10+11

82. Jahrgang
Oktober 2013, S. 750 – 761
November 2013, S. 805 – 818
ISSN 0038-9145
A 6449

Sonderdruck

Stahlbau

Gleitfeste Verbindungen nach Eurocode 3 und DIN EN 1090-2

Univ.-Prof. Dr.-Ing. habil. Natalie Stranghöner
Dipl.-Ing. Markus Schiborr
Dr.-Ing. Ralf Glienke
Univ.-Prof. Dr.-Ing. Martin-Christoph Wanner
Dipl.-Ing. Detlef Ulbrich

Mechanische Verbindungen im Metallleichtbau

Dipl.-Ing. Detlef Ulbrich
Dipl.-Ing. Reiner Primke-Engel
Dipl.-Wirt.Ing. Christoph Blunk
Dr.-Ing. Ralf Glienke

Ernst & Sohn
A Wiley Brand

Fraunhofer

Natalie Stranghöner
Markus Schiborr
Ralf Glienke
Martin-Christoph Wanner
Detlef Ulbrich

DOI: 10.1002/stab.201310098

Gleitfeste Verbindungen nach Eurocode 3 und DIN EN 1090-2

Gleitfeste Verbindungen im Stahlbau ermöglichen schlupf- und verformungsarme geschraubte Anschlüsse, die vorwiegend in Konstruktionen zum Einsatz kommen, in denen ungewollte Verformungen innerhalb der Verbindungen die Gebrauchseigenschaften der Tragwerke einschränken würden. Typische Einsatzgebiete stellen beispielsweise Funkmasten und ermüdungsbeanspruchte Brücken oder Türme von Windenergieanlagen dar. Wesentliche Kenngrößen derartiger Verbindungen sind die Haftreibungszahl und die Höhe der Vorspannung in den Schrauben. Die neue Herstellungsnorm für Stahlbauten, die DIN EN 1090-2, bietet im Gegensatz zur DIN 18800-7 die Möglichkeit der Berücksichtigung verschiedener Arten von Oberflächen und Oberflächenvorbereitungen über unterschiedliche Gleitflächenklassen und stellt mit dem Anhang G ein detailliertes Prüfverfahren zur Ermittlung der Haftreibungszahl unter Berücksichtigung der Kriechgleitneigung zur Verfügung. Die Unterschiede in der Prüfmethodik im Vergleich zur TL/TP-KOR-Stahlbauten liegen im Detail und können zu ungünstigeren Haftreibungszahlen führen.

Slip-resistant connections according to Eurocode 3 and DIN EN 1090-2. *Slip-resistant connections in steel structures permit bolted connections with low slip and deformation, which are mainly used in structures, in which deformations of the connections would limit the serviceability of the structures. Typical applications can be found in radio masts, bridges and towers of wind turbines, which are loaded by fatigue. Essential characteristics of these connections are the slip factor and the preload in the bolts. The new execution standard for steel structures, DIN EN 1090-2, provides in contrast to DIN 18800-7 the possibility of considering different surface treatments by various classes and with Annex G, it provides a detailed test method to determine the slip factor taking into account possible creep effects. The differences in the testing methodology in comparison to the TL/TP-KOR-Stahlbauten are in the details and can lead to unfavourable slip factors.*

1 Einleitung

Geschraubte gleitfeste Verbindungen werden traditionell im Stahlbau immer dann eingesetzt, wenn Schlupf und Verformung in den geschraubten Anschlüssen minimiert werden müssen. Typische Einsatzgebiete sind exemplarisch ein- bzw. mehrschnittige Verbindungen in (temporären) Brücken, Funkmasten und in Turmbauwerken von Windenergieanlagen (s. Bilder 1 und 2 sowie [1], [2] und [3]). Als Verbindungsmittel werden in Deutschland üblicherweise vorgespannte HV-Schrauben nach DIN EN 14399-4 [4] eingesetzt. Im europäischen Ausland finden darüber hinaus auch HR-Schrauben nach DIN EN 14399-3 [5] und HRC-Schrauben nach DIN EN 14399-10 [6] bzw. Tension Control Bolts, in Deutschland einsetzbar mit der allgemeinen bauaufsichtlichen Zulassung (abZ) Z-14.4-584 [7], sowie vornehmlich im Maschinenbau auch Schließringbolzen nach dem DVS/EFB-Merkblatt 3435-1 [8] sowie abZ Z-14.4-591 [9] Anwendung. Gemein ist allen Schrauben-/Bolzentypen, dass sie vorgespannt werden müssen, um den Gleitwiderstand in der Verbindung zu aktivieren. Infolge der reibschlüssig-flächenförmigen Kraftübertragung wird das Auftreten höherer Kerbspannungen in den Bauteilen verhindert, so dass bei ermüdungsbeanspruchten Verbindungen unterhalb der Gebrauchslast nahezu die Ermüdungsfestigkeit des ungelochten Grundwerkstoffes erreicht wird [10].

Die Bemessung gleitfester Verbindungen, deren Ausführung sowie die Ermittlung der für diese Art von Verbindung maßgebenden mechanischen Kenngröße, der Haftreibungszahl μ, unterscheidet sich nach DIN EN 1993-1-8 [11] einschließlich Nationalem Anhang [12] sowie der für Stahlbauten zugehörigen Ausführungsnorm, der DIN EN 1090-2 [13], nur auf den ersten Blick nicht wesentlich von der bisherigen Vorgehensweise nach DIN 18800-1 und -7 [14, 15] sowie TL/TP-KOR-Stahlbauten [16], denn: der Teufel steckt auch hier im Detail.

2 Grundlegendes zur Bemessung und Ausführung geschraubter gleitfester Verbindungen

Nach Eurocode 3 und hier nach DIN EN 1993-1-8 wird zwischen gleitfesten Verbindungen in den Grenzzuständen der Gebrauchstauglichkeit (Kategorie B) und Tragfähigkeit (Kategorie C) unterschieden. Dies ist für den deutschen Anwender neu, da es bisher nach DIN 18800-1 nur eine Form von gleitfesten Verbindungen gab: gleitfest als Gebrauchstauglichkeitskriterium. Sowohl nach DIN EN 1993-1-8 als auch nach DIN 18800-1 erfolgt der Nachweis prinzipiell mit Hilfe des vorhandenen Gleitwiderstands (DIN EN 1993-1-8) bzw. der Grenzgleitkraft (DIN 18800-1). Die prinzipielle Tragwirkung einer gleitfesten Verbindung ist in Bild 3 dargestellt. Der Nachweis gegen Gleiten ist erbracht, wenn die einwirkende Scherkraft $F_{v,Ed(,ser)}$ bzw. V_g je Schraube kleiner als der Gleitwiderstand/die Grenzgleitkraft $F_{s,Rd(,ser)}$ bzw. $V_{g,R,d}$ je Schraube ist:



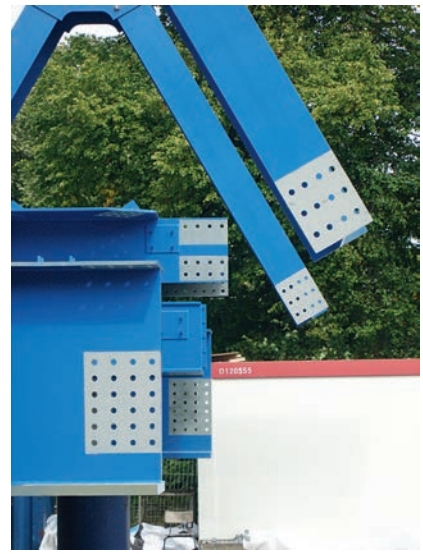


Bild 1. Behelfsbrücke über den Vinckekanal in Duisburg während der Montage mit gleitfesten Verbindungen (Foto: M. Schiborr)
Fig. 1. Temporary bridge over the Vincke Canal in Duisburg during erection with slip-resistant connections

DIN EN 1993-1-8:
Grenzzustand der Gebrauchstauglichkeit (Kategorie B):

$$F_{v,Ed,ser} \le F_{s,Rd,ser} = \frac{k_s \cdot n \cdot \mu \cdot \left(F_{p,C} - 0{,}8 \cdot F_{t,Ed,ser}\right)}{\gamma_{M3,ser}\left(=1{,}10\right)} \quad (1)$$

Grenzzustand der Tragfähigkeit (Kategorie C):

$$F_{v,Ed} \le F_{s,Rd} = \frac{k_s \cdot n \cdot \mu \cdot \left(F_{p,C} - 0{,}8 \cdot F_{t,Ed}\right)}{\gamma_{M3}\left(=1{,}25\right)} \quad (2)$$

DIN 18800-1:
Nachweis der Gebrauchstauglichkeit (je Gleitfuge)

$$V_g \le V_{g,R,d} = \frac{\mu \cdot \left(F_v - N\right)}{1{,}15 \cdot \gamma_M\left(=1{,}0\right)} \quad (3)$$

In der aktuellen DIBt-Richtlinie für Windenergieanlagen [17] gilt demgegenüber für den Nachweis gleitfester Verbindungen bei Anschlüssen und Stößen von Bauteilen des Haupttragwerkes im Grenzzustand der Tragfähigkeit für eine Schraube in einer Scherfuge (je nach Einwirkungskombination):

$$F_{v,Ed} \le F_{s,Rd} = 0{,}9 \cdot \frac{\mu}{\gamma_{M,3}\left(=1{,}1 \text{ bzw. } 1{,}25\right)} \cdot F_{p,C}^{*} \quad (4)$$

Der Nachweis der Ermüdungsfestigkeit darf für gleitfeste Verbindungen nach dieser Richtlinie entfallen.

In den Nachweisformaten beschreibt n die Anzahl der Gleitfugen und nicht die Anzahl der Reiboberflächen, wie fälschlicherweise in DIN EN 1993-1-8 formuliert. k_s stellt einen Beiwert in Abhängigkeit von der Lochform (normales Loch, Langloch etc.) mit $k_s = 1{,}0$ für Schrauben in Löchern mit normalem Lochspiel dar. $F_{t,Ed,ser}$, $F_{t,Ed}$ und N beschreiben die nominell auf eine Schraube der Verbindung entfallende äußere Zugkraft (unter Vernachlässigung der Vorspannkraft) und μ die Haftreibungszahl in Abhängigkeit des Oberflächenzustands der gegenüberliegenden Reibflächen. Die Höhe der Vorspannkraft wird über $F_{p,C}$ bzw. $F_v = F_{p,C}^{*}$ erfasst. Hierbei ist zu beachten, dass die Vorspannkraftniveaus nach DIN EN 1993-1-8 und DIN 18800-1 bzw. DIN EN 1993-1-8/NA unterschiedlich definiert sind:

$$F_{p,C} = 0{,}7 \cdot f_{ub} \cdot A_s \text{ und} \quad (5)$$

$$F_v = F_{p,C}^{*} = 0{,}7 \cdot f_{yb} \cdot A_s \quad (6)$$

In Abhängigkeit von der Zugfestigkeit f_{ub} bzw. der Streckgrenze f_{yb} sowie des Spannungsquerschnitts A_s der betrachteten Schraube ergibt sich demnach nach DIN EN 1993-1-8 prinzipiell eine höhere Vorspannkraft als nach DIN 18800-1 bzw. DIN EN 1993-1-8/NA. Bei einer Schraube der Festigkeitsklasse 10.9 liegt sie um 10 % höher. Nach Eurocode 3 resultiert u. a. hieraus für eine einschnittige Verbindung mit Schrauben der Festigkeitsklasse 10.9 in Löchern mit normalem Lochspiel im Grenzzustand der Gebrauchstauglichkeit unter Vernachlässigung einer äußeren einwirkenden Zugkraft ein um 16 % höherer Gleitwiderstand als nach DIN 18800-1:

$$F_{s,Rd,ser} = \frac{1{,}0 \cdot 1 \cdot \mu \cdot F_{p,C}}{\gamma_{M3,ser}\left(=1{,}10\right)} = \frac{\mu \cdot 0{,}7 \cdot f_{ub} \cdot A_s}{1{,}10} = 0{,}636 \cdot \mu \cdot f_{ub} \cdot A_s \quad (7)$$

$$V_{g,R,d} = \frac{\mu \cdot F_v}{1{,}15 \cdot \gamma_M\left(=1{,}0\right)} = \frac{\mu \cdot 0{,}7 \cdot f_{yb} \cdot A}{1{,}15} = \frac{\mu \cdot 0{,}7 \cdot 0{,}9 \cdot f_{ub} \cdot A_s}{1{,}15} = 0{,}548 \cdot \mu \cdot f_{ub} \cdot A_s \quad (8)$$

$$\Rightarrow \frac{F_{s,Rd,ser}}{V_{g,R,d}} = \frac{0{,}636 \cdot \mu \cdot f_{ub} \cdot A_s}{0{,}548 \cdot \mu \cdot f_{ub} \cdot A_s} = 1{,}16 \quad (9)$$

Bei HR-Schrauben der Festigkeitsklasse 8.8 beträgt dieser Unterschied sogar 31 %. Dieser Umstand birgt das nicht zu vernachlässigende Potential in sich, dass – je nach Höhe der zu übertragenden Kräfte – weniger Schrauben in einer Verbindung erforderlich und damit auch die Kosten zur Herstellung der Verbindung geringer sind.



Bild 2. Funkmast (links, Foto: M. Schiborr) und Türme für Windenergieanlagen großer Nabenhöhen mit gleitfesten Verbindungen (Mitte und rechts, Fotos: R. Glienke (Mitte) und T. Bergkvist, www.vindkraftnorr.se (rechts))
Fig. 2. Radio mast and towers for wind turbines with big hub-heights with slip-resistant connections

Nicht nur die Bemessung der gleitfesten Verbindungen nach DIN EN 1993-1-8 unterscheidet sich von DIN 18800-1, sondern auch die Ausführung nach DIN EN 1090-2 in Kombination mit DIN EN 1993-1-8/NA im Vergleich zur DIN 18800-7. Gemäß Nationalem Anhang zur DIN EN 1993-1-8 ist in Deutschland alleinig das kombinierte Vorspannverfahren nach DIN EN 1090-2 zum Aufbringen der Mindestvorspannkraft $F_{p,C}$ zulässig. Dies ist darin begründet, dass die Anwendung des Drehmoment-Vorspannverfahrens nach DIN EN 1090-2 zu kritischen Vorspannkräften bis hin zu 90 % der Bruchzugkraft und ca. 100 % der nominellen Fließzugkraft (bei 10.9-Schrauben) – alleine aus Zugbeanspruchung infolge Vorspannen – führen kann. Hierbei sind die zusätzlichen Torsionsschubspannungen aus dem eingebrachten Anziehdrehmoment noch nicht eingerechnet. Werden

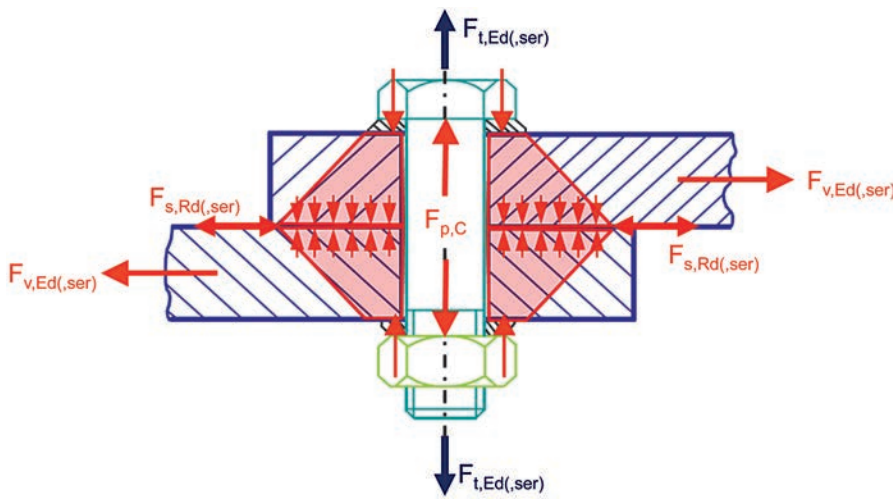


Bild 3. Tragwirkung einer vorgespannten gleitfesten Verbindung
Fig. 3. Load carrying mechanism of a preloaded slip-resistant connection

diese zusätzlich berücksichtigt, kann örtliches Fließen der Schraube bereits bei ca. 10 bis 15 % unterhalb der rechnerischen Fließzugkraft eintreten ([18], [19]).

