

### Maße von Löchern für mechanische Verbindungsmittel

Das Nennlochspiel für runde Löcher ist definiert als das Differenzmaß  $\Delta d$  zwischen den Nenndurchmessern der Schraube und des Schraubenlochs. Bei Langlöchern ist das Nennlochspiel als Differenz zwischen der Lochlänge und dem Schraubendurchmesser definiert. Für runde Löcher ist die Ausführung als normal oder übergroß möglich, für Langlöcher als kurzes oder langes Langloch, siehe **Tabelle 1**. Das Nennlochspiel für Schrauben und Bolzen, die nicht in Passverbindungen eingesetzt werden, muss entsprechend Tabelle 1 festgelegt werden. Löcher für normale Schrauben müssen mit einer Toleranz von  $\pm 0,5$  mm in Bezug auf den Lochdurchmesser gefertigt werden, wobei der Lochdurchmesser bei gestanzten Löchern als der Mittelwert von Eintritts- und Austrittsdurchmesser angenommen wird.

Bei Passschrauben muss der Nennlochdurchmesser gleich dem Schaftdurchmesser der Schraube sein. Das Nennlochspiel für Passschrauben beträgt damit  $\Delta d = 0$ . Die Passung von Schaftdurchmesser der Schraube und Lochdurchmesser ist durch die Toleranzklasse H11 festgelegt. Die Grenzmaße der Löcher für Passschrauben sind in **Tabelle 2** zusammengestellt.

### Herstellung der Löcher für mechanische Verbindungsmittel

Die Herstellung von Löchern für Verbindungsmittel und Bolzen ist nach DIN EN 1090-2 in jeglicher Weise zugelassen, vorausgesetzt dass

- die lokale Härte und Qualität der Schnittflächen den Anforderungen nach DIN EN 1090-2 entspricht und
- die Verbindungsmittel ungehindert rechtwinklig zur in Kontakt befindlichen Bauteilaußenseite in die zusammengesetzten Bauteile eingesetzt werden können.

Das *manuelle Brennen* von runden Löchern ist nicht zulässig.

Runde Löcher mit Lochspiel nach Tabelle 1 dürfen durch *Bohren* oder *maschinelles thermisches Schneiden*, z. B. durch Laser- oder Plasmaschneiden, unter den genannten Voraussetzungen hergestellt werden. Das *Stanzen* von Löchern ist nur zulässig, sofern der Nennlochdurchmesser bzw. die kleinste Abmessung eines Langlochs größer oder gleich der Bauteilnennstärke ist, d. h.  $d_0 \geq t$  ist. Für die Ausführungsklassen EXC1 und EXC2 dürfen Löcher durch Stanzen ohne zusätzliches Aufreiben hergestellt werden. Für die Ausführungsklassen EXC3 und EXC4 darf das Stanzen ohne Aufreiben für Blechdicken  $t > 3$  mm

Nenndurchmesser d [mm] von Schrauben oder Bolzen		12	14	16	18	20	22	24	27	30	36
Lochspiel $\Delta d$	Normale runde Löcher <sup>a</sup>	1 <sup>b,c</sup>		2				3			
	Übergroße runde Löcher	3		4				6	8		
	Kurze Langlöcher <sup>d</sup>	4		6				8	10		
	Lange Langlöcher <sup>d</sup>	1,5 d									
Lochlänge $\varnothing d_0$	Normale runde Löcher <sup>a</sup>	13	15	18	20	22	24	26	30	33	39
	Übergroße runde Löcher	15	17	20	22	24	26	30	35	38	44
	Kurze Langlöcher <sup>d</sup>	16	18	22	24	26	28	32	37	40	46
	Lange Langlöcher <sup>d</sup>	30	35	40	45	50	55	60	67,5	75	90

<sup>a</sup> Bei Anwendungsfällen, wie z. B. bei Türmen und Masten, muss das Nennlochspiel für normale runde Löcher um 0,5 mm abgemindert werden, sofern nichts anderes festgelegt wird.

<sup>b</sup> Bei beschichteten Verbindungsmitteln kann das Nennlochspiel von 1 mm um die Überzugdicke erhöht werden.

<sup>c</sup> Schrauben mit Nenndurchmessern 12 und 14 mm oder Senkschrauben dürfen nach DIN EN 1993-1-8 auch mit einem Lochspiel von 2 mm eingesetzt werden, sofern  $F_{V,Rd} \leq F_{b,Rd}$  ist und wenn zusätzlich für FK 8.8 und 10.9 die Abschertragfähigkeit auf  $0,85 F_{V,Rd}$  abgemindert wird.

