

8. STAHLBAU

8.1 HV-Verbindungen für den Stahlbau

„HV“ ist die Kennzeichnung einer Schraubenverbindung im Stahlbau mit hochfesten Schrauben der Festigkeitsklasse 10.9. „H“ steht dabei für hochfest, entsprechend den Anforderungen für die Festigkeitsklasse 10.9 und „V“ für „vorgespannt“, d.h. die Möglichkeit, die Verbindung mit standardisierten Verfahren auf eine definierte Vorspannkraft zu bringen.

Zwar ist bei über 90% der Stahlbauverbindungen ein Vorspannen aus rechnerischen Gründen nicht nötig, da die Verbindungen nicht gleitfest ausgelegt sind, oft ist es in solchen Fällen aber üblich und sinnvoll die Verbindungen vorzuspannen, um Spalten zu schließen, den Widerstand gegen dynamische Belastungsanteile zu erhöhen oder die Verformung des Gesamtbauwerkes zu begrenzen.

HV-Verbindungen sind daher für die Ausführung aller nachfolgend dargestellten im Stahlbau üblichen Verbindungen ohne Einschränkung geeignet.

Scher-Lochleibungs-Verbindungen (SL) übertragen die von außen angreifende Kraft quer zur Schraubenachse durch direkte Kraftübertragung von der Bohrungswand auf den Schaft der Schraube (Abb. 1) Die Bauteile wirken auf den Schraubenschaft dabei wie Schneiden von Scheren. Diese Verbindungsart kann auch vorgespannt (SLV) oder mit Paßschrauben (SLP) oder beides (SLVP) ausgeführt werden. Insbesondere bei dynamischen Lasten in Schraubenlängsachse ist das Vorspannen der Verbindung erforderlich.

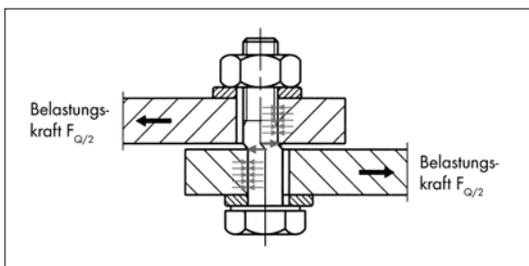


Abb. 1

Grundsätzlich anders ist die Wirkungsweise gleitfest vorgespannter Verbindungen (GV), die in Einzelfällen,

wie im Brückenbau, auch mit Schrauben mit Passschaft (GVP) ausgeführt werden. Die Kraftübertragung erfolgt hierbei durch Reibung zwischen den Kontaktflächen der verspannten Bauteile. Dazu müssen die Kontaktflächen durch Strahlen oder zugelassene gleitfeste Anstriche gleitfest gemacht werden. Durch das Anziehen der Schrauben werden dann Betriebskräfte senkrecht zur Schraubenachse übertragen, wie in Abb. 2 dargestellt.

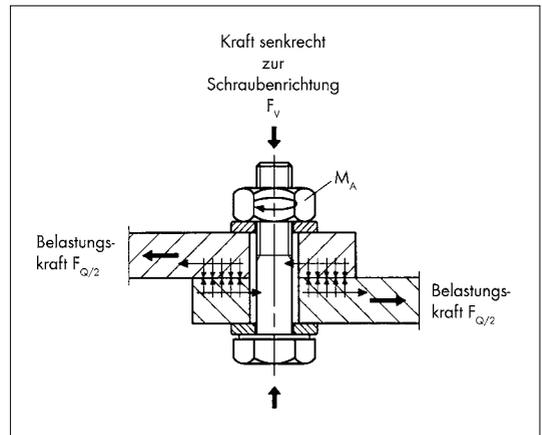


Abb. 2

Für alle im Stahlbau üblichen Verbindungen sind selbstverständlich auch Betriebskräfte in Schraubenlängsachse zulässig und über entsprechende Berechnungsformeln beispielsweise der DIN 18800-1 einem Festigkeitsnachweis zugänglich.