Das kombinierte Vorspannverfahren hingegen liefert ein hohes Sicherheitsniveau, da in einem ersten Schritt mit einem definierten Anziehmoment die zu verbindenden Bauteile

flächig aneinander gezogen und in einem zweiten Anziehschritt die Schrauben mittels einem von der Klemmlänge (Dicke der zu verbindenden Bauteile plus Scheiben!) abhängigen Weiterdrehwinkel bis in den überelastischen Bereich angezogen werden. Ein Überziehen der Schrauben ist quasi nicht möglich, da die Schraube aufgrund des Nachweises ihrer ausreichenden Duktilität in Form des nach DIN EN 14399-2 [20] geprüften und in der jeweiligen Produktnorm geforderten Weiterdrehwinkels $\Delta\theta_2$ (s. Bild 4), in den flacher werdenden Verlauf der Schraubenkraft-Drehwinkel-Kurve angezogen wird, bei dem die Vorspannkraft im überelastischen Bereich bei zunehmendem Drehwinkel nicht mehr wesentlich ansteigt. Dem häufigeren geäußerte Bedenken hinsichtlich der Kontrolle der Verbindung ist entgegen zuhalten, dass infolge der nach dem ersten Anziehschritt zwingend aufzubringenden Markierung an der Garnitur eine Kontrolle des aufgebrachten Weiterdrehwinkels einwandfrei möglich ist. Die im deutschen Stahlbau weit verbreiteten Ressentiments gegenüber dem kombinierten Verfahren sind aus den vorgenannten Gründen nicht nachvollziehbar. Es ist eindeutig das bessere, weil genauere Anziehverfahren.

Dem gegenüber steht das zum Aufbringen der reduzierten Vorspannkraft $F_{p,C}^*$, der alten in Deutschland üblichen Regel-Vorspannkraft F_v (s. Gleichung (5)), modifizierte Drehmoment-Vorspannverfahren nach DIN EN 1993-1-8/NA. Hierbei wird rein elastisch vorgespannt. Die durchaus erhebliche Streuung der erzielten Vorspannkräfte wird durch das verhältnismäßig niedrige Vorspannkraftniveau aufgefangen. Die Streuung der Vorspannkräfte resultiert aus der Passgenauigkeit des gepaarten Schrauben-Muttern-Gewindes sowie – und dies im Wesentlichen – aus der vorhandenen Schmierung des Mutterngewindes und der Auflagefläche der Mutter.

Aus Qualitätssicherungsgründen werden für vorgespannte Schraubenverbindungen nur noch komplette Garnituren bestehend aus Schraube, Mutter und zwei Scheiben mit definierter Schmierung geliefert. Die in Deutschland mit dem modifizierten Drehmoment-Vorspannverfahren anzuziehenden HV-Garnituren benötigen nach DIN EN 1993-1-8/NA die Schmierung der k-Klasse K1 mit einem Streuband der individuellen k-Werte zwischen $0{,}10 \le k_i \le 0{,}16$ nach DIN EN 14399-4. Bei gleitfesten Verbindungen der Kategorie B und C nach Eurocode 3 ist – wie bereits ausgeführt – das kombinierte Verfahren zwingend anzuwenden. Auch hier sind HV-Garnituren der k-Klasse K1 einzusetzen. Es können aber auch Garnituren der höherwertigen k-Klasse K2 verwendet werden, die auf dem deutschen Markt allerdings nur schwierig erhältlich sind, und wenn verfügbar, ist ihre Anschaffung mit höheren Kosten verbunden. Die Sonderregelung der DIBt-Richtlinie für Windenergieanlagen ist zu beachten.

Ein weiteres Unterscheidungsmerkmal betrifft zum einen die grundsätzliche Anforderung an die Höhe der Haftreibungszahl μ und zum anderen die Ermittlung derselben. Nach DIN 18800-7 wurde für gleitfeste Verbindungen bisher eine Haftreibungszahl von $\mu \ge 0{,}5$ gefordert, die nach der TL/TP-KOR-Stahlbauten ermittelt wurde. Nach DIN EN 1090-2 werden dahingegen vier Gleitflächenklassen A bis D definiert, die je nach Oberflächenbehandlung Haftreibungszahlen von $\mu \ge 0{,}5$ bis $\mu \ge 0{,}2$ für gleitfeste Verbindungen zulassen (s. auch Tabelle 1). Für ausführliche Erläuterungen bzgl. der Gleitflächenklassen wird auf [18] und [19] verwiesen. Es sei aber darauf hingewiesen, dass die im deutschen Stahlbau übliche Beschichtung der Gleitflächen mittels Alkalisilikat-Zinkstaub (ASI-Zn) nach DIN EN 1090-2 konservativ der Gleitflächenklasse B mit $\mu = 0{,}4$ zugeordnet wird. Bisher galt für diese Beschichtungen $\mu = 0{,}5$, was demnach zu höheren rechnerischen Gleitwiderständen führte. Will man die höhere Haftreibungszahl für diese Beschichtung der Bemessung nun zugrunde legen, ist man gezwungen, diese nach Anhang G der DIN EN 1090-2 experimentell nachzuweisen. Setzt man die unterschiedlichen

Tabelle 1. Einstufung von Oberflächen für gleitfeste Verbindungen in Gleitflächenklassen und Haftreibungszahlen nach DIN EN 1090-2
Table 1. Classification of friction surfaces for slip-resistant connections in classes and slip factors according to DIN EN 1090-2

Oberflächenbehandlung	Gleitflächenklasse	Haftreibungszahl μ
Oberflächen mit Kugeln oder Sand gestrahlt, loser Rost entfernt, nicht körnig	A	0,50
Oberflächen mit Kugeln oder Sand gestrahlt: spritzaluminiert oder mit einem zinkbasierten Produkt spritzverzinkt mit Alkali-Zink-Silikat-Anstrich mit einer Dicke von 50 μm bis 80 μm	B	0,40
Oberfläche mittels Drahtbürsten oder Flammstrahlen gereinigt, loser Rost entfernt	C	0,30
Oberflächen im Walzzustand	D	0,20

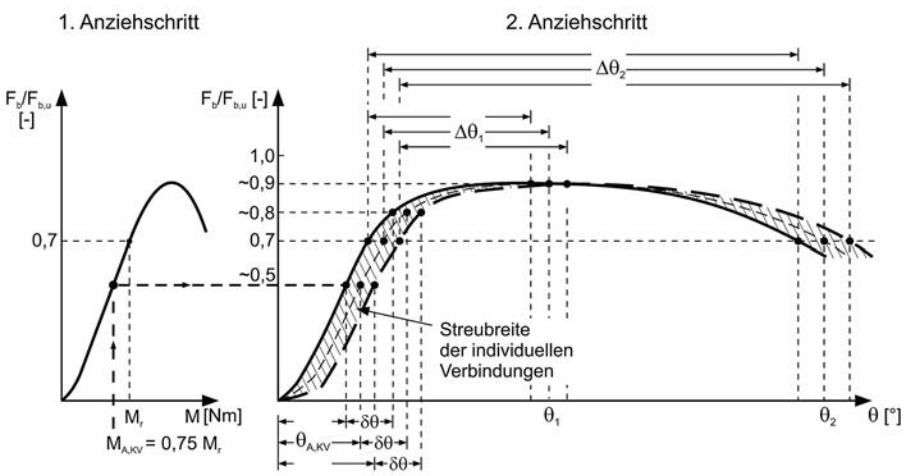


Bild 4. Anziehen mittels kombiniertem Vorspannverfahren ([18], [19])
Fig. 4. Preloading using the combined method ([18], [19])

Haftreibungszahlen für die gleiche ASI-Zn-Beschichtung exemplarisch in Gleichung (9) ein, ergibt sich für den Grenzzustand der Gebrauchstauglichkeit nach Eurocode 3 ein Gleitwiderstand, der nur 93 % des Wertes nach DIN 18000-1 beträgt:

$$\Rightarrow \frac{F_{s,Rd,ser}}{V_{g,R,d}} = \frac{0{,}636 \cdot 0{,}4 \cdot f_{ub} \cdot A_s}{0{,}548 \cdot 0{,}5 \cdot f_{ub} \cdot A_s} = 0{,}93. \quad (10)$$

Dies führt dazu, dass die Beschichtungsstoffhersteller bestrebt sind bzw. bestrebt sein sollten, ihre Beschichtungsstoffe nach Anhang G der DIN EN 1090-2 prüfen zu lassen, um höhere Haftreibungszahlen ansetzen zu dürfen – wenn diese denn so ermittelt werden können. Die Prüfmethodik nach Anhang G der DIN EN 1090-2 unterscheidet sich allerdings in Details derart von den sowohl normativ geregelten als auch in bis heute in der Praxis umgesetzten Details nach TL/TP-KOR-Stahlbauten, dass für den gleichen Beschichtungsstoff tatsächlich geringere Haftreibungszahlen resultieren können. Aus diesem Grund wird im Nachfolgenden auf die Prüfverfahren näher eingegangen.

3 Prüfverfahren zur Ermittlung der Haftreibungszahl nach TL/TP-KOR-Stahlbauten und DIN EN 1090-2

3.1 TL/TP-KOR-Stahlbauten

In Deutschland wurden in den letzten Jahrzehnten hauptsächlich die Regelungen „Beschichtungsstoffe für gleitfeste Verbindungen auf Alkalisilikat-Grundlage mit Zinkstaub“ des Blattes 85 des Anhangs E der TL/TP-KOR-Stahlbauten angewendet. Hier sind sowohl die Zusammensetzung und die Eigenschaftskennwerte des Beschichtungsstoffes im Anlieferungszustand als auch die Eigenschaftskennwerte im Verarbeitungs- und im Trockenfilmzustand geregelt. Die letztgenannten Eigenschaftskennwerte unterscheiden sich in Wasserfestigkeit, Hitzebeständigkeit und Gleitfestigkeit von Schraubverbindungen. Die Ermittlung der Haftreibungszahl, hier Reibbeiwert genannt, erfolgt als kleinstes Ergebnis aus zehn Prüfungen an Prüfkörpern gemäß Bild 5 (links) aus Baustahl S235 mit HV-Garnituren M16, FK 10.9. Die Versuchsbeschreibung fällt relativ kurz aus: Die Vorspannung in den Schrauben soll 100 kN betragen, was der Regel-Vorspannkraft F_v bzw. $F_{p,C}$* entspricht. Ferner sollen die Probekörper so lange gezogen werden, „bis die verschraubten Flächen schlagartig gleiten oder eine Verschiebung von 150 µm erreicht wird. Die hierbei erforderliche Zugkraft ist die Gleitkraft F_g.“ Der Reibbeiwert µ wird nach Gleichung (11) berechnet und muss in jeder Prüfung mindestens 0,5 betragen:

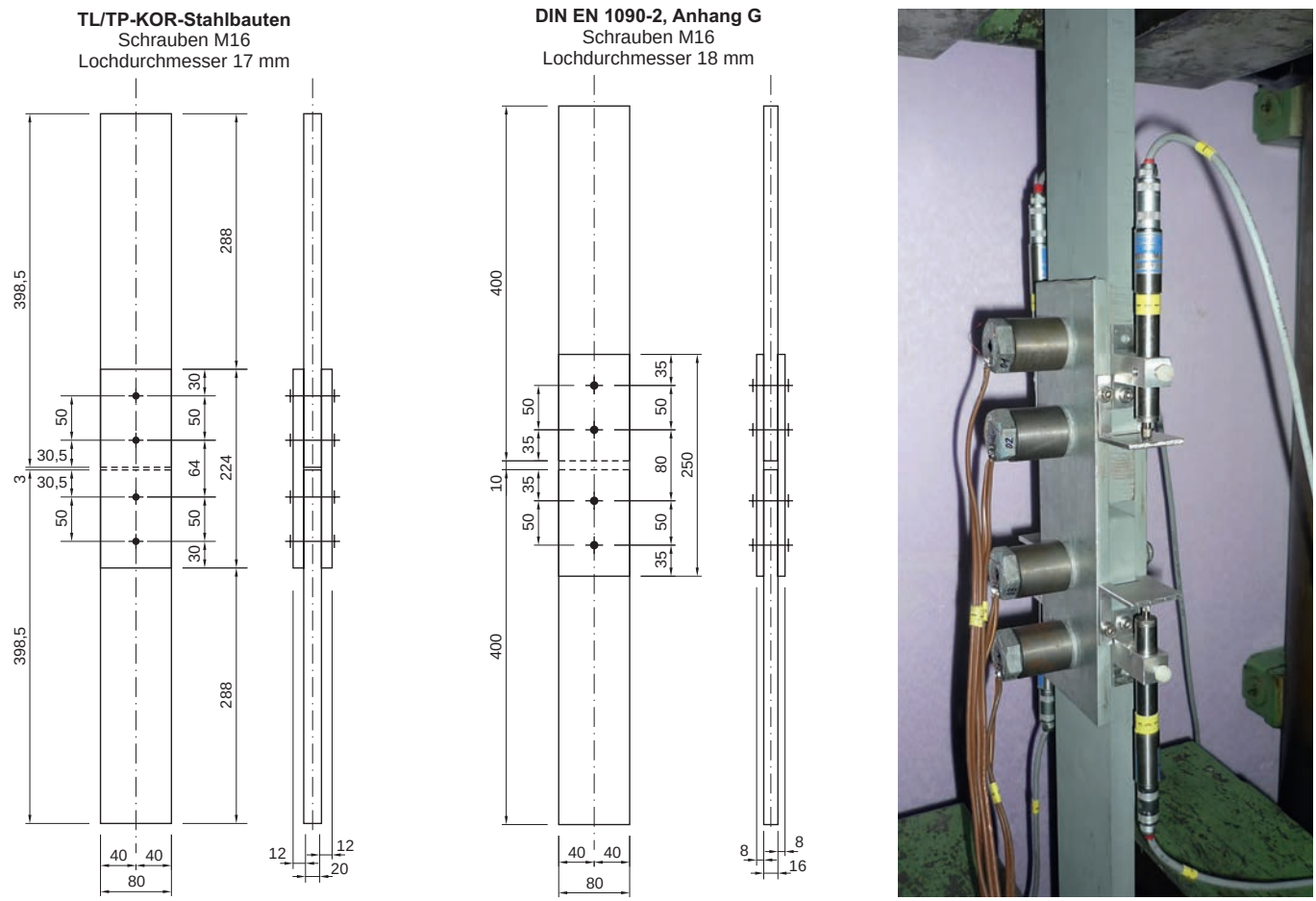


Bild 5. Prüfkörper zur experimentellen Bestimmung der Haftreibungszahl nach TL/TP-KOR-Stahlbauten (links) und DIN EN 1090-2 für Schrauben M16 (Mitte) sowie Prüfkörper nach DIN EN 1090-2 für Schrauben M16 mit Vorspannkraftmessung durch im Schraubenschaft implantierte DMS und Verschiebungsmessung mittels Wegmesstastern (IML) (rechts)
Fig. 5. Test specimen for the experimental determination of the slip factor according to TL/TP-KOR-Stahlbauten (left) and DIN EN 1090-2 for bolts M16 (middle) as well as a test specimen acc. to DIN EN 1090-2 for bolts M16 with measurement of the preload by implanted strain gauges in the bolt shank and displacement measurement by displacement transducers (IML) (right)

$$\mu = \frac{F_g\,(\mathrm{kN})}{400\ \mathrm{kN}} \geq 0{,}5. \qquad (11)$$

Der kleinste Wert aus den zehn Prüfungen wird als Ergebnis gewertet. Eine statistische Bewertung der Haftreibungszahlen erfolgt damit nicht.

Die TL/TP-KOR-Stahlbauten macht weder eine Angabe zur Art und Weise der messtechnischen Erfassung der in den Schrauben eingebrachten Vorspannkräfte noch zur Toleranz. Dies hat dazu geführt, dass in der Versuchspraxis die tatsächlichen, mit dem (modifizierten) Drehmoment-Vorspannverfahren aufgebrachten Vorspannkräfte in den Schrauben in der Regel nicht gemessen wurden und die Berechnung der Haftreibungszahl mit der nominellen Vorspannkraft erfolgte – ohne Kenntnis, ob diese tatsächlich auch vorliegt. Dies ist deswegen von Brisanz, da beim (modifizierten) Drehmoment-Vorspannverfahren die tatsächlichen Vorspannkräfte in den Schrauben um den nominellen Wert erheblich nach oben streuen. In Bild 6 sind exemplarisch Vorspannkraft-Drehwinkel-Kurven für HV-Garnituren M16x100 – 10.9/10 – tZn – K1 dargestellt, die am Anziehprüfstand des Instituts für Metall- und Leichtbau (IML) gemessen wurden. Es wird ersichtlich, dass bei konstantem Anziehmoment M_A gemäß DIN 18800-7 bzw. DIN EN 1993-1-/NA die erzielte Vorspannkraft streut – und zwar hin zu höheren Vorspannkräften.

