauben auf Zug:

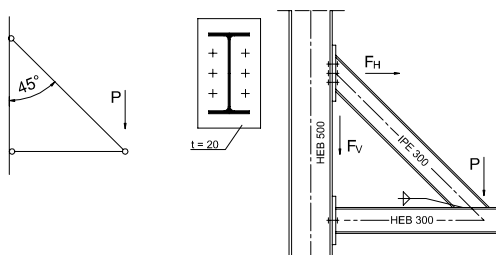
$$F_{t,Rd} = 0,9 \cdot f_{ub} \cdot A_S \cdot \frac{1}{\gamma_{Mb}} = 0,9 \cdot 100 \cdot 3,03 \cdot \frac{1}{1,25}$$

$$F_{t,Rd} = 218,2 \text{ kN}$$

Nachweis:

$$\frac{F_{t,Sd}}{F_{t,Rd}} = \frac{166}{218} = 0,76 < 1,0$$

7.4 Beispiel 4: Anschluß mit Zug- und Querkraft



Anschluß:
6 M 24 DIN 7999 - 10.9; GVP
(Paßschrauben)

Bemessungswerte der Einwirkungen:

$$P_d = 840 \text{ kN}$$

$$F_H = 840 \text{ kN}; F_V = 840 \text{ kN}$$

7.4.1 Nachweis nach DIN 18800 Teil 1

Schrauben auf Abscheren:

Kraft je Schraube:

$$V_{a,d} = N_d = \frac{840}{6} = 140 \text{ kN je Schraube}$$

7.4.2 Nachweis nach DIN V ENV 1993 Teil1-1

Schrauben auf Abscheren:

Kraft je Schraube:

$$F_{v,Sd} = F_{t,Sd} = \frac{840}{6} = 140 \text{ kN je Schraube}$$

Nachweise nach DIN 18800 (Forts.)

Grenzabscherkraft:

$$V_{a,R,d} = \pi \cdot \frac{2,5^2}{4} \cdot 0,55 \cdot \frac{100}{1,1} = 245 \text{ kN}$$

Nachweis:

$$\frac{V_{a,d}}{V_{a,R,d}} = \frac{140}{245} = 0,57 < 1,0$$

Beanspruchbarkeit der Schrauben auf Zug:

Grenzzugkraft:

$$N_{R,d} = \min \left[A \cdot \frac{f_{y,b,k}}{1,1 \cdot \gamma_M}; A_S \cdot \frac{f_{u,b,k}}{1,25 \cdot \gamma_M} \right]$$

$$N_{R,d} = \min \left\{ \begin{array}{l} 4,91 \cdot \frac{90}{1,1 \cdot 1,1} = 365,2 \text{ kN} \\ 3,53 \cdot \frac{100}{1,25 \cdot 1,1} = 256,7 \text{ kN} \end{array} \right.$$

Nachweis:

$$\frac{N_d}{N_{R,d}} = \frac{140}{256,7} = 0,55 < 1,0$$

Beanspruchbarkeit der Schrauben auf Zug & Abscheren:

Interaktionsnachweis:

$$\left(\frac{N_d}{N_{R,d}} \right)^2 + \left(\frac{V_{a,d}}{V_{a,R,d}} \right)^2 < 1,0$$

im Schaftquerschnitt gilt: (Scherfuge):

$$\frac{N_d}{N_{R,d}} = \frac{140}{365,2} = 0,38$$

Nachweis:

$$0,38^2 + 0,57^2 = 0,15 + 0,32 = 0,47 < 1,0$$

Nachweise nach DIN V ENV 1993 (Forts.)

Grenzabscherkraft:

$$F_{v,R,d} = A \cdot C_1 \cdot \frac{f_{ub}}{\gamma_{Mb}} = 4,91 \cdot 0,6 \cdot \frac{100}{1,25} = 235,7 \text{ kN}$$

Nachweis:

$$\frac{F_{v,Sd}}{F_{v,R,d}} = \frac{140}{235,7} = 0,60$$

Beanspruchbarkeit der Schrauben auf Zug:

Grenzzugkraft:

$$F_{t,R,d} = A_S \cdot 0,9 \cdot \frac{f_{ub}}{\gamma_{Mb}}$$

$$= 3,53 \cdot 0,9 \cdot \frac{100}{1,25}$$

$$= 254,2 \text{ kN}$$

Nachweis:

$$\frac{F_{t,Sd}}{F_{t,R,d}} = \frac{140}{254,2} = 0,55 < 1,0$$

Beanspruchbarkeit der Schrauben auf Zug & Abscheren:

Interaktionsnachweis:

$$\frac{F_{v,Sd}}{F_{v,R,d}} + \frac{F_{t,Sd}}{1,4 \cdot F_{t,R,d}} < 1,0$$

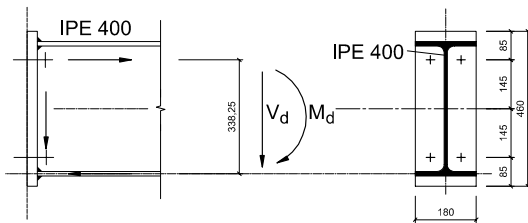
Zugkraft im Schaftquerschnitt: (Scherfuge):

$$F_{t,R,d} = A \cdot 0,9 \cdot \frac{f_{ub}}{\gamma_{Mb}} = 4,91 \cdot 0,9 \cdot \frac{100}{1,25} = 354 \text{ kN}$$

Nachweis:

$$\frac{140}{235,7} + \frac{140}{1,4 \cdot 354} = 0,60 + 0,28 = 0,88 < 1,0$$

7.5 Beispiel 5: Biegesteifer Stirnplattenanschluß



Ein vollständiger Nachweis des Anschlusses (Stirnplatte, Trägersteg, bzw. Trägerflansch, ggf. Stützenprofil und Schweißnähte) wird ausführlich in [4] behandelt.

Anschluß: 4 M 20 DIN 6914 - 10.9
mit planmäßiger Vorspannung

Bemessungswerte der Einwirkungen:

$$V_d = 300 \text{ kN}$$

$$M_d = 45 \text{ kNm}$$

Im folgenden Beispiel werden vereinfacht die Schrauben eines biegesteifen Stirnplattenanschlusses nachgewiesen. Dabei wird die Vertikalkraft voll den unteren beiden Schrauben zugeteilt, während die Zugkraft aus dem Moment von den beiden oberen Schrauben aufgenommen wird. Nachfolgend werden nur die Nachweise für die Schrauben gezeigt.

7.5.1 Nachweis nach DIN 18800 Teil 1

Schrauben auf Abscheren:

Kraft je Schraube:

$$V_{a,d} = \frac{V_d}{2} = \frac{300}{2} = 150 \text{ kN je Schraube}$$

Grenzabscherkraft:

$$V_{a,R,d} = \pi \cdot \frac{2,0^2}{4} \cdot 0,55 \cdot \frac{100}{1,1} = 157,1 \text{ kN}$$

Nachweis:

$$\frac{V_{a,d}}{V_{a,R,d}} = \frac{150}{157,1} = 0,95 < 1,0$$

Beanspruchbarkeit der Schrauben auf Zug:

Zugkraft je Schraube:

$$N_d = \frac{45}{0,338 \cdot 2} = 66,6 \text{ kN}$$

$$N_{R,d} = \min \left[A \cdot \frac{f_{y,b,k}}{1,1 \cdot \gamma_M}; A_S \cdot \frac{f_{u,b,k}}{1,25 \cdot \gamma_M} \right]$$

$$N_{R,d} = \min \left\{ \begin{array}{l} 3,14 \cdot \frac{90}{1,1 \cdot 1,1} = 233,7 \text{ kN} \\ 2,45 \cdot \frac{100}{1,25 \cdot 1,1} = 178,2 \text{ kN} \end{array} \right.$$

Nachweis:

$$\frac{N_d}{N_{R,d}} = \frac{66,6}{178,2} = 0,37 < 1,0$$

7.5.2 Nachweis nach DIN V ENV 1993 Teil1-1

Schrauben auf Abscheren:

Kraft je Schraube:

$$F_{v,Sd} = \frac{V_d}{2} = \frac{150}{2} = 150 \text{ kN je Schraube}$$

Grenzabscherkraft:

$$F_{v,Rd} = A \cdot C_1 \cdot \frac{f_{ub}}{\gamma_{Mb}} = \pi \cdot \frac{2,0^2}{4} \cdot 0,6 \cdot \frac{100}{1,25} = 150,8 \text{ kN}$$

Nachweis:

$$\frac{F_{v,Sd}}{F_{v,Rd}} = \frac{150}{150,8} = 0,99$$

Beanspruchbarkeit der Schrauben auf Zug:

Zugkraft je Schraube:

$$F_{t,Sd} = \frac{45}{0,338 \cdot 2} = 66,6 \text{ kN}$$

$$F_{t,Rd} = 0,9 \cdot f_{ub} \cdot A_S \cdot \frac{1}{\gamma_{Mb}} = 0,9 \cdot 100 \cdot 2,45 \cdot \frac{1}{1,25}$$

$$F_{t,Rd} = 176,4 \text{ kN}$$

Nachweis:

$$\frac{F_{t,Sd}}{F_{t,Rd}} = \frac{66,6}{176,4} = 0,38 < 1,0$$



Stahl-Information-Zentrum
Postfach 10 48 42
40039 Düsseldorf

E-Mail: siz@stahl-info.de · Internet: www.stahl-info.de