Würth-HV-Garnituren haben einen guten und hochwertigen Korrosionsschutz durch eine Feuerverzinkung mit einer Zinkschichtdicke von 60–80 µm. Dadurch wird auch in aggressiver Atmosphäre ein langjähriger Korrosionsschutz erreicht. (Abb. 3)

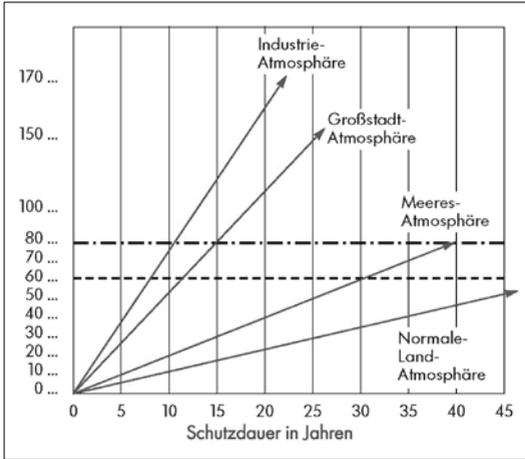


Abb.3

Die Verzinkung erfolgt gemäß der DIN EN ISO 10684 unter Berücksichtigung darüber hinausgehender Festlegungen die dem derzeitigen Stand der Technik zur Herstellung feuerverzinkter Schrauben entsprechen. Das Schneiden des Muttergewindes und die Schmierung der Muttern unter Prozessbedingungen erfolgt nach der Feuerverzinkung, um die Passfähigkeit des Gewindes sicherzustellen und durch spezielle Schmierung ein einheitliches Anziehverhalten zu gewährleisten. Den Korrosionsschutz des dann unverzinkten Muttergewindes übernimmt nach der Montage der Zinküberzug des Schraubenbolzens durch kathodischen Korrosionsschutz. Aus diesen Gründen sind nur komplette Garnituren (Schraube, Mutter und Scheiben) eines Herstellers zu verwenden.

8.2 HV-Schrauben, Muttern und Scheiben

Im Zuge der Umsetzung der europäischen Bauproduktenrichtlinie wurden für Verbindungselemente im Stahl- und Metallbau harmonisierte europäische Normen erarbeitet, die die früheren deutschen DIN Normen zum Großteil abgelöst haben. Nur für untergeordnete Produkte wie HV-Keilscheiben nach DIN 6917 und DIN 6918 blieben die deutschen Normen erhalten. Für diese gilt auch weiterhin das Übereinstimmungsnachweisverfahren nach der Bauregelleiste A, d.h. die Produkte sind mit dem sog. Ü-Zeichen marktverfügbar. Eine Übersicht über die Umstellung der Normen gibt Tabelle 1.

	DIN	DIN EN
Berechnung Gestaltung	DIN 18 800-1	DIN EN 1993-1-8 DIN EN 1993-1-9
Ausführung	DIN 18 800-7	DIN EN 1090-2
Produkte	DIN 7968, DIN 7969 DIN 7990 DIN EN ISO 4014/4017 DIN 6914, DIN 6915, DIN 6916 DIN 7999	DIN EN 15048-1/-2 + techn. Produktspez. (DIN EN ISO 4014) DIN EN 14399-1/-2 DIN EN 14399-4 DIN EN 14399-6 DIN EN 14399-8

Tab. 1: Umstellung auf europäische Normen

Für die Berechnung und Gestaltung der Verbindungen gilt zukünftig die DIN EN 1993-1-8 sowie für den Ermüdungsnachweis die DIN EN 1993-1-9, wobei natürlich während einer Übergangszeit die alten DIN Normen weiter angewendet werden dürfen. Für die Ausführung gilt zukünftig die DIN EN 1090-2, wobei ebenfalls Übergangsfristen greifen. Für nicht vorgespannte, niederfeste Verbindungselemente wurde die europäische Norm DIN EN 15048 geschaffen, die die Vorgehensweise und die Anforderungen zur Erlangung des CE-Zeichens beschreibt. Die dazu gehörigen technischen Beschreibungen können beispielsweise die bereits vorhandenen Normen für Sechskantschrauben wie die DIN EN ISO 4014 sein.