<sup>d</sup> Bei Schrauben in Langlöchern muss das Lochspiel in Querrichtung gleich dem für normale runde Löcher festgelegten Lochspiel beim entsprechenden Durchmesser sein.

**Tabelle 1:** Nennlochspiel und Nennlochdurchmesser bei Schrauben und Bolzen

Nenndurchmesser d [mm] von Passschrauben		12	16	20	22	24	27	30	36	
Nennschaftdurchmesser $d_s$ [mm] von Passschrauben		13	17	21	23	25	28	31	37	
Loch- $\varnothing$	Löcher für Passschrauben	Toleranzklasse H11 – obere Grenzabweichung								
		+0,110		+0,130				+0,160		
		$13_0^{+0,110}$	$17_0^{+0,110}$	$21_0^{+0,130}$	$23_0^{+0,130}$	$25_0^{+0,130}$	$28_0^{+0,130}$	$31_0^{+0,160}$	$37_0^{+0,160}$	

**Tabelle 2:** Löcher für Passschrauben

angewendet werden. Für Blechdicken  $t > 3$  mm ist das Stanzen der Löcher mit einem Untermaß des Durchmessers von mindestens 2 mm und dem anschließenden Aufreiben auf den Nennlochdurchmesser zulässig.

Löcher für Passschrauben dürfen entweder passend gebohrt oder vor Ort aufgerieben werden. Löcher, die vor Ort aufgerieben werden, müssen zunächst mit mindestens 3 mm Untermaß durch Bohren oder Stanzen ausgeführt werden. Wo das Verbindungsmittel durch mehrere Lagen hindurchgeht, müssen diese während des Bohrens oder Aufreibens fest zusammengehalten werden.

Lange Langlöcher müssen entweder in einem Arbeitsgang gestanzt oder durch Bohren oder Stanzen zweier Löcher mit anschließendem manuellem Brennschneiden hergestellt werden. Grate an Löchern müssen vor dem Zusammenbau entfernt werden. Werden Löcher in einem Arbeitsgang durch zusammengeklebte Teile gebohrt, die nach dem Bohren nicht getrennt werden, ist das Entgraten nur an den außenliegenden Lochrändern erforderlich.

### Anforderungen an die Schraubenlänge

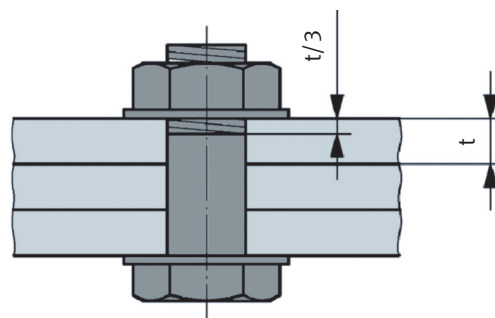
Für alle Kategorien von Schraubenverbindungen muss die Schraubenlänge so festgelegt werden, dass der Gewindeüberstand gemessen von der Mutteraußenseite zum Schraubenende mindestens einen Gewindegang ( $1 \times P$ ) beträgt. Bei nicht planmäßig vorgespannten Schrauben muss mindestens ein vollständiger Gewindegang ( $1 \times P$ ) zusätzlich zum Gewindeauslauf zwischen der Auflagefläche der Mutter und dem gewindefreien Teil des Schraubenschaftes verbleiben.

Bei planmäßig vorgespannten HV-Schrauben nach DIN EN 14399 müssen mindestens zwei vollständige Gewindegänge ( $2 \times P$ ) zusätzlich zum Gewindeauslauf zwischen der Auflagefläche der Mutter und dem gewindefreien Teil des Schraubenschaftes verbleiben. Die tabellierten Werte für Klemmlängen nach DIN EN 14399-4:2006-06, Tabelle A.1 erfüllen die Anforderungen sowohl an die freie Gewindelänge als auch an den Gewindeüberstand.

Bei planmäßig vorgespannten Schrauben der Systeme HR und HRC nach DIN EN 14399 müssen mindestens vier vollständige Gewindegänge ( $4 \times P$ ) zusätzlich zum Gewindeauslauf zwischen der Auflagefläche der Mutter und dem gewindefreien Teil des Schraubenschaftes verbleiben.