3.2 DIN EN 1090-2, Anhang G

Wie bereits erwähnt, ermöglicht DIN EN 1090-2 die Einstufung der Oberflächenvorbehandlungen in vier verschiedene Gleitflächenklassen und bietet gleichzeitig die Möglichkeit, entweder eine abweichende Einstufung der aufgeführten Oberflächenvorbehandlungen oder die Einstufung anderer, nicht beschriebener Oberflächenvorbehandlungen versuchsgestützt zu ermitteln. Dies wird durch den im Anhang G der DIN EN 1090-2 beschriebenen Verfahrensweg möglich. Neben der Haftreibungszahl μ ermöglicht der Anhang G auch die Einschätzung von möglichen Kriechverformungen in Anschlüssen. Zu diesem Zweck ist das Prüfverfahren in die zwei Bereiche untergliedert: Ermittlung der Haftreibungszahl mit Überprüfung der Kriechgleitneigung und erweiterte Kriechprüfung. Die erweiterte Kriechprüfung ist bei Nichtbestehen der Überprüfung der Kriechgleitneigung anzuwenden. Im Nachfolgenden wird das prinzipielle Vorgehen nach Anhang G kurz erläutert.

Die Prüfung zur Bestimmung der Haftreibungszahl nach DIN EN 1090-2, Anhang G sieht alternativ zwei unterschiedliche Standardprüfkörper vor, deren Geometrie auf Schrauben M16 oder Schrauben M20 abgestimmt ist. Exemplarisch ist in Bild 5 (Mitte) der Prüfkörper für Schrauben M16 dargestellt. Gemäß [21] ist der Einfluss der Prüfkörpergeometrie von untergeordneter Bedeutung, so dass davon ausgegangen werden kann, dass die Wahl des Prüfkörpers nach Wunsch erfolgen kann.

Zur Ermittlung der Haftreibungszahl müssen in der Summe fünf Prüfkörper getestet werden, wovon zunächst vier Prüfkörper mit normaler Geschwindigkeit (Dauer der Prüfung 10 bis 15 min) belastet werden. Im Versuch wird das Kraft-Gleit-Verhalten zwischen den inneren und äußeren Blechen an vier Referenzpositionen z. B. mit Hilfe von induktiven Wegmesstastern aufgezeichnet. Bild 5 (rechts) zeigt einen Prüfkörper des Instituts für Metall- und Leichtbau mit der verwendeten Verschiebungsmesseinrichtung und den Messschrauben. Die Messung der Vorspannkräfte in den Schrauben kann z. B. mittels im Schraubenschaft implantierten Dehnungsmessstreifen (DMS, s. Bild 5 (rechts)) oder auch mittels Kraftmessdosen erfolgen. Die realen Vorspannkräfte in den Schrauben sind mit einer Genauigkeit von ± 5 % auf die für die verwendeten Schrauben festgelegte Vorspannkraft $F_{p,C}$ einzustellen.

Das Einzelergebnis einer statisch zügigen Prüfung ist die individuelle Gleitlast F_{Si}, die bei einer relativen Gleitverschiebung von 0,15 mm auftritt. Die relative Gleitverschiebung wird als Mittelwert der Verschiebungen auf beiden Seiten des Prüfkörpers in einem Prüfkörperabschnitt bestimmt. Bild 7 (links) zeigt exemplarisch das Last-Verschiebungs-Verhalten von am Institut für Metall- und Leichtbau durchgeführten Versuchen an beschichteten Prüflaschen. Anhand der ablesbaren Gleitlast F_{Si} kann bei kontinuierlicher Messung und damit Kontrolle der real vorliegenden Vorspannkräfte $F_{p,C,i}$ die Haftreibungszahl für einen Prüfkörperabschnitt wie folgt berechnet werden:

$$\mu_i = \frac{F_{Si}}{4 \cdot F_{p,C}} \qquad (12)$$

Die Zahl 4 im Nenner der Gleichung (12) bezieht sich auf zwei Schrauben mit zwei Gleitfugen je Prüfkörperhälfte. Aus diesem Grund können je Prüfkörper zwei Haftreibungszahlen μ_i und μ_{i+1} (hier eingeführt zur besseren Unterscheidung) ermittelt werden. Damit werden nicht die tatsächlich vorhandenen Vorspannkräfte zur Berechnung der Haftreibungszahl heran-

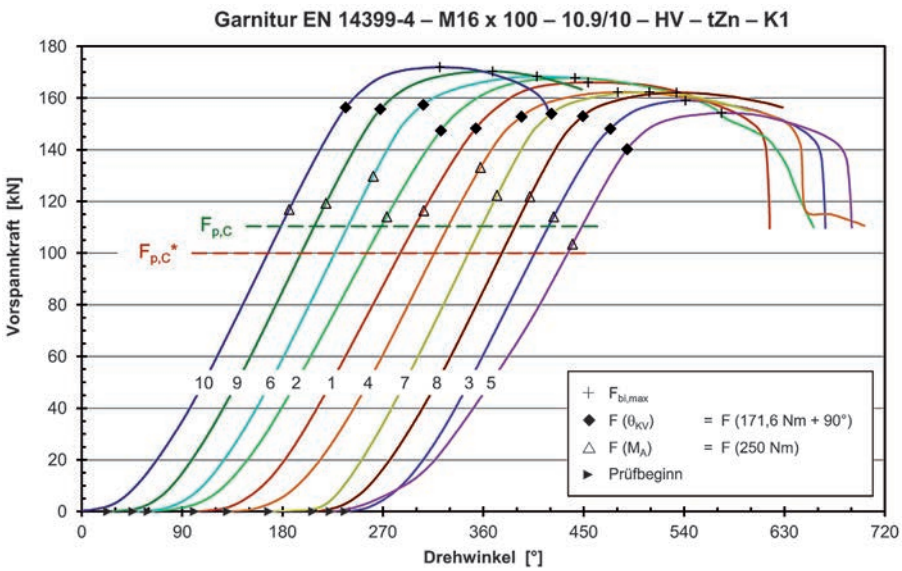


Bild 6. Vorspannkraft-Drehwinkel-Kurven von HV-Garnituren M16x100 – Streuung der Vorspannkraft bei konstantem Anziehmoment (IML)
Fig. 6. Bolt force-rotation-curve of HV bolt assemblies M16x100 – scattering of the bolt force by constant torque (IML)

gezogen, sondern der nominelle Wert der Vorspannkraft $F_{p,C}$ für die verwendete Schraube. Dies erscheint im Prüfverfahren nach DIN EN 1090-2 inkonsequent, da mittels Verwendung der realen Vorspannkräfte – möglich, da gemessen – die tatsächliche, genauere Haftreibungszahl bestimmbar wäre. Da die Abweichung aber gering ist (± 5 %), ist diese Ungenauigkeit hinnehmbar. Eine genauere Ermittlung der Haftreibungszahl würde sich jeweils für einen Prüfköperabschnitt wie folgt ergeben:

$$\mu_i = \frac{F_{Si}}{2 \cdot \left(F_{p,C,1} + F_{p,C,2}\right)} \quad \text{und}$$
$$\mu_{i+1} = \frac{F_{Si+1}}{2 \cdot \left(F_{p,C,3} + F_{p,C,4}\right)} \qquad (13)$$

Der Mittelwert der Haftreibungszahl lässt sich dann aus den zehn Messwerten der fünf Einzelversuche (inklusive Kriechversuch) bilden, wobei die Standardabweichung der geprüften Gleitlasten 8 % des Mittelwertes nicht übersteigen darf, ansonsten erhöht sich die Gesamtanzahl der Prüfkörper. Der charakteristische Wert der Haftreibungszahl $\mu_{5\%}$ wird dann nach Anhang 5 in Anlehnung an DIN EN 1990 [22] als 5 %-Quantilwert bei einem Vertrauensbereich von 75 % ermittelt.

Die Kriechgleitneigung wird am fünften Prüfkörper unter einer konstanten Dauerbelastung untersucht, deren Prüflast zu 90 % der mittleren Gleitlast F_{Sm} der acht Einzelmesswerte vereinbart wird. Zum Bestehen der Kriechprüfung darf das verzögerte Gleiten nach dem Aufbringen der vollen Last (90 % von F_{Sm}) den Wert einer zusätzlichen Verschiebung von 0,002 mm in dem Zeitraum beginnend fünf Minuten nach Lasteintragung bis zum Versuchsende nach drei Stunden nicht überschreiten. Bild 7 (rechts) zeigt exemplarisch das typische Verschiebungs-Verhalten einer Verbindung während des (nicht bestandenen) Kriechversuchs bei einem am Institut für Metall- und Leichtbau durchgeführten Versuch an einer beschichteten Prüflasche.

Wird die Kriechprüfung nicht bestanden, ist die erweiterte Kriechprüfung erforderlich. Hierzu müssen mindestens drei weitere Prüfkörper (sechs Verbindungen) getestet werden. Die Prüflast wird nun solange abgemindert (z. B. 75 %, 60 %, 50 % von F_{SM}), bis eine Grenzverschiebung von 300 µm für die geplante Nutzungsdauer des Bauwerks nicht überschritten wird. Hierzu wird die Verschiebungs-log-Zeit-Kurve auf Grundlage der erweiterten Kriechprüfung nach Bild 8 angewendet. Die Verschiebungs-log-Zeit-Kurve darf dann extrapoliert werden, sobald eine Tangente mit hinreichender Genauigkeit ermittelt werden kann. Die Dauer der erweiterten Kriechprüfung ist, wie in [18] richtig beschrieben, nicht von vornherein festgelegt und kann u. U. recht lange dauern.

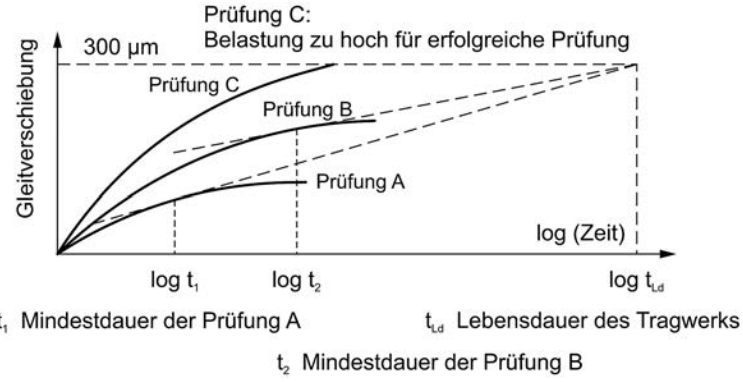


Bild 8. Anwendung der Verschiebungs-log-Zeit-Kurve bei der erweiterten Kriechprüfung nach DIN EN 1090-2, Anhang G
Fig. 8. Use of the displacement-log-time-curve in the extended creep test according to DIN EN 1090-2, Annex G

3.3 Zusammenfassende vergleichende Bewertung der Prüfverfahren

Die Abmessungen der Prüfkörper nach DIN EN 1090-2 weichen geringfügig von den Abmessungen der Prüfkörper

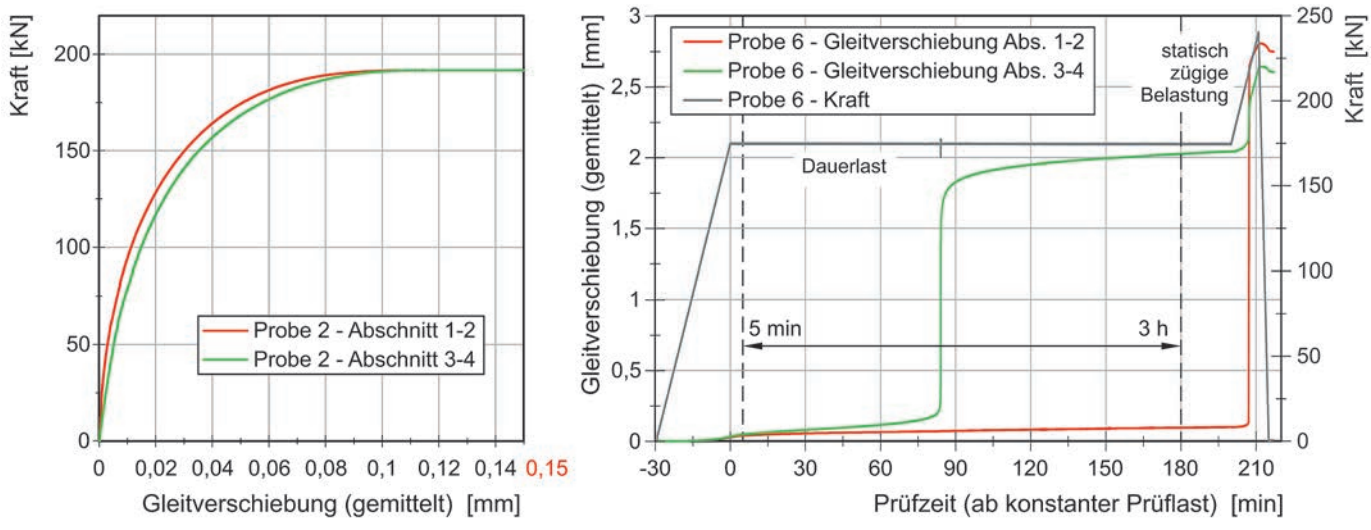


Bild 7. Last-Verschiebungs-Diagramm (links) und Darstellung der Verschiebung über die Prüfzeit eines Kriechversuchs (rechts) (IML)
Fig. 7. Load-displacement-curve (left) and illustration of the displacement over time of the simple creep test (right) (IML)

nach TL/TP-KOR-Stahlbauten ab. Nach TL/TP-KOR-Stahlbauten müssen als Resultat zehn Einzelergebnisse vorliegen, was in der Versuchspraxis dazu geführt hat, dass in der Regel auch zehn Prüfkörper getestet werden. Die zehn Ergebnisse sind allerdings nach Vorgabe der TL/TP-KOR-Stahlbauten auch an fünf Prüfkörpern zu erzielen. Im Rahmen des Prüfverfahrens nach DIN EN 1090-2 müssen mindestens fünf Prüfkörper geprüft werden. Dabei werden die ersten vier Prüfkörper in einer statisch zügigen Prüfung belastet. Der fünfte Prüfkörper wird in einer Kriechprüfung unter einer konstanten Prüflast für eine Dauer von drei Stunden belastet. Die Kriechprüfung endet ebenso wie die ersten vier Prüfungen mit einer statisch zügigen Belastung. Aus diesen fünf Prüfkörpern werden zehn Einzelergebnisse (zwei je Prüfkörper) ermittelt. Damit ist die Anzahl der geforderten Einzelergebnisse ohne Berücksichtigung der erweiterten Kriechprüfung nach DIN EN 1090-2 und TL/TP-KOR-Stahlbauten identisch. Die Durchführung erweiterter Kriechprüfungen kann allerdings eine erheblich größere Anzahl an Prüfkörpern und Einzelergebnissen bedingen.

Des Weiteren wird nach TL/TP-KOR-Stahlbauten für das Bestehen der Prüfung für jedes Einzelergebnis eine Haftreibungszahl von $\mu \geq 0{,}5$ gefordert. Sowohl die einfache als auch die erweiterte Kriechprüfung sind nicht geregelt und nicht vorgeschrieben. Damit stellt die DIN EN 1090-2 letztendlich höhere Anforderungen an die Durchführung einer Prüfung als die TL/TP-KOR-Stahlbauten.