Für hochfeste Verbindungselemente wurde die harmonisierte Norm DIN EN 14399 erarbeitet. In ihren Teilen 1 und 2 beschreibt diese ebenfalls lediglich die Anforderungen und die Vorgehensweise zur Erlangung des CE-Zeichens. Für CE-gekennzeichnete Produkte dürfen in Europa keine Handelshemmnisse bestehen oder aufgebaut werden. Die in Deutschland gebräuchlichen HV-Schrauben und die zugehörigen Muttern und Scheiben sowie HV-Paßschrauben finden sich in den Teilen 4, 6 und 8 dieser Norm wieder. Die DIN Produkte wurden dabei weitgehend übernommen, so dass sich nur wenige Änderungen ergeben, auf die nachfolgend gesondert eingegangen wird.

- HV-Muttern sind nach der europäischen Norm unabhängig vom aufgebrachtten Korrosionsschutz immer mit einem speziellen Schmiermittel behandelt. Bei einer Vorspannung der Verbindungen nach der DIN 18800-7 mit Hilfe des Drehmomentverfahrens sind also immer die gleichen Anziehmomente anwendbar, was eine Vereinfachung gegenüber dem alten Stand darstellt.

- Die in der Norm enthaltene Klemmlängentabelle definiert die Klemmlänge **einschließlich der verwendeten Scheiben** (Tabelle 2a und 2b). Darüber hinaus wurden die Kriterien zur Berechnung der Klemmlänge gemäß spezieller Forderungen der DIN EN 1993-1-8 geringfügig verändert, so dass sich weitere geringfügige Unterschiede ergeben. Wenn allerdings ein Bauwerk nach DIN 18800 geplant wurde, können die dort eingeplanten HV-Garnituren nach DIN durch solche gleicher Nennlänge nach DIN EN ersetzt werden, ohne dass eine Neuzuordnung für die Verschraubungsstellen erfolgen muss. Grund dafür ist die Tatsache, dass die DIN 18800, die oben erwähnte spezielle Forderung der DIN EN 1993-1-8 nicht enthält.

Maße für HV- und HVP-Schrauben ¹⁾									
Nennmaß		M12	M16	M20	M22	M24	M27	M30	M36
p ¹⁾		1,75	2	2,5	2,5	3	3	3,5	4
c	min.	0,4	0,4	0,4	0,4	0,4	0,4	0,4	0,4
	max.	0,6	0,6	0,8	0,8	0,8	0,8	0,8	0,8
d _a	max.	15,2	19,2	24	26	28	32	35	41
d _s	nom.	12	16	20	22	24	27	30	36
	min.	11,3	15,3	19,16	21,16	23,16	26,16	29,16	35
	max.	12,7	16,7	20,84	22,84	24,84	27,84	30	37
d _w ²⁾	min.	20,1	24,9	29,5	33,3	38,0	42,8	46,6	55,9
e	min.	23,91	29,56	35,03	39,55	45,20	50,85	55,37	66,44
k	nom.	8	10	13	14	15	17	19	23
	min.	7,55	9,25	12,1	13,1	14,1	16,1	17,95	21,95
	max.	8,45	10,75	13,9	14,9	15,9	17,9	20,05	24,05
k _w	min.	5,28	6,47	8,47	9,17	9,87	11,27	12,56	15,36
r	min.	1,2	1,2	1,5	1,5	1,5	2	2	2
s	max.	22	27	32	36	41	46	50	60
	min.	21,16	26,16	31	35	40	45	49	58,8
h	nom.	3	4	4	4	4	5	5	6
	min.	2,7	3,7	3,7	3,7	3,7	4,4	4,4	5,4
	max.	3,3	4,3	4,3	4,3	4,3	5,6	5,6	6,6
m	nom. = max.	10	13	16	18	20	22	24	29
	min.	9,64	12,3	14,9	16,9	18,7	20,7	22,7	27,7

Anmerkung: Für feuerverzinkte Schrauben, Scheiben und Muttern gelten die Maße vor dem Verzinken
¹⁾ P = Gewindesteigung (Regelgewinde)
²⁾ d_{w,MAX.} = s_{WZ}