Bei der Ausnutzung der Abschertragfähigkeit eines gewindefreien Schraubenschaftes muss sichergestellt werden, dass das Gewinde bzw. der Gewindeauslauf unter Berücksichtigung der Produkttoleranzen ausreichend weit von der Scherfuge entfernt ist. Bei Passschrauben sollte die Länge des vollständigen Gewindes zusätzlich des Gewindeauslaufs innerhalb des auf Lochleibung beanspruchten Blechs  $1/3$  der Blechdicke des mutterseitig anliegenden Blechs nicht überschreiten, siehe **Bild 1**.

Die Klemmlänge von Garnituren darf durch ein zusätzliches Unterlegblech oder durch bis zu drei zusätzliche Scheiben mit einer maximalen Gesamtdicke von 12 mm angepasst werden. Die Anordnung ist dabei von der Art der Ausführung abhängig, wobei das zusätzliche Blech oder die zusätzlichen Scheiben generell auf der Seite der Garnitur angeordnet werden dürfen, die nicht gedreht wird. Dabei ist die Lage der Scherfuge bezüglich der Übereinstimmung von Ausführung und Bemessung zu überprüfen.



**Bild 1:** Gewindeanteil des Schraubenschaftes im auf Lochleibung beanspruchten Blech bei Passschrauben nach DIN EN 1090-2

### Verwendung von Scheiben

Scheiben sind im Allgemeinen beim Einsatz von nicht planmäßig vorgespannten Schrauben in normalen runden Löchern nicht erforderlich. Die Anordnung einer Scheibe auf der Seite der Garnitur, die gedreht wird, kann allerdings der örtlichen Beschädigung von Überzügen des Bauteils vorbeugen. Bei hoch zugbeanspruchten Verbindungen der Kategorie D wird entsprechend [1] empfohlen, jeweils eine Scheibe unter dem Schraubenkopf und eine unter der Mutter anzuordnen.

In einschnittigen Verbindungen mit nur einer Schraube oder nur einer Schraubenreihe sind Scheiben sowohl unter dem Schraubenkopf als auch unter der Mutter erforderlich. Falls Schrauben der Festigkeitsklassen 8.8 oder 10.9 in diesen Verbindungen zum Einsatz kommen, sind gehärtete Unterlegscheiben zu verwenden.

Für planmäßig vorgespannte Verbindungen sind unter dem Schraubenkopf gefaste Scheiben anzuordnen. Die Fasse muss dabei zum Schraubenkopf hin ausgerichtet sein. Scheiben ohne Fasse dürfen nur unter der Mutter angeordnet werden. Planmäßig vorgespannte Verbindungen mit Schrauben der Festigkeitsklasse 8.8 müssen mit einer gehärteten Scheibe unter der gedrehten Komponente der Garnitur ausgeführt werden. Für planmäßig vorgespannte Schrauben der Festigkeitsklasse 10.9 müssen gehärtete Scheiben unter dem Schraubenkopf und unter der Mutter ausgeführt werden. Gefaste Scheiben dürfen auch unter der Mutter eingesetzt werden.

Für Schraubenverbindungen an geneigten Auflageflächen, z. B. von Walzprofilen mit nichtparallelen Flanschflächen, sind Keilscheiben zu verwenden. Dabei muss die Neigung der Keilscheibe die Neigung der Bauteilfläche kompensieren, so dass die Schraube ohne unzulässig große Biegebeanspruchung angezogen werden kann. Keilscheiben müssen verwendet werden, falls der Winkel zwischen Bauteiloberfläche und Schraubenachse die folgenden Grenzen überschreitet:

- 5 % ( $\approx 3^\circ$ ), falls  $d \leq 20$  mm,
- 3,33 % ( $\approx 2^\circ$ ), falls  $d > 20$  mm.

Bei Anschlüssen mit Langlöchern und übergroßen Löchern müssen nach DIN EN 1090-2 Unterlegbleche eingesetzt werden. Erläuterungen werden dazu in [1] gegeben.

### Einbau der Garnituren

Das Herstellerkennzeichen auf der Mutter einer Garnitur muss nach dem Einbau sichtbar sein, damit eine Kontrolle der verwendeten Produkte überhaupt möglich ist. Die freie Drehbarkeit der Mutter auf der Schraube muss gegeben sein. Sollte das erste Aufschrauben der Mutter nur mit Hilfe eines Werkzeugs möglich sein, so sollte mindestens beim zweiten Versuch die Mutter von Hand aufzuschrauben sein. Sollte dies auch dann nicht möglich sein, muss die Garnitur ausgesondert werden, siehe [1].