Ein weiterer Unterschied liegt in der Höhe der anzusetzenden Vorspannkraft im Versuch: Nach Anhang G müssen die Vorspannkräfte in den Schrauben auf die Mindest-Vorspannkraft $F_{p,C}$ und nach TL/TP-KOR-Stahlbauten auf die Regel-Vorspannkraft F_v (= $F_{p,C}$*) eingestellt werden. Im Gegensatz zum Anhang G weist die TL/TP-KOR-Stahlbauten nicht explizit darauf hin, dass die Vorspannkräfte zu Beginn des Versuchs gemessen werden müssen, sie gibt auch keine Toleranz an. Dies hat in der Praxis dazu geführt, dass die Vorspannkräfte in den Schrauben lediglich über das in der DIN 18000-7 angegebene Anziehmoment mittels dem Drehmoment-Vorspannverfahren aufgebracht wurden, ohne die realen Vorspannkräfte messtechnisch zu erfassen. Da das Drehmoment-Vorspannverfahren allerdings – wie bereits ausgeführt – erheblich von der Schmierung der Mutter abhängt und in der Regel zu höheren Vorspannkräften mit großen Streuungen führt, ist davon auszugehen, dass in der Realität wesentlich höhere Vorspannkräfte in den Schrauben vorlagen und die mittels der nominell kleineren Vorspannkraft berechneten Haftreibungszahlen in der Realität in der berechneten Höhe gar nicht existierten. Dies bedeutet: die Haftreibungszahlen wurden i. d. R. überschätzt.

4 Experimentelle Ergebnisse

4.1 Allgemeines

Sowohl das Institut für Metall- und Leichtbau der Universität Duisburg-Essen als auch das Fraunhofer-Anwendungszentrum Großstrukturen in der Produktionstechnik (Fh-AGP), Rostock, beschäftigen sich intensiv mit der experimentellen Ermittlung von Haftreibungszahlen für gleitfeste Verbindungen nach beiden bisher behandelten Regelwerken. Im Nachfolgenden werden exemplarisch Ergebnisse einer im Prüflabor des Fraunhofer-AGP durchgeführten Verfahrensprüfung nach Anhang G mit an die Einbaupraxis eines Gitterturms angelehnten Prüfkörpern mit vorspannbaren Schließringbolzen nach abZ Z-14.4-591 vorgestellt (s. Bild 9). Aus Vertraulichkeitsgründen soll hier nur auf den prinzipiellen Verfahrensweg eingegangen werden; auf die Beschreibung des Oberflächenzustandes wird an dieser Stelle bewusst verzichtet.

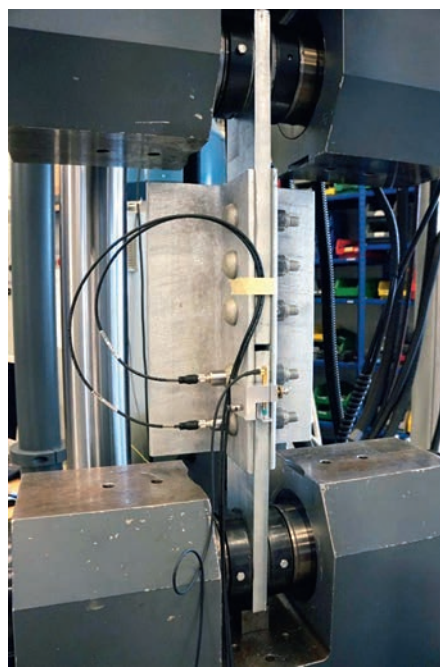


Bild 9. Von der Einbaupraxis abgeleiteter Prüfkörper (Gitterturm mit Winkelprofilen – Anschluss Knotenblech an Diagonalausfachung) mit in den vorspannbaren Schließringbolzen implantierten DMS (Fh-AGP)
Fig. 9. Test specimen derived from installation practice with preloaded lockbolts and implanted strain gauges (Fh-AGP)

4.2 Statischer Versuch

Im Rahmen der Versuchsreihe wurden zunächst acht Prüfkörper mit je einem Prüfkörperabschnitt gemäß Bild 9 [23] zügig bis zum Erreichen der Gleitlast belastet. Während der Versuchsdurchführung wurden die Verschiebung, die Prüfmaschinenkraft sowie die Vorspannkräfte zweier Messbolzen ($F_{p,C,1}$ und $F_{p,C,2}$) aufgezeichnet. Die Prüfergebnisse eines Versuchs sind in Bild 10 [23] dargestellt. Vor Versuchsbeginn konnte eine Vorspannkraft in beiden Messbolzen in Höhe von 260 kN festgestellt werden. Etwa 14 Minuten nach Prüfbeginn wurde die Grenzverschiebung von $\delta = 150$ µm nach DIN EN 1090-2, Anhang G überschritten. Bei einer mittleren Verschiebung des hier betrachteten Prüfkörperabschnittes von $\delta = 132$ µm konnte die individuelle Gleitlast mit $F_{Si} = 396$ kN noch vor dem Erreichen der Grenzverschiebung festgestellt werden. Die Verbindung rutschte anschließend ohne Laststeigerung durch, bis es zum Anliegen der Verbindungsmittel an die Lochwandung kam und die Scher-/Lochleibungstragwirkung aktiviert wurde. Zum Zeitpunkt des Gleitens fielen die gemessenen Vorspannkräfte auf 93 % gegenüber dem Anfangswert bei Prüfbeginn ab. Dies resultiert aus der Einebnung der Oberflächenrauigkeiten und der Querkontraktion des Klemmpaketes infolge der Zugscherbeanspruchung mit zunehmender Laststeigerung. Die Haftreibungszahl wurde zunächst – abweichend zu Anhang G – unter Berücksichtigung der gemessenen Vorspannkräfte in den beiden Messbolzen zum Zeitpunkt des Prüfbeginns exemplarisch für Probe 6 nach Gleichung (13) zu $\mu_6 = 0{,}38$ berechnet.

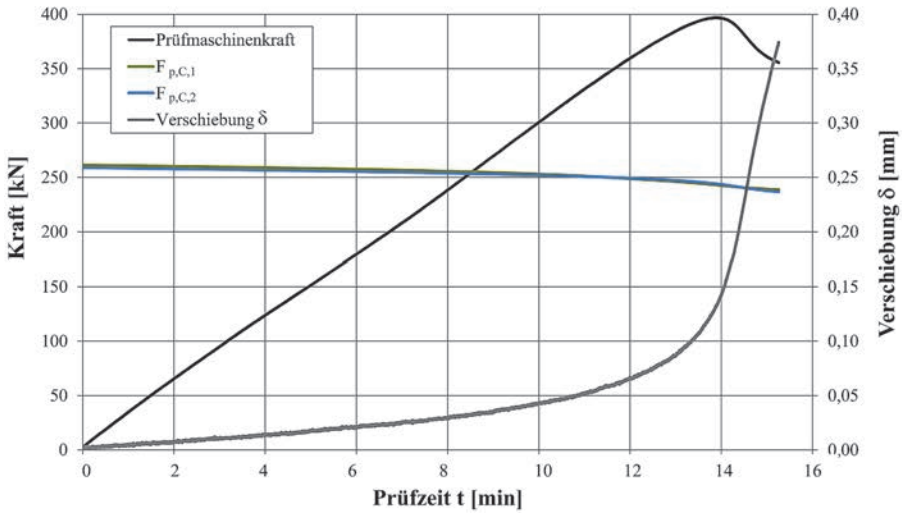


Bild 10. Experimenteller Befund: Darstellung der Messgrößen im Gleitlastversuch (Fh-AGP) [23]
Fig. 10. Experimental results: representation of the measured values during slip load testing (Fh-AGP) [23]

Eine andere Möglichkeit zur Auswertung der Haftreibungszahl μ bieten – analog zu [24] – die aktuellen Vorspannkräfte unmittelbar vor Beginn des Gleitens. Hierzu soll die Reibschlusskurve nach Bild 11 betrachtet werden [23]. Als Reibschluss R wird das Verhältnis der jeweiligen äußeren Zugkraft Z (= Prüfkraft) zur aktuell gemessenen Vorspannkraft ($F_{p,Ci,actual}$) je Prüfkörperabschnitt verstanden. Der Reibschluss lässt sich somit wie folgt bestimmen:

$$R = \frac{Z}{2 \cdot \left(F_{p,C1,actual} + F_{p,C2,actual}\right)} \qquad (14)$$

Die in Bild 11 gezeigte Reibschlusskurve stellt somit auf die momentanen Vorspannkräfte ab. Der maximale Reibschluss lässt sich auch in dieser Darstellung bei einer Verschiebung von $\delta = 132$ µm feststellen. Die erzielte effektive Haftreibungszahl ergibt sich exemplarisch für Probe 6 nach Gleichung (15) zu:

$$\mu_{6,eff} = \frac{F_{S6}}{2 \cdot \left(F_{p,C1,actual} + F_{p,C2,actual}\right)}$$

$$= \frac{396\ \text{kN}}{2 \cdot \left(243\ \text{kN} + 244\ \text{kN}\right)} = 0{,}41 \qquad (15)$$

Im Rahmen der hier angestellten Untersuchungen ergaben sich aus acht Messwerten Haftreibungszahlen bezogen auf die aktuell gemessenen Vorspannkräfte zwischen 0,40 und 0,46. Die charakteristische Haftreibungszahl ließ sich als 5 %-Quantilwert zu $\mu_{5\%,eff} = 0{,}38$ bestimmen. Der Variationskoeffizient der geprüften Gleitlasten ergab sich zu 5,16 %, sodass auf eine Erhöhung des Probenumfanges verzichtet werden konnte.

4.3 Kriechprüfung

Ob die nach dem vorherigen Abschnitt ermittelte Haftreibungszahl $\mu_{5\%,eff} = 0{,}38$ als gerechtfertigt angesehen werden kann, sollte die Kriechprüfung unter Verwendung des fünften Prüfkörpers klären. Das Ergebnis dieses Kriechversuchs ist für einen Prüfkörperabschnitt Bild 12 zu entnehmen. Hierbei ist zu erkennen, dass sich bereits beim Aufbringen der vollen Last (90 % von F_{Sm}) eine Verschiebung von ca. 60 µm eingestellt hatte. Für die Beurteilung des verzögerten Gleitens darf nun bei 90 % F_{Sm} der Unterschied zwischen der aufgezeichneten Verschiebung nach fünf Minuten und nach drei Stunden maximal 2 µm betragen. Zu Beginn der Messung (fünf Minuten nach Lasteintrag) konnte eine Verschiebung $\delta = 113$ µm festgestellt werden. Bereits nach weiteren acht Minuten wurde die Prüfung abgebrochen, da die Verbindung vollständig durchgerutscht war. Die Kriechprüfung galt somit als nicht bestanden, so dass die erweiterte Kriechprüfung erforderlich wurde.

4.4 Erweiterte Kriechprüfung

Im Rahmen der erweiterten Kriechprüfung sollte der Ausnutzungsgrad der nach Abschnitt 4.2 ermittelten Basis-Haftreibungszahl $\mu_{5\%,eff}$ bestimmt werden, bei der ein Kriechgleiten unter Dauerlast gerade noch nicht eintritt. Hierzu werden die Ergebnisse zweier erweiterter Kriechprüfungen diskutiert, einer zu 70 % sowie einer zu 40 % der Basis-Haftreibungszahl ausgelasteten Verbindung. In Bild 13 sind die dazugehörigen Verschiebungs-log-Zeit-Kurven dargestellt. Die zu 70 % der Basis-Haftreibungszahl ($\mu_{70\%} = 0{,}27$) ausgenutzte Verbindung wurde 17,54 h einer Dauerstandbelastung in Höhe von 70 % F_{Sm} unterzogen. Die

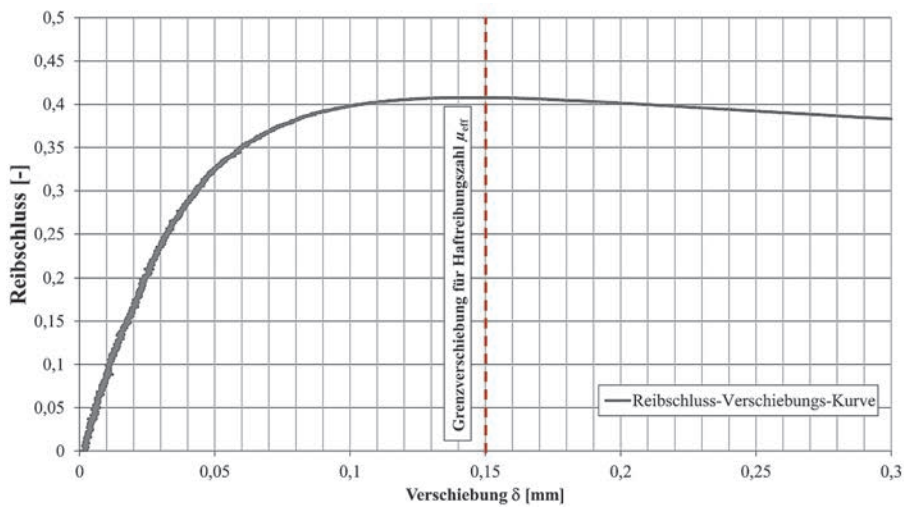


Bild 11. Experimenteller Befund: Reibschluss-Verschiebungs-Diagramm im Gleitlastversuch (Fh-AGP) [23]
Fig. 11. Experimental results: Friction-displacement diagram during slip load testing (Fh-AGP) [23]

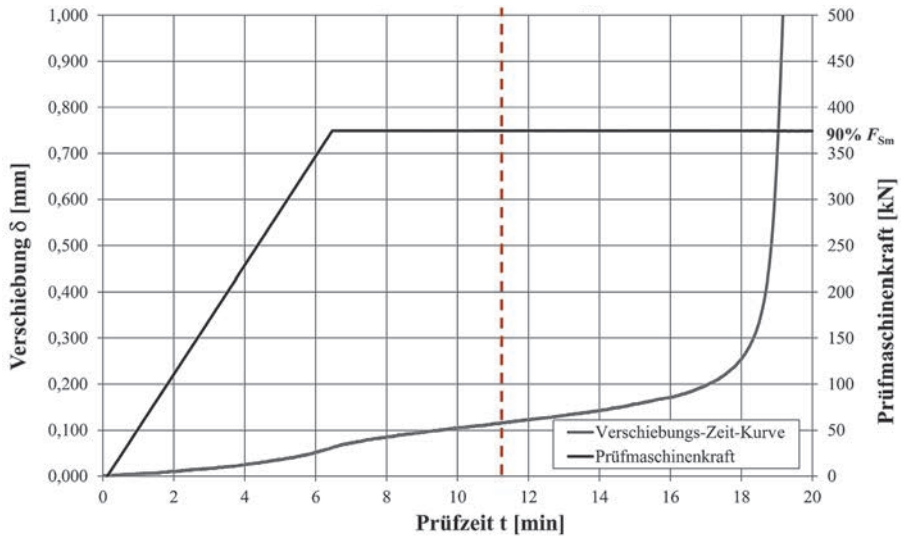


Bild 12. Experimenteller Befund: Kriechprüfung bei 90 % von F_{Sm} (Fh-AGP) [23]
Fig. 12. Experimental results: creep testing with 90 % F_{Sm} (Fh-AGP) [23]

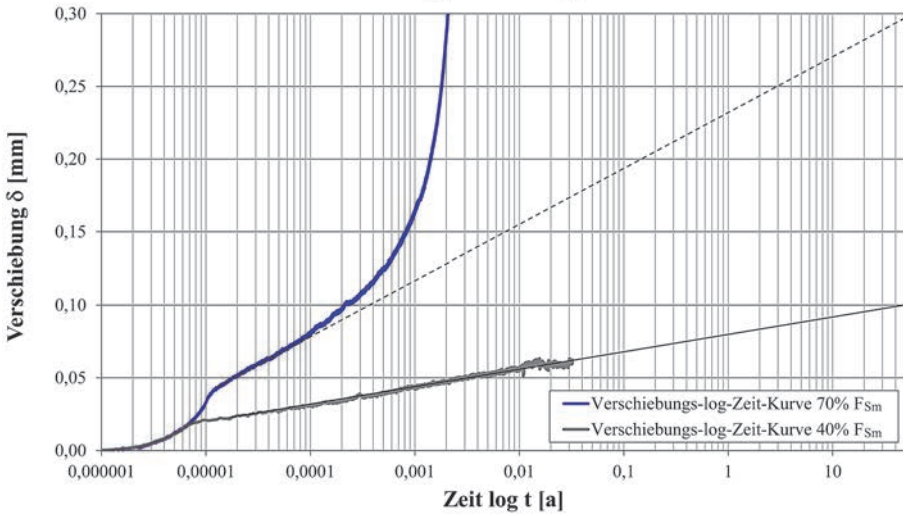


Bild 13. Experimenteller Befund: Erweiterte Kriechprüfung bei 70 % und 40 % F_{Sm} (Fh-AGP) [23]
Fig. 13. Experimental results: extended creep testing at 70 % and 40 % F_{Sm} (Fh-AGP) [23]

blaue Verschiebungs-log-Zeit-Kurve zeigt, dass sich nach fünf Minuten, also zum Zeitpunkt des Aufbringens der vollen Prüflast (70 % F_{Sm}), eine Verschiebung von 40 µm einstellt. Anschließend wächst die Verschiebung bis zur Prüfdauer von 0,0002 a (~ 2 h) linear an und nimmt danach einen progressiven Verlauf an. Dies ist offensichtlich mit dem Übergang der Verbindung vom Zustand der Haftreibung in den Zustand der Gleitreibung zu erklären. Bei einer Prüfdauer von 0,002 a (~ 17,5 h) wurde die Prüfung abgebrochen, da hier das Grenzverschiebungskriterium von 300 µm überschritten wurde. Die Haftreibungszahl $\mu_{70\%}$ war somit unter Dauerbelastung als nicht gerechtfertigt anzunehmen. An dieser Stelle sei ausdrücklich darauf hingewiesen, dass ein Abbruch der Kriechprüfung nach 0,0001 a zu falschen Schlüssen geführt hätte. Folglich wird nun die Absenkung der Prüflast auf 40 % von F_{Sm} diskutiert. Die graue Linie zeigt die Verschiebungs-log-Zeit-Kurve einer zu 40 % der Basis-Haftreibungszahl ausgenutzten Verbindung. Die Anfangsverschiebung ist deutlich geringer gegenüber der zu 70 % der Basis-Haftreibungszahl ausgenutzten Verbindung. Bemerkenswert ist einerseits die abnehmende Kriechgleitgeschwindigkeit sowie anderseits der zum Stehen kommende Verschiebungszuwachs zwischen 0,02 a (~7 Tage) und 0,03 a (~11 Tage). Wird nun eine Tangente für die Verschiebungs-log-Zeit-Kurve mittels Extrapolation ermittelt, kann die Haftreibungszahl $\mu_{40\%}$ für eine Lebensdauer von 50 Jahren als gerechtfertigt angesehen werden. Die theoretische Grenzverschiebung von 300 µm wird nicht erreicht.