Tab. 2a

Nennlänge l	Klemmlänge $\Sigma_{\min.}$ und $\Sigma_{\max.}$ für HV- und HVP-Schrauben ¹⁾							
	M12	M16	M20	M22	M24	M27	M30	M36
30	11- 16							
35	16- 21	12- 17						
40	21- 26	17- 22						
45	26- 31	22- 27	18- 23					
50	31- 36	27- 32	23- 28	22- 27				
55	36- 41	32- 37	28- 33	27- 32				
60	41- 46	37- 42	33- 38	32- 37	29- 34			
65	46- 51	42- 47	38- 43	37- 42	34- 39			
70	51- 56	47- 52	43- 48	42- 47	39- 44	36- 41		
75	56- 61	52- 57	48- 53	47- 52	44- 49	41- 46	39- 44	
80	61- 66	57- 62	53- 58	52- 57	49- 54	46- 51	44- 49	
85	66- 71	62- 67	58- 63	57- 62	54- 59	51- 56	49- 54	43- 48
90	71- 76	67- 72	63- 68	62- 67	59- 64	56- 61	54- 59	48- 53
95	76- 81	72- 77	68- 73	67- 72	64- 69	61- 66	59- 64	53- 58
100	81- 86	77- 82	73- 78	72- 77	69- 74	66- 71	64- 69	58- 63
105	86- 91	82- 87	78- 83	77- 82	74- 79	71- 76	69- 74	63- 68
110	91- 96	87- 92	83- 88	82- 87	79- 84	76- 81	74- 79	68- 73
115	96-101	92- 97	88- 93	87- 92	84- 89	81- 86	79- 84	73- 78
120	101-106	97-102	93- 98	92- 97	89- 94	86- 91	84- 89	78- 83
125	106-111	102-107	98-103	97-102	94- 99	91- 96	89- 94	83- 88
130	111-116	107-112	103-108	102-107	99-104	96-101	94- 99	88- 93
135	116-121	112-117	108-113	107-112	104-109	101-106	99-104	93- 98
140	121-126	117-122	113-118	112-117	109-114	106-111	104-109	98-103
145	126-131	122-127	118-123	117-122	114-119	111-116	109-114	103-108
150	131-136	127-132	123-128	122-127	119-124	116-121	114-119	108-113
155	136-141	132-137	128-133	127-132	124-129	121-126	119-124	113-118
160	141-146	137-142	133-138	132-137	129-134	126-131	124-129	118-123
165	146-151	142-147	138-143	137-142	134-139	131-136	129-134	123-128
170	151-156	147-152	143-148	142-147	139-144	136-141	134-139	128-133
175	156-161	152-157	148-153	147-152	144-149	141-146	139-144	133-138
180	161-166	157-162	153-158	152-157	149-154	146-151	144-149	138-143
185			158-163	157-162	154-159	151-156	149-154	143-148
190			163-168	162-167	159-164	156-161	154-159	148-153
195			168-173	167-172	164-169	161-166	159-164	153-158
200			173-178	172-177	169-174	166-171	164-169	158-163
210			183-188	182-187	179-184	176-181	174-179	168-173
220			193-198	192-197	189-194	186-191	184-189	178-183
230			203-208	202-207	199-204	196-201	194-199	188-193
240			213-218	212-217	209-214	206-211	204-209	198-203
250			223-228	222-227	219-224	216-221	214-219	208-213
260			233-238	232-237	229-234	226-231	224-229	218-223

¹⁾ Klemmlänge Σ , umfasst auch die beiden Scheiben

Tab. 2b

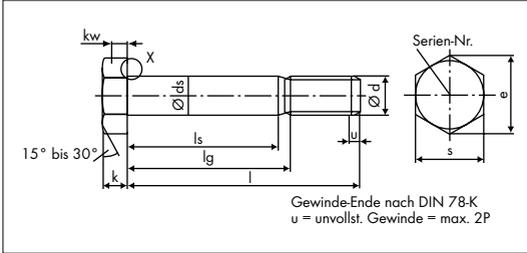


Abb. 4

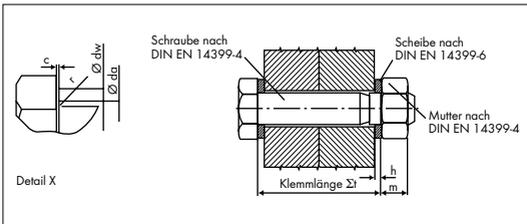


Abb. 5

8.3 Konstruktionshinweise und Nachweise für HV-Verbindungen nach DIN 18800-1 und DIN EN 1993-1-8.

8.3.1 HV-Verbindungen nach DIN 18800-1 (2008)

Die Bemessungswerte der Abscherbeanspruchung V_a dürfen die nach der DIN 18800-1:2008-11 Grenzabscherkräfte $V_{a,R,d}$ nicht überschreiten.