DIN EN 1090-2 verlangt eine weitgehende flächige Anlage der verbundenen Bauteile nach dem Zusammenziehen. Hinsichtlich der Unvermeidbarkeit von Restspalten bei nicht planmäßig vorgespannten Verbindungen sind Restspaltbreiten  $\leq 2$  mm als tolerierbar anzusehen. Klaffen nur kantennahe Bereiche, also ist im mittleren Bereich des Anschlusses Kontakt erreicht, sind an den Kanten nach DIN EN 1090-2 tolerierbare Spaltbreiten von bis zu 4 mm bei Blechen mit mindestens 4 mm Dicke bzw. Profilquerschnitten mit mindestens 8 mm Dicke zulässig. Für planmäßig vorgespannte Verbindungen ist der Spalt nach dem Einbau der Garnituren, aber vor dem Beginn des Vorspannens auf 2 mm zu begrenzen. Eine Anpassung der zu verbindenden Bauteile kann dazu erforderlich sein.

Futterbleche (Zwischenlagen) dürfen zur Überbrückung von Luftspalten an Anschlussfugen und Dickenunterschieden zwischen Bauteilen eingesetzt werden. Es wird empfohlen für kritische Schnittstellen Futterbleche vorzubereiten, so dass die Anforderungen an die Einzelblechdicke und die zulässige Anzahl der Futterbleche erfüllt werden, siehe [1].

### Anziehen der Garnituren

Jede Garnitur muss mindestens „handfest“ angezogen werden, wobei insbesondere bei kurzen Schrauben und Schrauben mit kleinem Durchmesser (M12) darauf zu achten ist, dass diese dabei nicht überlastet werden. Sofern der Schraubenhersteller nicht selbst Anziehdrehmomente empfiehlt, sollten die „Handfest“-Anziehmomente nach **Tabelle 3** verwendet werden. Die „Handfest“-Anziehmomente sind dabei so gewählt, dass Schrauben geringer Festigkeitsklasse nicht überbeansprucht werden, siehe [1].

Schraube (Gewinde)	M12	M16	M20	M22	M24	M27	M30	M36
$M_A$ , handfest [Nm]	15	35	60	90	110	165	220	350

**Tabelle 3:** Empfohlene „Handfest“-Anziehmomente

Der Anziehvorgang muss für Schrauben einer Schraubengruppe schrittweise ausgehend vom Bereich der höchsten Steifigkeit der Verbindung hin zum Bereich der geringsten Steifigkeit durchgeführt werden. Der Bereich der höchsten Steifigkeit einer Laschenverbindung ist üblicherweise in der Mitte der Schraubengruppe der Verbindung. Die Bereiche der höchsten Steifigkeit einer Stirnblechverbindung von I-Profilquerschnitten sind üblicherweise in der Nähe der Flansche. Um einen einheitlichen handfesten Zustand zu erzielen, kann mehr als ein Anziehdurchgang notwendig sein.

### Normen

- DIN EN 1090-2:2008-12, Ausführung von Stahltragwerken und Aluminiumtragwerken – Teil 2: Technische Regeln für die Ausführung von Stahltragwerken; Deutsche Fassung EN 1090-2:2008
- DIN EN 1993-1-8:2010-12, Eurocode 3: Bemessung und Konstruktion von Stahlbauten – Teil 1–8: Bemessung von Anschlüssen; Deutsche Fassung EN 1993-1-8:2005 + AC:2009
- DIN EN 1993-1-8/NA:2010-12, Nationaler Anhang – National festgelegte Parameter – Eurocode 3: Bemessung und Konstruktion von Stahlbauten – Teil 1–8: Bemessung von Anschlüssen

### Literatur

- [1] Schmidt, H., Zwätz, R., Bär, L., Kathage, K., Hüller, V., Kammel, C., Volz, M., Ausführung von Stahlbauten – Kommentar zu DIN EN 1090-1 und DIN EN 1090-2, Beuth Verlag GmbH, Ernst & Sohn Verlag für Architektur und technische Wissenschaften GmbH & Co. KG, Berlin, 2012.
- [2] Schmidt, H., Stranghöner, N., Ausführung geschraubter Verbindungen nach DIN EN 1090-2, in: Stahlbau-Kalender 2011, Hrsg.: Kuhlmann, U., Verlag: Ernst & Sohn GmbH & Co. KG, Berlin, 2011.