5 Resultierende Hinweise zur Prüfung und Auswertung von gleitfesten Verbindungen

Generell wird gefordert, dass die Gültigkeit der Prüfergebnisse auf die wesentlichen Kenngrößen der Prüfkörper und hier vor allen Dingen der Oberflächen begrenzt ist. Dies wird nach Meinung der Verfasser ausdrücklich unterstützt, da zum einen die Oberflächenbeschaffenheit neben der Vorspannkraft die wesentliche Einflussgröße für die Höhe des aktivierbaren Gleitwiderstands darstellt und zum anderen bei beschichteten Oberflächen die Möglichkeit von zeitabhängigen Vorspannkraftverlusten besteht. In [25] und [26] wird der Gesamt-Vorspannkraftverlust $\Delta F_{p,C,ges}$ in vorgespannten Verbindungen aus verschiedenen Anteilen wie folgt zusammengefasst:

$$\Delta F_{p,C,ges} = \Delta F_{p,C,Setzen} + \Delta F_{p,C,Relaxation} + \Delta F_{p,C,Querkontraktion} + \Delta F_{p,C,Längszugkraft} + \Delta F_{p,C,Losdrehen} \quad (16)$$

mit

$\Delta F_{p,C,Setzen}$
Setzen in den Kontakt- und Auflageflächen durch Einebnen von Oberflächenrauigkeiten

$\Delta F_{p,C,Relaxation}$
Relaxation der Verbindungselemente und des Klemmpaketes

$\Delta F_{p,C,Querkontraktion}$
Querkontraktion aufgrund äußerer Zugscherbeanspruchung

$\Delta F_{p,C,Längszugkraft}$
äußere Zugbeanspruchung

$\Delta F_{p,C,Losdrehen}$
selbsttätiges Losdrehen unter schwingender Beanspruchung

Zur Beurteilung der Tragfähigkeit gleitfester Verbindungen ist es daher nicht ausreichend, nur die Haftreibungszahl

μ zu kennen und nach DIN EN 1090-2, Anhang G geeignet nachzuweisen. Der Höhe der Vorspannkraft $F_{p,C}$ bei der Montage kommt – wie bereits ausgeführt – ebenfalls eine entscheidende Bedeutung zu. Weiterhin ist eine versuchsgestützte Abschätzung der o. g. Vorspannkraftverluste $\Delta F_{p,C}$ über die geplante Nutzungsdauer von Bauwerken sinnvoll. Insbesondere wurde u. a. in [27] und [28] gezeigt, dass verschiedene Oberflächenvorbehandlungen ganz unterschiedlich auf eine schwingende Belastung reagieren und einen nicht vernachlässigbaren Einfluss auf die Höhe der Vorspannkraft bzw. die Haftreibungszahl nehmen. Eine rechnerische Abschätzung der Vorspannkraftverluste für stahlgepaarte Oberflächen infolge Setzens bietet beispielsweise die VDI-Richtlinie 2230 [29]. Für eine versuchsgestützte Abschätzung ist hierzu ferner die Anpassung der im zukünftigen Bauwerk anzustrebenden Klemmlängenverhältnisse und Oberflächen sinnvoll. Weiterhin ist die uneingeschränkte Gültigkeit des Verschiebungskriteriums 150 μm zur Feststellung der maßgebenden Gleitlast kritisch zu hinterfragen. Unterschiedliche Oberflächen (z. B. unbehandelte oder gestrahlte Walzhaut, Feuerverzinkungen, ASI-Beschichtungen oder Spritzaluminieren) weisen ein ganz unterschiedliches Kraft-Gleitungs-Verhalten auf [30]. Dies wird anhand von Bild 14 deutlich, in dem fünf charakteristische Last-Verschiebungs-Kurven mit unterschiedlichen Reibflächenvorbehandlungen (Serie 1 bis 5) gezeigt werden. Bei den Oberflächenvorbehandlungen der Typen 1, 3 und 4 darf das Verschiebungskriterium (0,15 mm) zur Feststellung der Haftreibungszahl als gerechtfertigt angesehen werden. Bei Typ 2, wie übrigens auch bei Typ 1, tritt ein Gleiten bereits vor Erreichen des Grenzwertes von 0,15 mm ein. Bei Typ 5 kann die individuelle Gleitlast zwar bei 0,15 mm festgestellt werden, jedoch gilt die Verbindung als nicht durchgerutscht. Hier wird die Traglast deutlich unterschätzt, da die individuelle Gleitlast nach 0,15 mm festgestellt werden muss.

6 Zusammenfassung

Die Ausführung gleitfester Verbindungen nach Eurocode 3 und DIN EN 1090-2 fordert die realistische Abschätzung des tatsächlichen Gleitwiderstands über die exakte Ermittlung der Haftreibungszahl unter Berücksichtigung der auf ± 5 % Genauigkeit eingestellten Mindestvorspannkraft $F_{p,C}$ in der geschraubten Verbindung. Zusätzlich sind zeitabhängige Kriechverformungen zu erfassen. Damit liegt jetzt ein Prüfverfahren vor, das bereits in vielen Punkten das reale Tragverhalten widerspiegelt und aus diesem Grund auch eine erhebliche Verbesserung zum alten Verfahren nach TL/TP-KOR-Stahlbauten darstellt. Wünschenswert wären allerdings noch weitergehende konkrete Angaben z. B. zur Prüfung unter Ermüdungsbeanspruchung und zur Berücksichtigung von Vorspannkraftverlusten. Diese Themen werden von beiden Forschungsstellen bereits intensiv angegangen.

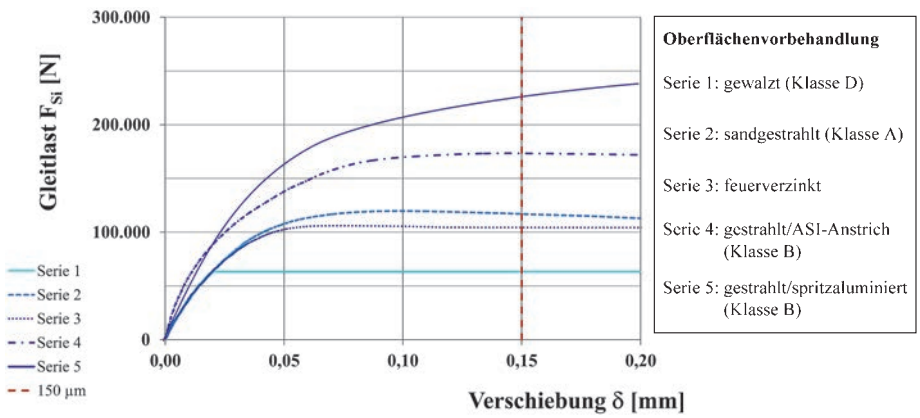


Bild 14. Last-Verschiebungs-Diagramme für unterschiedliche Oberflächenvorbehandlungen aus [30]
Fig. 14. Load-displacement-curves for different friction surfaces according to [30]

Literatur

[1] *Dehm, J.*: 160-m-Fachwerkturm für eine Windenergieanlage – Die höchste Windenergieanlage der Welt. Stahlbau 76 (2007), Heft 4, S. 213–221.

[2] *Veljkovic, M.* et al.: Friction connection in tubular towers for a wind turbine. Stahlbau 79 (2010), Heft 9, S. 660–668.

[3] *Wanner, M.-C., Glienke, R.*: Einsatz wartungsfreier mechanischer Fügeverfahren im Stahlbau. DVS-Bericht Nr. 275, Tagungsband zur Großen Schweißtechnischen Tagung, September 2011, DVS-Media GmbH.

[4] DIN EN 14399-4:2006-06: Hochfeste planmäßig vorspannbare Schraubenverbindungen für den Metallbau – Teil 4: System HV – Garnituren aus Sechskantschrauben und -muttern. Deutsche Fassung EN 14399-4:2005.

[5] DIN EN 14399-3:2006-06: Hochfeste planmäßig vorspannbare Schraubenverbindungen für den Metallbau – Teil 3: System HR – Garnituren aus Sechskantschrauben und -muttern. Deutsche Fassung EN 14399-3:2005.

[6] DIN EN 14399-10:2009-09: Hochfeste planmäßig vorspannbare Schraubenverbindungen für den Metallbau – Teil 10: System HRC – Garnituren aus Schrauben und Muttern mit kalibrierter Vorspannung. Deutsche Fassung EN 14399-10:2009.

[7] AbZ Z-14.4-584, HV-Verbindungen in Stahlbaukonstruktionen mit TCB Standard und TCB Studs, Tension Control Bolts Ltd.. Allgemeine bauaufsichtliche Zulassung des Deutschen Instituts für Bautechnik, Zulassungsbescheid vom 20.02.2012.

[8] Merkblatt DVS/EFB 3435-1:2008-11, Schließringbolzensysteme, DVS Media GmbH, Düsseldorf.

[9] AbZ Z-14.4-591, Schließringbolzen ohne Abrissteil, Alcoa Fastening Systems Ltd.. Allgemeine bauaufsichtliche Zulassung des Deutschen Instituts für Bautechnik, Zulassungsbescheid vom 4.11.2011.

[10] *Petersen, C.*: Stahlbau – Grundlagen der Berechnung und baulichen Ausbildung von Stahlbauten. 4. Auflage, Wiesbaden: Springer Vieweg Verlag 2013.

[11] DIN EN 1993-1-8:2010-1: Eurocode 3: Bemessung und Konstruktion von Stahlbauten – Teil 1-8: Bemessung von Anschlüssen. Deutsche Fassung EN 1993-1-8:2005 + AC:2009.

[12] 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.

[13] DIN EN 1090-2:2011-10: Ausführung von Stahltragwerken und Aluminiumtragwerken – Teil 2: Technische Regeln für die Ausführung von Stahltragwerken.

Deutsche Fassung EN 1090-2:2008+ A1:2011.
[14] DIN 18800-1:2008-11: Stahlbauten – Teil 1: Bemessung und Konstruktion.
[15] DIN 18800-7:2008-11: Stahlbauten – Teil 7: Ausführung und Herstellerqualifikation.
[16] TL/TP-KOR-Stahlbauten, Technische Lieferbedingungen und Technische Prüfvorschriften für Beschichtungsstoffe für den Korrosionsschutz von Stahlbauten. Anhang E, Blatt 85, Verkehrsblatt-Dokument Nr. B5259, Vers. 12/02.
[17] Richtlinie für Windenergieanlagen, Einwirkungen und Standsicherheitsnachweise für Turm und Gründung. Oktober 2012, Schriften des Deutschen Instituts für Bautechnik, Reihe B, Heft 8.
[18] *Schmidt, H.* et al.: Ausführung von Stahlbauten: Kommentare zu DIN EN 1090-1 und DIN EN 1090-2. Berlin: Beuth und Ernst & Sohn 2012.
[19] *Schmidt, H., Stranghöner, N.*: Ausführung geschraubter Verbindungen nach DIN EN 1090-2. in: Stahlbau Kalender 2011, S. 283-340, Hrsg.: *Kuhlmann, U.*, Berlin: Ernst & Sohn 2011.
[20] DIN EN 14399-2:2006-06: Hochfeste planmäßig vorspannbare Schraubenverbindungen für den Metallbau – Teil 2: Prüfung der Eignung zum Vorspannen. Deutsche Fassung EN 14399-2:2005.
[21] *Kulak, G. L., Fisher, J. W., Struik, J. H. A.*: Guide to Design Criteria for Bolted and Riveted Joints. 2nd Edition, AISC – AMERICAN INSTITUTE OF STEEL CONSTRUCTION, Inc., Chicago, 2001.
[22] DIN EN 1990:2010-12: Eurocode: Grundlagen der Tragwerksplanung. Deutsche Fassung EN 1990:2002 + A1:2005 + A1:2005/AC:2010.
[23] *Glienke, R.*: Verfahrensprüfung zur Ermittlung der Haftreibungszahl in gleitfest vorgespannten Verbindungen nach DIN EN 1090-2, Anhang G. Unveröffentlichter Prüfbericht P-Fh-AGP-V1208-05, Rostock, 2013.
[24] *Valtinat, G., Albrecht, F., Dangelmaier, P.*: Gleitfeste Verbindungen mit feuerverzinkten Stahlteilen und reibfesten Beschichtungen oder anderen reibbeiwerterhöhenden Maßnahmen. Schriftenreihe Stahlbau und Holzbau, Technische Universität Hamburg-Harburg, Forschungsbericht, Heft 3, Gemeinschaftsausschuss Verzinken e.V., GAV-Nr. FG 23, Bericht-Nr. 122, AIF-Nr. 7571, Hamburg, 1993.
[25] *Sedlacek, G., Kammel, C.*: Dauerverhalten von GV-Verbindungen bei verzinkten Konstruktionen im Freileitungs-, Mast- und Kaminbau. Forschungsbericht P 409, Studiengesellschaft Stahlanwendung e.V., Düsseldorf: Verlag und Vertriebsgesellschaft mbH 2001.
[26] *Sedlacek, G., Kammel, C.*: Zum Dauerverhalten von GV-Verbindungen in verzinkten Konstruktionen – Erfahrungen mit Vorspannkraftverlusten. Stahlbau 70 (2001), Heft 12, S. 917–926.
[27] *Gruintjes, T. J. J., Bouwman, L. P.*: Slip factors of structural connections formed with high-strength friction grip bolts and with contact surfaces treated in various ways. Faculty of Civil Engineering and Geosciences, TU Delft, 1984.
[28] *Glienke, R.*: Beitrag zur Bemessung von Verbindungen mit Schließringbolzen im Stahl- und Maschinenbau. Dissertation, Lehrstuhl Fertigungstechnik, Fakultät für Maschinenbau und Schiffstechnik, Universität Rostock (in Vorbereitung).
[29] VDI 2230 (Blatt 1):2003-02: Systematische Berechnung hochbeanspruchter Schraubenverbindungen, Zylindrische Einschraubenverbindungen. Berlin: Beuth-Verlag GmbH.
[30] *Glienke, R., Wanner, M.-C.*: Bemessungskonzept für Schließringbolzenverbindungen in Stahl- und Aluminiumblechen. AiF-Forschungsvorhaben 16288BR; EFB-Forschungsbericht Nr. 355, Rostock; 2013.