$$\frac{V_a}{V_{a,R,d}} \leq 1 \text{ Die Grenzabscherkraft } V_{a,R,d} \text{ ist}$$

$$V_{a,R,d} = A \cdot \tau_{a,R,d} = A \cdot \alpha_a \cdot \frac{f_{u,b,k}}{Y_M}$$

A Schaftquerschnitt A_{sch} , wenn der glatte Schaft in der Scherfuge liegt.

Spannungsquerschnitt A_{sp} , wenn der Gewindeteil des Schaftes in der Scherfuge liegt.

α_a 0,55 für HV-Schrauben der Festigkeitsklasse 10.9, wenn der glatte Schaft in der Scherfuge liegt.
0,44 für HV-Schrauben der Festigkeitsklasse 10.9, wenn der Gewindeteil in der Scherfuge liegt.

$f_{u,b,k}$ charakteristische Zugfestigkeit des Schraubenmaterials, bei HV-Schrauben:
1.000 N/mm²

$Y_M = 1,1$ Teilsicherheitsbeiwert für den Widerstand

Nach DIN 18800-1:2008-11 dürfen die Bemessungswerte der Lochleibungsbeanspruchungen V_l die Grenzlochleibungskräfte $V_{l,R,d}$ nicht überschreiten.

$$\frac{V_l}{V_{l,R,d}} \leq 1$$

Die Grenzlochleibungskraft $V_{l,R,d}$ ist

$$\begin{aligned} V_{l,R,d} &= t \cdot d_{sch} \cdot \alpha_1 \cdot \sigma_{l,R,d} \\ &= t \cdot d_{sch} \cdot \alpha_1 \cdot \frac{f_{z,k}}{Y_M} \end{aligned}$$

Mit t Dicke des Bauteils

d_{sch} Schaftdurchmesser der Schraube

α_1 Faktor zur Ermittlung der Lochleibungsbeanspruchbarkeit, abhängig vom Lochbild

$f_{z,k}$ charakteristische Streckgrenze des Bauteilmaterials
 $Y_M = 1,1$ Teilsicherheitsbeiwert für den Widerstand

Der Faktor α_1 ist hierbei abhängig von der Geometrie des gesamten Schraubenanschlusses, insbesondere von den Abständen der Schrauben zu den Bauteilrändern und untereinander. Zu Berechnungszwecken stehen hier meist Tabellenwerke oder entsprechende Software zur Verfügung.

Für die Berechnung der Grenzzugkraft unter reiner Zugbelastung der Schrauben macht die DIN 18800-1 eine Fallunterscheidung. Aufgrund des Streckgrenzenverhältnisses der Festigkeitsklasse 10.9 ist für HV-Schrauben das Versagen im Gewinde maßgeblich. Die Grenzzugkraft berechnet sich daher zu:

$$N_{R,d} = \frac{A_{sp} \cdot f_{u,b,k}}{1,25 \cdot Y_M}$$

A_{sp} Spannungsquerschnitt

$f_{u,b,k}$ für FK 10.9 = 1.000 N/mm²

1,25 = Beiwert zur erhöhten Absicherung gegen Zugfestigkeit

$Y_M = 1,1$

Wenn auf eine Schraube gleichzeitig eine Zug- und eine Scherkraft einwirkt ist zusätzlich ein Interaktionsnachweis gemäß den Vorgaben der DIN 18800-1 zu führen.

Für gleitfeste Verbindungen (GV und GVP) dürfen im Grenzzustand der Gebrauchstauglichkeit die Beanspruchungen V_g die Grenzgleitkräfte $V_{g,R,d}$ nicht überschreiten.

$$\frac{V_g}{V_{g,R,d}} \leq 1$$

8.3.2 HV-Verbindungen nach DIN EN 1993-1-8

Die europäische Norm teilt die Schraubenverbindungen gemäß Tabelle 3 ein und trifft eine grundsätzliche Unterscheidung abhängig von der Richtung der äußeren Kraft.