Autoren dieses Beitrages:
Univ.-Prof. Dr.-Ing. habil. Natalie Stranghöner,
natalie.stranghoener@uni-due.de,
Dipl.-Ing. Markus Schiborr,
markus.schiborr@uni-due.de,
Universität Duisburg-Essen,
Institut für Metall- und Leichtbau,
Universitätsstraße 15, 45141 Essen

Dr.-Ing. Ralf Glienke,
ralf.glienke@hro.ipa.fraunhofer.de
Univ.-Prof. Dr.-Ing. Martin-Christoph Wanner,
martin-christoph.wanner@hro.ipa.fraunhofer.de,
Fraunhofer-Anwendungszentrum Großstrukturen in der Produktionstechnik,
Albert-Einstein-Straße 30, 18059 Rostock

Dipl.-Ing. Detlef Ulbrich,
Deutsches Institut für Bautechnik,
Kolonnenstraße 30 B,
10829 Berlin,
dul@dibt.de

Detlef Ulbrich
Reiner Primke-Engel
Christoph Blunk
Ralf Glienke

DOI: 10.1002/stab.201310108

Mechanische Verbindungen im Metallleichtbau

Ohne das Verbinden von Einzelteilen zu Baugruppen und letztendlich zum finalen Produkt ist ein Bauen nicht möglich. Es existieren vielfältige Arten von Verbindungen, deren Eignung sehr stark von den zu verbindenden Werkstoffen und den daraus gefertigten Teilen abhängt. Dieser Beitrag beschäftigt sich speziell mit Verbindungen im Metallleichtbau. Neben den auch im Metallhochbau typischen Fügeverfahren wie Schweißen, Schrauben und Nieten findet man im Metallleichtbau weitere Verbindungsarten wie z. B. Falzverbindungen, Clinchen, Stanznietverbindungen und Setzbolzenverbindungen.
Eine detaillierte Beschreibung dieser vielfältigen Fügeverfahren würde den Rahmen dieses Beitrages sprengen. Es werden deshalb nur die den überwiegenden Teil aller Verbindungen im Metallleichtbau ausmachenden Verbindungen mit so genannten stiftförmigen Verbindungselementen, wie Schraubverbindungen, Blindnietverbindungen und Setzbolzenverbindungen, behandelt. Dabei werden die Anwendungsbereiche aufgezeigt, Vor- und Nachteile gegenübergestellt, die Ermittlung von Tragfähigkeitswerten kurz behandelt sowie Hinweise zur Bemessung und Ausführung gegeben.

Mechanical joints in metallic light weight structures. *Construction is not possible without joining single parts to components and at the end to the final structure. There exist multifarious kinds of connections whose suitability mainly depends on the characteristic of raw material the structural parts are made of. This article especially deals with joints in metallic light weight structures. Beside the typical connections in metal structures like welding, bolting and riveting in metallic light weight structures further kinds of connections can be found like standing seam, clinch, punch rivet or cartridge fired pin connections. Describing all these single methods would go beyond the scope of this article. That is why only the predominant part of all connections with so called pencil-shaped fastening elements like screwed connections, blind riveted connections and connections with cartridge fired pins will be dealt with. Furthermore the scope of application will be shown, advantages and disadvantages will be compared, the determination of characteristic values or resistance will be shortly explained and advices for calculation and execution will be given.*

1 Einleitung

„Ohne Schweißen ist nix …“ lautet ein Slogan des DVS, den man auch verallgemeinern kann zu „Ohne Verbinden ist nix“, denn ohne das Verbinden von Einzelteilen zu Baugruppen und letztendlich zum finalen Produkt ist ein Bauen nicht möglich. Es existieren vielfältige Arten von Verbindungen, deren Eignung sehr stark von den zu verbindenden Teilen abhängt. So hat z. B. das Kleben, oder wie es dort richtiger heißt, das Leimen, im Holzbau eine herausragende Bedeutung, während dieses Verfahren im Metallbau völlig untergeordnet ist. Mit der Entwicklung immer innovativerer Bauweisen werden auch die Ansprüche an die Verbindungen stetig höher. So sind die verschiedensten Werkstoffe schnell, kosteneffizient, sicher und dauerhaft miteinander zu verbinden.

Ähnlich wie im Stahlhochbau bzw. in dem vom Anteil her eher untergeordneten Aluminiumhochbau gibt es im Metallleichtbau die klassischen Standardverbindungen durch Schweißen, Schrauben und Nieten. Während z. B. im Hochbau Stumpf- und Kehlnähte beim Schweißen überwiegen, sind im Metallleichtbau am häufigsten Punkt- und Rollnahtschweißungen anzutreffen. Schraub- und Nietverbindungen beginnen im Hochbau üblicherweise bei Nenndurchmessern von 12 mm, im Metallleichtbau dagegen schon bei Nenndurchmessern von 6 mm für Schrauben und 2,6 mm für Blindniete. Neben den genannten Verbindungsarten finden im Stahlhochbau auch Klemmverbindungen, z. B. mit Hilfe von Trägerklemmen, Verwendung, wobei es im Metallleichtbau neben einer großen Vielzahl von Klemmverbindungen auch im Hochbau nicht anzutreffende Verbindungsarten, wie z. B. Falzverbindungen, Clinchen, Stanznieten und Setzbolzenverbindungen, gibt. Eine detaillierte Beschreibung dieser vielfältigen Fügeverfahren würde den Rahmen dieses Beitrages sprengen. Im Folgenden werden deshalb nur die im Metallleichtbau am häufigsten auftretenden Verbindungen mit so genannten stiftförmigen Verbindungselementen, wie Schraubverbindungen, Blindnietverbindungen und Setzbolzenverbindungen behandelt (s. Bild 1). Es werden



Bild 1. Beispiele für stiftförmige Verbindungsmittel
Fig. 1. Samples for pencil-shaped fastening elements

die Anwendungsbereiche aufgezeigt, die Vor- und Nachteile behandelt und Hinweise zur Bemessung gegeben.

2 Begriffsdefinitionen

Im Metallbau unterscheidet man allgemein in Metallleichtbau und Metallhochbau. Da im Metallbau, insbesondere im Hochbau, der Stahlbau deutlich überwiegt, wird im Folgenden am Beispiel des Stahlbaus versucht, diese Begriffe etwas genauer zu definieren. Für den Aluminiumbau gelten die Aussagen analog.

Im bestehenden Regelwerk, wie z. B. dem Eurocode 3, werden Stahlleichtbau und Stahlhochbau – heutzutage normalerweise ohne Verwendung dieser Begriffe – üblicherweise getrennt behandelt. In der derzeit geltenden Ausführungsnorm für Stahltragwerke DIN EN 1090-2 „Ausführung von Stahltragwerken und Aluminiumtragwerken – Teil 2: Technische Regeln für die Ausführung von Stahltragwerken“ [1] hat man auf eine derartige Trennung verzichtet, ist aber aktuell dabei, diese Bereiche ebenfalls zukünftig in separaten Teilen abzuhandeln. Das Gleiche gilt auch für DIN EN 1090-3 „Ausführung von Stahltragwerken und Aluminiumtragwerken – Teil 3: Technische Regeln für die Ausführung von Aluminiumtragwerken“ [2].

Im Bauwerk sind Hochbau und Leichtbau dann wieder vereint, sodass eine voneinander losgelöste Betrachtungsweise nicht möglich ist.

Unter Stahlleichtbau wird in der Regel das Bauen mit dünnwandigen, kaltprofilierten Bauteilen wie Trapezprofiltafeln, Sandwichelementen mit Deckschalen aus Metall und so genannten Kaltprofilen, z. B. als Unterkonstruktionen, verstanden. Dabei ist schon die Definition von dünnwandig nicht einheitlich geregelt. Zutreffende Normen verwenden verschiedene Werte für die Abgrenzung zwischen „dünnwandig“ und „dickwandig“ bzw. äußern sich dazu gar nicht. So gilt die aktuelle Norm für dickwandige Stahlkonstruktionen DIN EN 1993-1-1 „Bemessung und Konstruktion von Stahlbauten – Teil 1-1: Allgemeine Bemessungsregeln und Regeln für den Stahlhochbau“ [3] sowie die zugehörige Norm für Anschlüsse DIN EN 1993-1-8 „Bemessung und Konstruktion von Stahlbauten – Teil 1-8: Bemessung von Anschlüssen“ [4] für Blechdicken $t \geq 3$ mm. Die inzwischen zurückgezogene Norm DIN 18801 „Stahlhochbau“ [5] galt dagegen bereits ab Materialdicken $t \geq 1{,}5$ mm. Während die ursprünglich in Deutschland geltende DAST-Richtlinie 016 „Bemessung und konstruktive Gestaltung von Tragwerken aus dünnwandig kaltgeformten Bauteilen“ [6] eine Mindestdicke bei stabförmigen Bauteilen von 1,00 mm und bei flächenförmigen Bauteilen, wie Trapezprofiltafeln, von 0,5 mm vorschrieb, sind in der die DAST-Richtlinie ablösenden Norm DIN EN 1993-1-3 „Bemessung und Konstruktion von Stahlbauten – Teil 1-3: Allgemeine Regeln – Ergänzende Regeln für kaltgeformte Bauteile und Bleche“ [7] für Anschlüsse Blechdicken von 0,45 mm bis 4 mm und für Bleche und Bauteile Blechdicken von 0,45 mm bis 15 mm empfohlen. Da eine Abgrenzung zwischen „dünnwandig“ und „dickwandig“ sehr subjektiv ist und immer auch vom Anwendungsbereich abhängt, wird im Weiteren auf die Verwendung dieser Begriffe verzichtet.

Die nachfolgend betrachteten Verbindungen liegen in der Regel unterhalb des in DIN EN 1993-1-8 „Bemessung und Konstruktion von Stahlbauten – Teil 1-8: Bemessung von Anschlüssen“ [4] aufgeführten Anwendungsbereiches von ≥ 3 mm Blechdicke je zu verbindendem Bauteil, jedoch nicht grundsätzlich.

Die bisher angegebenen Dickenbereiche und zitierten Normen beziehen sich auf den Stahlbau. Es werden jedoch auch Verbindungen von Aluminiumbauteilen untereinander bzw. mit Stahlbauteilen behandelt. Ein häufiger Anwendungsfall ist die Befestigung an Holzunterkonstruktionen, der ebenfalls Gegenstand der Betrachtung sein wird. Als Sonderfall wird die Befestigung von Holz, Holzwerkstoffen, Gips- und Faserplatten auf Metallprofilen in kurzer Form mit abgehandelt.

Die hier betrachteten Verbindungen bestehen immer aus dem Verbindungselement (Schraube, Setzbolzen oder Blindniet) und zwei oder mehreren zu verbindenden Bauteilen. Bei den Verbindungen kann es sich z. B. um die Befestigung von Profiltafeln oder Sandwichelementen an Unterkonstruktionen (kaltgeformte Pfetten, warmgewalzte Träger usw.) handeln oder um die Verbindung von Profiltafeln oder Blechen untereinander. Eine Bezeichnung der verschiedenen Bauteile mit Begriffen wie Profiltafeln, Blechen, Unterkonstruktionen ist zur Beschreibung der Verbindungen aber nicht hilfreich. Damit jedoch eine eindeutige Zuordnung erfolgen kann, wurden die Bezeichnungen Bauteil I und Bauteil II eingeführt. Bauteil I ist immer das zu befestigende Bauteil bzw. das Bauteil auf der Seite der Verbindung, von der das Verbindungselement gesetzt wird. Bauteil I kann aus mehreren Einzelbauteilen (in der Regel ≤ 4) bestehen, wie z. B. bei der Befestigung im Bereich von Überlappungsstößen. Bauteil II ist das Bauteil, an dem befestigt wird (z. B. Unterkonstruktion)

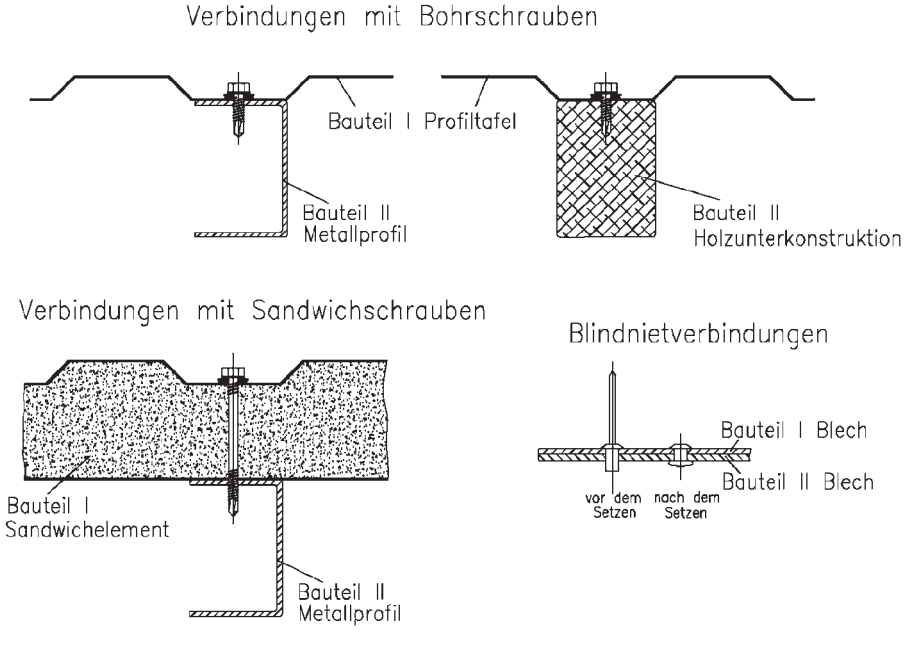


Bild 2. Beispiele für Kombinationen von Bauteil I und Bauteil II
Fig. 2. Samples for combinations of structural parts I and II

bzw. auf der dem Setzprozess abgewandten Seite. Bauteil I muss immer für das Setzen des Verbindungselementes ausreichend zugänglich sein, während bei Bauteil II, außer bei Verbindungen mit Schraubengarnituren, keine Zugänglichkeit erforderlich ist. Bild 2 zeigt Beispiele für unterschiedliche Kombinationen von Bauteil I und Bauteil II.

Im Folgenden werden nur bauaufsichtlich geregelte Verbindungen für tragende Anwendungen behandelt, für die es entweder Regeln für Bemessung und Ausführung in bauaufsichtlich eingeführten Normen bzw. in allgemeinen bauaufsichtlichen Zulassungen oder europäischen technischen Zulassungen gibt. Auch nur die dort aufgeführten Verbindungselemente werden näher beschrieben, wobei die Palette der auf dem Markt erhältlichen gleichartigen oder ähnlichen Verbindungselemente deutlich größer ist.

3 Anwendungsbereich

Wie schon in Abschnitt 2 beschrieben, geben die dort zitierten Normen Anwendungsgrenzen vor bzw. empfehlen diese. Entsprechend den in den zutreffenden allgemeinen bauaufsichtlichen Zulassungen bzw. in den europäischen technischen Zulassungen enthaltenen Festlegungen ist nachfolgend der aktuelle, von den Normen teilweise abweichende, Anwendungsbereich bezüglich der Außendurchmesser der Verbindungselemente und der Dicken der Bauteile im Bereich der Verbindung sowie der Festigkeitswerte (Zugfestigkeit) der Bauteile zusammengestellt. In Tabelle 1 sind die geometrischen Grenzwerte sowohl für die Verbindungselemente als auch für die Bauteile und in Tabelle 2 die minimalen und maximalen Festigkeitsklassen für die Bauteile aufgelistet. Davon abweichende Werte sind entweder aus Tragfähigkeitsgründen nicht möglich oder wurden im Rahmen der Zulassungsbearbeitung bisher nicht untersucht. Wo keine Maximalwerte angegeben sind, wurden diese in Zulassungen nicht genau definiert, jedoch dürfen die Bauteildicken den Anwendungsbereich des jeweiligen Verbindungselementes nicht überschreiten.

Die in den Tabellen 1 und 2 angegebenen Grenzwerte gelten nicht für alle Verbindungselemente einer Art, sondern sind für das jeweilige Verbindungselement den in Tabelle 1 bzw. Tabelle 6 aufgelisteten Regelwerken zu entnehmen.

4 Verbindungselemente (VE)

4.1 Schrauben

Bei den Schrauben wird zwischen Schrauben mit metrischem ISO-Gewinde nach DIN ISO 1502 [12] und gewindeformenden Schrauben unter-

Tabelle 1. Geometrische Anwendungsgrenzen für Verbindungselemente und Bauteile
Table 1. Geometrical limits of application for the fastening elements and the structural parts

Verbindungselement (VE)	Außendurchmesser VE in mm		Bauteil I in mm		Bauteil II in mm		Regelwerk
	d_{min}	d_{max}	t_{min}	t_{max}	t_{min}	t_{max}	
Schrauben mit metrischem ISO-Gewinde	M6		0,45		0,45		DIN EN 1993-1-3
	M12		3,0		3,0		DIN EN 1993-1-8
gewindefurchende Schrauben	6,2	8,5	0,5	2,0	0,5		abZ, ETA
Bohrschrauben	4,2	6,4	0,4	2,0	0,4	16,0	abZ, ETA
Fließbohrschrauben	4,5	6,0	0,5	1,75	0,5	1,5	abZ, ETA
Blindniete	4,0	13,0	0,4		0,4		abZ, ETA
Setzbolzen	3,7	4,5	0,63	3,0 bzw. 4 × 1,0	3,0		abZ, ETA

abZ – allgemeine bauaufsichtliche Zulassung
ETA – European Technical Approval – europäische technische Zulassung

Tabelle 2. Verwendbare Festigkeitsklassen bzw. minimale Zugfestigkeit für die Bauteile
Table 2. Applicable strength classes or minimum tensile strength for the structural parts

Verbindungselement (VE)	Bauteil I		Bauteil II		
	Stahl[1)]	Aluminium[2)]	Stahl[1)]	Aluminium[2)]	Holz[3)]
Schrauben mit metrischem ISO-Gewinde	S235 – S460 S280GD – S350GD	$R_m \geq 165$ N/mm²	S235 – S460 S280GD – S350GD	$R_m \geq 165$ N/mm²	–
gewindefurchende Schrauben	S280GD – S350GD	$R_m \geq 165$ N/mm²	S235 – S355 S280GD – S350GD	$R_m \geq 165$ N/mm²	C24
Bohrschrauben	S280GD – S350GD	$R_m \geq 165$ N/mm²	S235 – S355 S280GD – S350GD	$R_m \geq 165$ N/mm²	C24
Fließbohrschrauben	S280GD – S350GD	$R_m \geq 165$ N/mm²	S235	$R_m \geq 165$ N/mm²	C24
Blindniete	S235 – S690 S280GD – S350GD	$R_m \geq 165$ N/mm²	S235 – S450 S280GD – S350GD	$R_m \geq 165$ N/mm²	–
Setzbolzen	S280GD – S350GD	$R_m \geq 215$ N/mm²	S235 – S355	–	–

1) nach DIN EN 10025-1 [8] oder DIN EN 10346 [9]
2) nach DIN EN 573 [10]
3) nach DIN EN 14081 [11]

schieden. Die gewindeformenden Schrauben unterteilen sich in gewindefurchende Schrauben, die sich ihr Muttergewinde in ein vorhandenes Loch spanlos formen, und in Bohrschrauben, die über eine Bohrspitze verfügen, sodass in einem Arbeitsgang das Bohren eines Loches, das Formen eines Muttergewindes und der Einschraubvorgang erfolgt. Seit einigen Jahren werden die Bohrschrauben durch Fließbohrschrauben ergänzt, bei denen aufgrund der Spitzengeometrie beim Einschraubprozess durch Materialfließen ein Loch entsteht. Der weitere Vorgang ist wie bei der klassischen Bohrschraube. Mit verlängertem Schaft und ggf. Unterkopfgewinde werden die gewindeformenden Schrauben auch zur Befestigung von Sandwichelementen verwendet.

Für die Anwendung im Dach- und Wandbereich haben die Schrauben in der Regel eine Dichtscheibe (Metallscheibe mit anvulkanisierter EPDM-Dichtung), die ein Eindringen von Feuchtigkeit in die Verbindung verhindern soll.

Während bei metrischen Schrauben Gewindeform und -steigung durch Normen vorgegeben sind, variiert die Gewindegeometrie bei den gewindeformenden Schrauben stark. Die Gewinde sind ein- oder zweigängig ausgeführt und die Steigungen liegen zwischen 1,0 mm und 2,54 mm. Für die Befestigung in Bauteil II aus Metall überwiegt eine Steigung von 1,8 mm und für Holzuntergründe 2,54 mm (1/10 Zoll), was dem klassischen Gewinde für Befestigungen in Holz entspricht. Die Gewindetiefen sind ebenfalls bei gleichen Außendurchmessern nicht einheitlich, sondern hängen vom Verwendungszweck und Hersteller ab.

Die Kopfformen der Schrauben können unterschiedlich sein. Es überwiegen Schraubenköpfe mit Sechskantform und Rund- bzw. Flachrundköpfe mit Torx-Antrieb bzw. einem herstellertypischen Antrieb. Bei den metrischen Schrauben werden zusätzlich oft Senk- und Zylinderkopfformen mit Innensechskant oder Torx-Antrieb verwendet. Als Sonderfall wird kurz auf Flügelbohrschrauben zur Verbindung von Holz- bzw. Holzwerkstoffteilen auf Stahlunterkonstruktionen eingegangen. Beispiele für die verschiedenen Schraubenarten zeigt Bild 3.

4.1.2 Bohrschrauben

Bohrschrauben werden aus einsatzgehärtetem Kohlenstoffstahl oder aus nichtrostendem Stahl hergestellt. Sie können zusätzlich galvanisch verzinkt und/oder beschichtet sein, wobei der galvanische Überzug auch als Gleitmittel dient. Da der verwendete nichtrostende Stahl keine ausreichende Festigkeit für die Bohrspitze bzw. Fließbohrspitze hat, sind bei diesen Schrauben die Bohrspitzen in der Regel mit zwei bis drei Gewindegängen aus einsatzgehärtetem Kohlenstoffstahl angeschweißt. Man findet deshalb dafür oft auch den Begriff Bimetallschrauben. Für die Verwendung im Aluminiumbau gibt es Bohrschrauben, die komplett aus nichtrostendem Stahl bestehen.

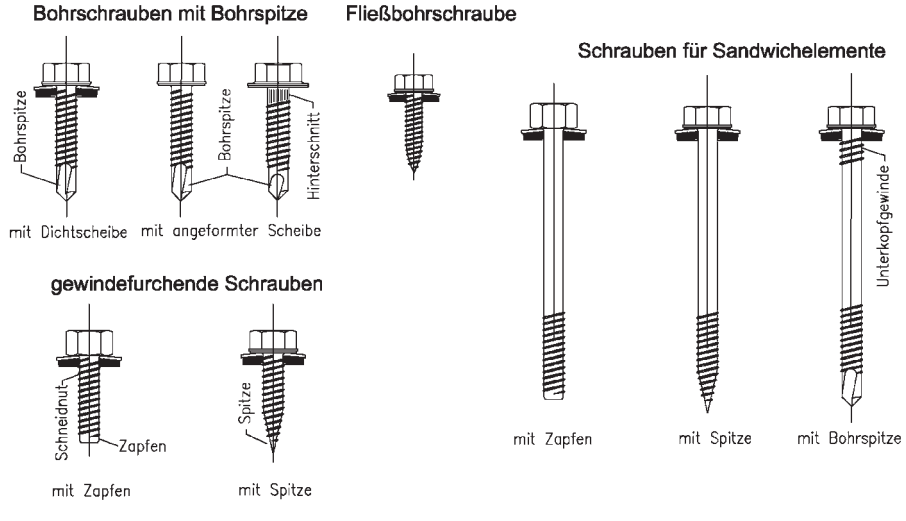


Bild 3. Beispiele für verschiedene Schraubenarten
Fig. 3. Samples for different kind of screws

4.1.2.1 Bohrschrauben mit Bohrspitze

Diese Schrauben besitzen eine ausgeprägte Bohrspitze, die von der Form her an einen Metallbohrer erinnert. Der gewindefreie Teil der Bohrspitze muss so lang sein, dass der Bohrprozess durch die Bauteile I und II abgeschlossen ist, bevor das Gewinde voll in Bauteil I eingreift. Anderenfalls kann es zum Abheben von Bauteil I kommen. Beispiele für Bohrschrauben mit Bohrspitze zeigt Bild 4.



Bild 4. Beispiele für Bohrschrauben
Fig. 4. Samples for self-drilling screws

4.1.2.2 Fließbohrschrauben

Die Bezeichnung Fließbohrschraube ist derzeit noch kein allgemein eingeführter Begriff. Man findet dafür auch z. B. Spitzenbohrschraube (in Anlehnung an die englische Bezeichnung „sharp point screw“). Die Fließbohrschraube hat keine klassische Bohrspitze sondern eine, im Gegensatz zur gewindefurchenden Schraube, ballig ausgeführte Spitze mit Gewinde bis an das vordere Ende (s. Bild 3). Sie bohrt nicht das Loch, sondern formt dieses spanlos oder nur im geringen Maße spanerzeugend, indem das Material zum Fließen gebracht und verdrängt wird. Unterstützt wird der Prozess dabei durch das bis zur Spitze reichende Gewinde, welches sofort zum Eingriff kommt, sobald sich ein kleines Loch gebildet hat. Dabei bildet sich, insbesondere an der Lochunterseite, ein Wulst aus dem verdrängten Material, in den das Gewinde mit eingeformt wird. Die Vorteile der Fließbohrschraube gegenüber der Bohrschraube mit Bohrspitze sind einerseits, dass in der Regel keine Späne erzeugt werden, die, falls sie nicht entfernt werden, zur Beschä-

digung des Korrosionsschutzes der zu befestigenden Profiltafeln führen können und dass andererseits die Auszugstragfähigkeit durch den mittragenden Wulst erhöht wird. Der Anwendungsbereich bezüglich des Schraubendurchmessers und der Bauteildicken ist verfahrensbedingt jedoch deutlich eingeschränkt gegenüber dem der klassischen Bohrschraube. Beispiele für Fließbohrschrauben zeigt Bild 5.



Bild 5. Beispiele für Fließbohrschrauben
Fig. 5. Samples for sharp point screws

4.1.3 Gewindefurchende Schrauben

Die gewindefurchenden Schrauben erfordern immer ein versatzfreies Loch durch Bauteil I und Bauteil II. Dabei muss der Durchmesser den Vorgaben entsprechen, da ein zu kleiner Lochdurchmesser das Setzen der Schraube erschwert oder verhindert und ein zu großer Lochdurchmesser zu geringeren Tragfähigkeitswerten der Verbindung führen kann.

Gewindefurchende Schrauben werden hauptsächlich verwendet, wenn Bauteile werksmäßig schon vorgebohrt sind (Löcher für die Befestigung von Profiltafeln werden in der Regel auf der Baustelle gebohrt), bereits belastete Bohrschrauben ersetzt werden müssen oder größere Durchmesser eingesetzt werden, für die Bohrschrauben nicht mehr wirtschaftlich oder nicht mehr verfügbar sind.



Bild 6. Beispiele für gewindefurchende Schrauben
Fig. 6. Samples for thread forming screws

Gewindefurchende Schrauben haben entweder eine Spitze, vorzugsweise für die Befestigung an Holzunterkonstruktionen, oder einen Zapfen (keine Spitze) für die Befestigung an Metallbauteilen. Beispiele für beide Varianten zeigt Bild 6.

4.1.4 Sandwichschrauben

Die Sandwichschrauben zur Befestigung von Sandwichelementen sind eine Sonderform sowohl der Bohrschrauben als auch der gewindefurchenden Schrauben und je nach Ausführung der Spitze gelten dafür die Erläuterungen in den Abschnitten 4.1.2 und 4.1.3. Für die Montage durch die unterschiedlich dicken Sandwichelemente haben sie einen darauf abgestimmten langen Schaft mit oder ohne zusätzlichem Unterkopfgewinde. Das Unterkopfgewinde hat sowohl einen größeren Außendurchmesser als auch eine größere Steigung als das Schraubengewinde. Die Aufgabe des Unterkopfgewindes besteht darin, die Deckschale des Sandwichelements an die Dichtscheibe anzupressen, um eine gute Dichtheit der Verbindung zu erzielen. Bild 7 zeigt zwei Beispiele für Sandwichschrauben mit Bohrspitze und Unterkopfgewinde.



Bild 7. Beispiele für Schrauben für Sandwichelemente
Fig. 7. Samples for screws for sandwich panels

4.1.5 Schrauben mit metrischem ISO-Gewinde

Schrauben mit metrischem ISO-Gewinde sind aus dem Metallbau hinlänglich bekannt. Sie werden im Metallhochbau in der Regel ab der Größe M12 eingesetzt. Im Metallleichtbau finden diese Schrauben bereits ab der Größe M6 Verwendung. Im Fassadenbereich werden häufig Schrauben ab dieser Größe mit Senkkopf und Innensechskant verbaut, die nicht über die Außenfläche hinausstehen. Da die Bemessung von Verbindungen mit metrischen Schrauben je nach Nenndurchmesser und Bauteildicken in DIN EN 1993-1-3 [7] bzw. DIN EN 1993-1-8 [4] und die Ausführung in DIN EN 1090-2 [1] bzw. DIN EN 1090-3 [2] geregelt ist, wird auf die metrischen Schrauben im Weiteren nicht näher eingegangen.



Bild 8. Beispiele für metrische Schrauben
Fig. 8. Samples for metric screws

4.2 Blindniete

Blindniete bestehen grundsätzlich aus einer Hülse aus Stahl, Aluminium oder Monel (Nickel-Kupfer-Eisen-Legierung) mit angeformtem Setzkopf. Der Nietdorn ist entweder aus Stahl oder aus dem gleichen Werkstoff wie die Niethülse, hat jedoch für die Umformung der Niethülse gewöhnlich eine höhere Festigkeit als diese. Die Blindnietverbindung wird dadurch erzeugt, dass die Hülse durch die vorgebohrten Bauteile I und II gesteckt wird, bis der Setzkopf an Bauteil I anliegt und anschließend mit einem entsprechenden mechanisch, elektrisch, pneumatisch oder hydraulisch betätigten Setzgerät am Dorn gezogen wird, sodass sich das aus Bauteil II herausstehende Hülsenende zum Schließkopf verformt. Nach Beendigung des Setzprozesses reißt der Nietdorn an einer Sollbruchstelle ab oder wird durch die Hülse gezogen (Durchzugsnietdorn). Hülse und Dorn können unterschiedliche Formen aufweisen. Für unterschiedliche Klemmdickenbereiche gibt es Blindniete mit entsprechenden Hülsenlängen bei sonst gleicher Geometrie. Teilweise sind die Hülsen auch geschlitzt, um gezielt die Schließkopfausbildung zu beeinflussen.

Grundsätzlich gibt es zwei Arten der Schließkopfausbildung. Entweder

wird die Hülse durch den konisch verdickten Dorn aufgeweitet (hülsenweitender Blindniet) oder die Hülse wird durch einen an der Hülse anliegenden Bund des Dorns gefaltet (hülsenfaltender Blindniet). Blindniete im unteren Durchmesserbereich sind in der Regel hülsenfaltende Blindniete und mit größeren Durchmessern hülsenweitende Blindniete (anwendbarer Durchmesserbereich s. Tabelle 1).

Der nach dem Setzen ggf. in der Hülse verbleibende Restdorn kann herausfallen und darf daher, außer bei Blindnieten mit Restdornverriegelung, welche ein Herausfallen wirksam verhindert, bei der Ermittlung der Abschertragfähigkeit nicht mit herangezogen werden. Für die Längszugtragfähigkeit ist der Restdorn grundsätzlich nicht mittragend.

Das Hauptanwendungsgebiet für Blindnietverbindungen sind Querkraftverbindungen. Der Aufwand für das Setzen der Blindniete ist etwa vergleichbar mit dem für gewindefurchende Schrauben. Der Anwendungsbereich, bezogen auf den Durchmesser, ist jedoch sowohl nach unten als auch nach oben größer. Die Blindnietverbindung kann nur durch Zerstören des Blindnietes gelöst werden. Dafür ist sie bei Vibrationsbeanspruchung bezüglich eines Lösens der Verbindung sicherer als eine Schraubverbindung.