Scher-/Lochleibungs- und gleitfeste Verbindungen			
Kategorie	Anmerkung	Verglichen mit DIN 18800-1	
		GdG	GdT
A Scher-/Lochleibungs-Verbindung	Keine Vorspannung erforderlich, jedoch in den meisten Fällen von Vorteil, Festigkeitsklassen 4.6 bis 10.9	SL bzw. SLP	SL bzw. SLP
B Gleitfeste Verbindung (GdG)	Hochfeste Schrauben FK 8.8 oder 10.9 vorgespannt	GV bzw. GVP	SL bzw. SLP
C Gleitfeste Verbindung (GdT)	Hochfeste Schrauben FK 8.8 oder 10.9 vorgespannt.	GV bzw. GVP	GV bzw. GVP (Netto)
Zugbeanspruchte Verbindungen			
Kategorie	Anmerkung	Verglichen mit DIN 18800-1	
D Nicht vorgespannt	Keine Vorspannung erforderlich, Festigkeitsklassen 4.6 bis 10.9	Nicht klassifiziert, jedoch Nachweiskriterium angegeben	
E Vorspannt	Hochfeste Schrauben FK 8.8 oder 10.9		

Tab. 3

Die Grenzgleitkraft $V_{g,R,d}$ ist

$$V_{g,R,d} = \frac{\mu \cdot F_v}{(1,15 \cdot Y_M)}, \text{ wenn keine äußere Zugkraft auf die}$$

HV-Schraube einwirkt,

$$V_{g,R,d} = \frac{\mu \cdot F_v \cdot \left(1 - \frac{N}{F_v}\right)}{(1,15 \cdot Y_M)}, \text{ wenn eine äußere Zugkraft auf}$$

die HV-Schraube einwirkt.

Dabei ist

μ die Reibungszahl nach Vorbehandlung der Reibflächen nach DIN 18800-7

F_v die Vorspannkraft nach DIN 18800-7

N die anteilig auf die Schraube entfallende Zugkraft

$$Y_M = 1,0$$

Darüber hinaus ist für GV- und GVP-Verbindungen ein Tragsicherheitsnachweis wie für SL- und SLP-Verbindungen zu führen.

Der Nachweis auf Lochleibung unterscheidet sich hier im Ansatz vom Vorgehen nach der DIN 18 800-1 so dass eine Übertragung von Berechnungsergebnissen oder Tabellenwerten nicht möglich ist. Hier ist eine Neuberechnung gemäß den Vorgaben der DIN EN 1993-1-8 erforderlich. In vielen Fällen ist die Beanspruchbarkeit nach der EN höher als nach DIN.

Der Nachweis auf Abscheren der Schrauben nach EN unterscheidet sich nur geringfügig und ist vom theoretischen Ansatz her gleich aufgebaut. Wenn sich der Schaft in der Scherfuge befindet sind die Beanspruchbarkeiten annähernd gleich. Bei Gewinde in der Scherfuge sind sie gleich.

Für HV-Schrauben unter Zugbelastung in Schraubenlängsachse unterscheidet sich der Berechnungsansatz kaum von dem nach der DIN und die Ergebnisse sind annähernd gleich.

Für den einfachen Fall gleitfester Verbindungen ohne äußere Zugbelastung sind die Ansätze nach DIN und EN ebenfalls ähnlich, allerdings muß an dieser Stelle auf ei-

nen bedeutsamen Unterschied eingegangen werden, der auch Auswirkungen auf das anzuwendende Vorspannverfahren hat.

Die DIN EN 1993-1-8 sieht für gleitfeste Verbindungen (und nur für diese) ein höheres Vorspannkraftniveau vor als für vorgespannte HV-Verbindungen nach DIN 18 800-7 üblich. Die Vorspannkraft soll 70% der Zugfestigkeit der Schraube betragen:

$$F_{p,c} = 0,7 f_{yb} A_s$$

Dieses Vorspannkraftniveau ist auf Grund von Reibungsstreuungen mit dem Drehmomentverfahren nicht mehr

Schraubenverbindungen nach der DIN EN 1993-1-8, die nicht gleitfest vorgespannt werden mit dem für Schraubenverbindungen üblichen Drehmomentverfahren vorgespannt werden dürfen. Die Montagewerte können der DIN 18800-7 entnommen werden und sind im Kapitel 8.4 dargestellt.

8.4 Montage

8.4.1 Montage und Prüfung nach DIN 18 800-7

Für das Vorspannen ist bevorzugt das Drehmomentverfahren anzuwenden. Die Regelvorspannkraft nach Tabelle 4 entspricht 70% der Schraubenstreckgrenze und wird durch Aufbringen eines Anziehmoments M_A erzeugt.

Maße		Regel-Vorspannkraft F_v [kN] (entspricht $F_{p,c}^* = 0,7 \cdot f_{yb} \cdot A_s$)	Drehmomentverfahren
			Aufzubringendes Anziehmoment M_A zum Erreichen der Regel-Vorspannkraft F_v [Nm] Oberflächenzustand: feuerverzinkt und geschmiert ^a und wie hergestellt und geschmiert ^a
1	M12	50	100
2	M16	100	250
3	M20	160	450
4	M22	190	650
5	M24	220	800
6	M27	290	1250
7	M30	350	1650
8	M36	510	2800

^a Müttern im Anlieferungszustand herstellereitig mit Molybdänsulfid oder gleichwertigem Schmierstoff behandelt. Im Gegensatz zu früheren Regelungen ist das Anziehmoment unabhängig vom Lieferzustand immer gleich.

Tab. 4: Vorspannen durch Drehmoment

sicher erreichbar, so dass hier alternative Verfahren angewendet werden müssen, die den Einfluss der Reibung verringern.

Für alle Schraubenverbindungen allerdings, die nicht gleitfest berechnet werden und aus anderen Gründen vorgespannt werden sollen, wie zum Beispiel zur Erhöhung der Ermüdungsfestigkeit ist auch ein niedrigeres Vorspannkraftniveau $F_{p,c}^*$ zulässig. Dies kann beispielsweise das Vorspannkraftniveau nach der DIN 18800-7 sein.

$$F_{p,c}^* = 0,7 f_{yb} A_s$$

D.h. die Vorspannkraft beträgt 70% der Schraubenstreckgrenze. Das bedeutet, dass auch alle vorgespannten

Dabei ist das Anziehmoment für alle Oberflächenzustände der Verbindungselemente gleich.

Schraubenverbindungen, die mit Hilfe des Drehmomentverfahrens vorgespannt wurden sind in recht einfacher Weise durch Aufbringen eines gegenüber dem Anziehmoment um 10% erhöhten Prüfdrehmomentes einer Überprüfung zugänglich.

Für nicht planmäßig vorgespannte Verbindungen werden keine Überprüfungsmaßnahmen gefordert. Für planmäßig vorgespannte Verbindungen werden bei nicht vorwiegend ruhend beanspruchten Verbindungen mindestens 10% der Garnituren des ausgeführten Anschlusses geprüft und bei vorwiegend ruhend beanspruchten Verbindungen mindes-

tens 5% der Garnituren des ausgeführten Anschlusses (bei Anschlüssen mit weniger als 20 Schrauben mindestens 2 Verbindungen bzw. 1 Verbindung). Die Garnitur ist nach der Markierung (Lage der Mutter relativ zu Schraubenschaft) von der Seite, von der aus angezogen wurde, zu überprüfen.

Je nachdem, welche Weiterdrehwinkel bei der Prüfung auftreten, ist nach Tabelle 5 zu verfahren. Falls eine zweifelsfreie Prüfung nicht möglich ist (Verwendung anderer Verfahren), muss die Arbeitsweise an mindestens 10% der Verbindungen überwacht werden. Werden dabei Abweichungen von den in der jeweiligen Verfahrensprüfung festgelegten Vorgaben festgestellt, ist nach Korrektur die gesamte Ausführung des gesamten Anschlusses zu überwachen.

Überprüfen der Vorspannung bei Regelvorspannkraften

Weiterdrehwinkel	Bewertung	Maßnahme
< 30°	Vorspannung war ausreichend	Keine
30° bis 60°	Vorspannung war bedingt ausreichend	Garnitur belassen und zwei benachbarte Verbindungen im gleichen Anschluss prüfen
> 60°	Vorspannung war nicht ausreichend	Garnitur auswechseln ¹ und zwei benachbarte Verbindungen im gleichen Anschluss prüfen

¹ Lediglich bei vorwiegend ruhend beanspruchten SLV- oder SLVP-Verbindungen ohne zusätzliche Zugbeanspruchung dürfen diese überprüften Verbindungsmittel in der Konstruktion belassen werden.

Tabelle 5

Weitere in der Norm genannte Verfahren sind das Drehimpulsverfahren, das Drehwinkelverfahren sowie ein kombiniertes Verfahren, die hier nur erwähnt werden, da sie nur selten Verwendung finden. Nötigenfalls ist hier der Normtext heranzuziehen.

8.4.2 Montage nach DIN EN 1090-2

Für alle vorgespannten Verbindungen, die nicht gleitfest ausgelegt wurden ist die Vorspannung auf 70% der Schraubenstreckgrenze und damit das Drehmomentverfahren nach DIN 18800-7 ohne Einschränkung EN-konform anwendbar. In den Fällen, in denen die Verbindung gleitfest ausgelegt wurde, ist nach der DIN EN 1993-1-8 eine Vorspannung auf:

$$F_{p,C} = 0,7 f_{ub} A_s$$

vorgesehen. Dies macht die Anwendung anderer Verfahren erforderlich, wobei hier das kombinierte Verfahren praktikabel erscheint. Dabei werden die Verbindungen mit einem Voranziehmoment angezogen, das vom Schraubenhersteller empfohlen wird oder mit

$$M_{r,1} = 0,13 d F_{p,C}$$

abgeschätzt werden kann wenn keine Herstellerempfehlung vorliegt. Danach werden die Verbindungen um jeweils in der Norm festgelegte Weiterdrehwinkel angezogen. Tabelle 6 gibt die Anziehparameter für das kombinierte Verfahren nach DIN EN 1090-2 an.

8.5 Besondere Hinweise bei der Verwendung von HV-Garnituren

- HV- Schrauben, Muttern und Scheiben sind bei der Lagerung vor Korrosion und Verschmutzung zu schützen.
- Bei Vorspannen durch Drehen des Schraubenkopfes ist eine geeignete kopfseitige Schmierung aufzubringen und eine Verfahrensprüfung durchzuführen.
- Wird eine vorgespannte Garnitur später gelöst ist sie auszubauen und durch eine neue zu ersetzen.
- Nach dem Anziehen muss das Schraubengewinde in der Regel einen vollständigen Gewindegang über die Mutter hinausragen.
- Zum Ausgleich der Klemmlänge sind auf der Seite der Garnitur, die nicht gedreht wird bis zu drei Scheiben mit einer Gesamtdicke von 12 mm zulässig.

Kombiniertes Verfahren								
Maße	M12	M16	M20	M22	M24	M27	M30	M36
Vorspannkraft $F_{p,C} = 0,7 \cdot f_{ub} \cdot A_s$ [kN]	59	110	172	212	247	321	393	572
Voranziehmoment M_A [Nm] ¹⁾	75	190	340	490	600	940	1240	2100
Weiterdrehwinkel bzw. -umdrehungsmaß für Klemmlänge Σ								
	Gesamtnennndicke „t“ der zu verbindenden Teile (einschließlich aller Futterbleche und Scheiben) d = Schraubendurchmesser		Weiterdrehwinkel			Weiterumdrehungsmaß		
1	t < 2d		60			1/6		
2	2d ≤ t ≤ 6d		90			1/4		
3	6d ≤ t ≤ 10d		120			1/3		
Anmerkung: Ist die Oberfläche unter dem Schraubenkopf oder der Mutter (unter Berücksichtigung von gegebenenfalls eingesetzten Keilscheiben) nicht senkrecht zur Schraubenachse, sollte der erforderliche Weiterdrehwinkel durch Versuche bestimmt werden.								
¹⁾ beispielhafte Herstellerempfehlung								

Tab. 6: Vorspannen mit dem kombinierten Verfahren