Bild 9. Beispiele für Blindniete
Fig. 9. Samples for blind rivets

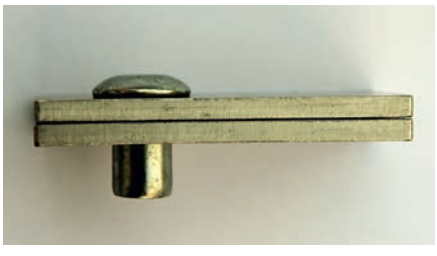


Bild 10. Beispiel für eine Blindnietverbindung
Fig. 10. Sample for a blind rivet joint

Bild 9 zeigt Beispiele für verschiedene Blindniete und verschiedene Durchmesser. Die beiden rechten Niete sind hülsenfaltende Blindniete, die übrigen hülsenweitende Blindniete. Beim zweiten Niet von links ist der Setzkopf als Senkkopf ausgeführt, bei den anderen als Flachrundkopf. Auf Bild 10 ist eine gesetzte Nietverbindung mit einem hülsenweitenden Blindniet abgebildet.

4.3 Setzbolzen

Setzbolzen sind Nägel aus hochfestem Stahl, die mit einer oder zwei Rondellen (Scheiben) komplettiert sind. Setzbolzen werden mit dem für den jeweiligen Setzbolzentyp spezifizierten Bolzensetzgerät in einem Arbeitsgang durch Bauteil I in Bauteil II eingetrieben. Dabei verdrängt der Setzbolzen plastisch Material im Bauteil II und es kommt zu einer Mischung aus Verschweißen und Verklammerung [13]. Das Eintreiben erfolgt mit Hilfe von Pulverkartuschen mit unterschiedlichen Treibladungsstärken für verschiedene Bauteilfestigkeiten. Die Führung des Setzbolzens im Setzgerät beim Eintreibprozess wird je nach Hersteller entweder durch die zwei Rondellen oder durch eine Rondelle und den Setzbolzenkopf mit gleichem Durchmesser sichergestellt. Die Rondellen sind in der Regel aus Stahl, können aber bei kleinen Setzbolzendurchmessern auch aus Kunststoff sein. Die Rondelle bzw. die Rondellen schieben sich beim Setzen unter den Kopf des Nagels und liegen dann auf Bauteil I auf. Die Nägel haben üblicherweise am unteren Ende eine Randrierung, es werden aber auch welche ohne diese verwendet. Die Kartuschen sind grundsätzlich magaziniert, während die Setzbolzen einzeln manuell oder magaziniert zugeführt werden können.

Der Vorteil der Setzbolzenverbindung gegenüber der Schraubverbindung ist der deutlich schnellere Setzprozess bei zunehmender Dicke von Bauteil II. Nachteilig wirkt sich aus, dass der Anwendungsbereich der Setzbolzen, insbesondere bei dünneren Bauteildicken von Bauteil II, gegenüber den Schrauben eingeschränkt ist. Weiterhin ist ein Lösen der Verbindung nur durch das Zerstören des Setzbolzens möglich. Bei Setzbolzenverbindungen ist unbedingt auf das Einhalten der vorgegebenen Randbedingungen zu achten. Auch darf die Unterkonstruktion nicht zu weich sein oder federn. Beim ordnungsgemäß gesetzten Setzbolzen muss sich der Nagelüberstand in einem vorgegebenen Toleranzbereich befinden. Bild 11 zeigt zwei verschiedene Setzbolzentypen mit einer bzw. zwei Rondellen und Randrierung im unteren Bereich. In Bild 12 ist das Schliffbild eines korrekt gesetzten Setzbolzens dargestellt.



Bild 11. Beispiele für Setzbolzen
Fig. 11. Samples for cartridge fired pins

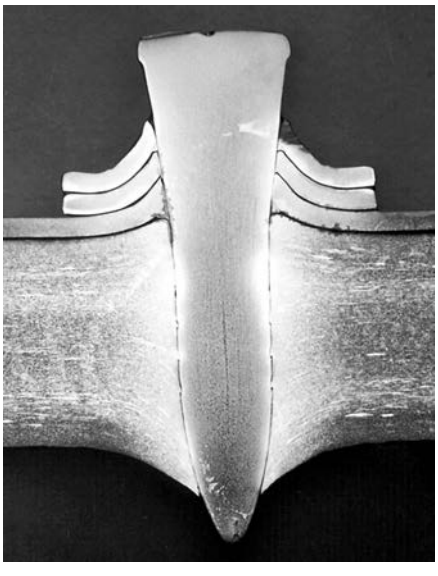


Bild 12. Schliffbild eines eingetriebenen Setzbolzens [13]
Fig. 12. Polished cut image of an installed cartridge fired pin [13]

4.4 Flügelbohrschrauben, Ballistiknägel

Die Verwendung von Flügelbohrschrauben und Ballistiknägeln ist im Verhältnis zu den anderen beschriebenen Verbindungselementen untergeordnet. Diese Verbindungselemente werden hier als Sonderverbindungselemente nur kurz behandelt. Beide dienen unter anderem zur Befestigung von Holz, Holzwerkstoff und Faserplatten als Bauteil I auf Stahlprofilen (Bauteil II). Die Flügelbohrschraube hat zusätzlich zu den unter 4.1.2.1 be-



Bild 13. Beispiele für Flügelbohrschrauben und Ballistiknägel
Fig. 13. Samples for self-drilling wing screw and ballistic pins

schriebenen Bohrschrauben am hinteren Bereich der Bohrspitze zwei Flügel, die das Loch beim Durchdringen von Bauteil I größer als den Schraubennenndurchmesser aufweiten. Damit wird vermieden, dass sich Bauteil I hochdrückt, sobald die Bohrspitze das Metallprofil erreicht. Nach dem Durchbohren von Bauteil II setzen die Flügel dort auf und brechen planmäßig ab. Das gewünschte Gewinde kann sich dann in Bauteil II ungehindert ausbilden.

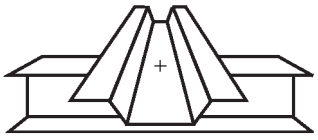
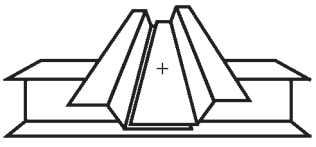
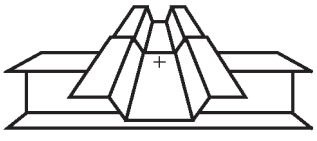
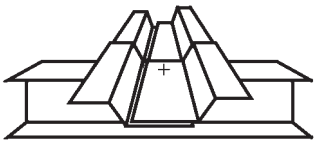
Die Ballistiknägel sind Nägel aus hochfestem Stahl, die mithilfe eines pneumatischen Setzgerätes durch Bauteil I in Bauteil II gesetzt werden. Beispiele für Ballistiknägel mit den Nenndurchmessern 2,2 mm und 2,8 mm und Flügelbohrschrauben mit dem Nenndurchmesser 3,9 mm zeigt Bild 13.

5 Verbindungen

Die Verbindungen bestehen neben dem Verbindungselement aus den Bauteilen I und II. Ein häufiger Anwendungsfall, insbesondere bei Verbindungen mit gewindeformenden Schrauben und Setzbolzen, ist die Befestigung von Profiltafeln (Bauteil I) auf Metall- bzw. Holzunterkonstruktionen (Bauteil II). Dabei kann Bauteil I, je nach Lage der Verbindung, aus einer bis vier Profiltafeln (Überlappung im Bereich von Längs- und Querstoß) bestehen. Für die Beschreibung der Verbindungsart wurden daher die Verbindungstypen a, b, c und d definiert (s. Tabelle 3).

Für den Verbindungstyp a sind alle behandelten Verbindungselemente zugelassen. Für die Verwendung der anderen Typen gelten die Angaben in

Tabelle 3. Verbindungstypen
Table 3. Types of connections

Verbindungstyp	bildliche Darstellung	Beschreibung
a		Verbindung mit einem Einzelblech
b		Verbindung mit einem Längsstoß
c		Verbindung mit einem Querstoß
d		Verbindung mit einem Längs- und einem Querstoß

den entsprechenden Zulassungen. Beispielhaft wurde hier die Befestigung von Profiltafeln behandelt, für andere geeignete Bauteile gelten die Angaben analog.

Die Verbindungen werden durch Längskräfte, Querkräfte oder eine Kombination aus beiden beansprucht. Eine typische Längskraftbeanspruchung bei der Befestigung von Profiltafeln ist Windsog. Eine Querkraftbeanspruchung entsteht z. B. durch das Eigengewicht der Tafeln bei Wandbekleidungen und eine Kombination von Längs- und Querkräften aus dem gleichzeitigen Wirken von Eigengewicht und Windsog. In den Zulassungen sind für die einzelnen Verbindungselemente und Bauteilkombinationen charakteristische Widerstandswerte der Längs- und Querkrafttragfähigkeiten festgelegt. Bei Überbeanspruchung kann es zum Versagen der Verbindung kommen. Dabei sind, abhängig von der Art und Geometrie der Verbindungselemente, den Bauteilabmessungen und den Bauteilfestigkeiten verschiedene Versagensarten möglich. Tabelle 4 zeigt die möglichen Versagensarten bei Längszug- und Tabelle 5 bei Querkraftüberbeanspruchung.

6 Ermittlung von Tragfähigkeitswerten

Um für die hier behandelten mechanischen Verbindungselemente und die damit hergestellten Verbindungen Tragfähigkeiten zu ermitteln, muss aufgrund der aktuellen Normenlage und ihrer speziellen Wirkmechanismen auf Tragversuche zurückgegriffen werden. Eine analytische Bestimmung, wie sie bspw. im Hochbau durch DIN EN 1993-1-8 [4] für Schweiß- sowie Schrauben-, Niet- und Bolzenverbindungen geregelt ist, kann bisher nicht erfolgen. So sind in DIN EN 1993-1-3 [7] zwar für Blindniete, Gewindeformschrauben (gewindeformende, selbstschneidende oder selbstdrehende) und Setzbolzen Bemessungsregeln enthalten, die jedoch wiederum mit starken und nicht immer praxisgerechten Einschränkungen verbunden sind. So gelten diese nur für Blindniete mit Nenndurchmessern von $2{,}6\ \text{mm} \le d \le 6{,}4\ \text{mm}$, wobei der Setzkopf am dünneren Blech anliegen muss und der Lochdurchmesser nicht mehr als 0,1 mm größer als der Nietnenndurchmesser sein darf. Die Grenzabscherkraft und Grenzzugkraft sind, wie bei Gewindeformschrauben oder Setzbolzen auch, dennoch durch Versuche zu bestimmen.

Als Verwendbarkeitsnachweis werden somit national allgemeine bauaufsichtliche Zulassungen oder in der EU bisher europäische technische Zulassungen und seit dem 01.07.2013 europäische technische Bewertungen erforderlich. Als Grundlage dafür wurden vom DIBt eine Reihe von CUAP-

Tabelle 4. Versagensarten bei Zugbeanspruchung
Table 4. Kinds of failure at tension loading

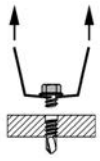
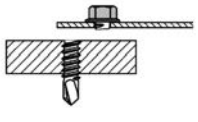
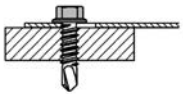
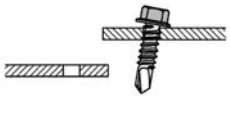
Versagensart	bildliche Darstellung	Beschreibung
Zugbruch VE		Zugbruch des VE tritt in der Regel nicht auf bzw. erst bei der Kombination von Bauteil I und Bauteil II im oberen Dickenbereich.
Auszug VE aus Bauteil II		Mit zunehmender Dicke von Bauteil I steigt die Wahrscheinlichkeit, dass es zum Auszug des VE aus Bauteil II kommt bzw. zum Durchzug des Schließkopfes bei Blindnieten.
Durchstanzen des VE durch Bauteil I		Das Durchstanzen ist bei geringer Dicke von Bauteil I möglich, insbesondere bei scharfkantigen Scheiben und großen Scheibendurchmessern.
Überknöpfen von Bauteil I		Das Überknöpfen ist bei geringer Dicke von Bauteil I möglich, insbesondere bei kleinen Scheibendurchmessern oder VE ohne Scheiben.

Tabelle 5. Versagensarten bei Querkraftbeanspruchung
Table 5. Kinds of failure at shear loading

Versagensart	bildliche Darstellung	Beschreibung
Abscheren VE		Abscheren des VE tritt in der Regel nicht auf bzw. erst bei der Kombination von Bauteil I und Bauteil II im oberen Dickenbereich.
Langlochbildung in Bauteil I		Langlochbildung in Bauteil I kann auftreten, wenn Bauteil I dünner ist oder eine geringere Festigkeit aufweist als Bauteil II.
Langlochbildung in Bauteil II		Langlochbildung in Bauteil II kann auftreten, wenn Bauteil I dicker ist oder eine höhere Festigkeit aufweist als Bauteil II.
Schrägstellung des VE		Außer bei Setzbolzen ist eine Schrägstellung bis 10° zulässig und lässt sich insbesondere bei geringen Dicken von Bauteil I und II nicht vermeiden.
Auszug VE aus Bauteil II		Auszug aus Bauteil II durch Abheben von Bauteil I. Erfolgt in der Regel erst nach dem Überschreiten der zulässigen Schrägstellung des VE.

Dokumenten (Common Understanding of Assessment Procedure) erarbeitet, in welchen für die o. g. Verbinder das Vorgehen zur experimentellen Bestimmung der Tragfähigkeiten geregelt wird. Seit dem 01.07.2013 gelten als Ersatz für die CUAP europäische Bewertungsdokumente EAD (European Technical Assessment).

Vergleichbare Dokumente wurden auch vom ECCS (European Convention for Constructional Steelwork) veröffentlicht, in welchen die Vorgehensweise zur experimentellen Bestimmung von Tragfähigkeiten beschrieben ist, wie z. B. in „The Testing of Connections with Mechanical Fasteners in Steel Sheeting and Sections“ [14]. Bevor jedoch Tragfähigkeitswerte in den Zulassungen veröffentlicht und diese für die Bemessung herangezogen werden können, sind weitere Untersuchungen und Maßnahmen der herstellenden bzw. antragstellenden Unternehmen notwendig. So ist der Nachweis einer werkseigenen Produktionskontrolle erforderlich, die sicherstellen soll, dass die zuzulassenden Verbindungselemente für die Geltungsdauer der Zulassung, die gewöhnlich fünf Jahre mit der Option einer Verlängerung der Geltungsdauer beträgt, die erforderlichen Eigenschaften aufweisen.

Bevor die Tragfähigkeiten experimentell bestimmt werden, sind zunächst an jeweils zehn einer Charge zufällig entnommenen Verbindungselementen die geometrischen Abmessungen zu bestimmen und zu dokumentieren. Die Werte werden anschließend mit den Sollwerten des Herstellers verglichen und auf Abweichungen von den in der Zertifizierungsstelle vorliegenden Zeichnungen überprüft. Weiter ist in Abhängigkeit der Art des Verbindungselements eine Anwendungs- und Funktionsprüfung auszuführen. Art und Umfang dieser Prüfungen werden in dem Beitrag „Grundsätze für den Übereinstimmungsnachweis für Verbindungselemente im Metallleichtbau (Fassung Dezember 1999)“ [15] bzw. in der jeweilig heranzuziehenden CUAP beschrieben. Bei Schrauben, die zur Befestigung in Holzunterkonstruktionen vorgesehen sind, ist zusätzlich das charakteristischen Fließmoment $M_{y,Rk}$ durch Versuche nach DIN EN 409 [16] und DIN EN 14358 [17] zu bestimmen.

Erst dann werden Tragversuche am Verbindungselement sowie an damit hergestellten Verbindungen durchgeführt. Der Versuchsumfang hängt dabei wesentlich von der Art des Verbindungselements als auch vom angestrebten Geltungsbereich der Zulassung ab und wird durch einen unabhängigen und vom Antragsteller beauftragten Gutachter in einem mit dem DIBt abgestimmten Prüfprogramm im Detail festgelegt.

Generell sind an den Verbindungselementen immer die charakteristische Grenzzugkraft sowie die Grenzabscherkraft zu ermitteln. Weiter kommen verbinderspezifische Prüfungen, bspw. die Ermittlung des Gewindeformmomentes oder des Torsionsbruchmomentes bei gewindefurchenden Schrauben, hinzu.

Durch Querkraft- und Längszugversuche werden außerdem die Tragfähigkeiten für die mit den Verbindungselementen hergestellten Verbindungen ermittelt, welche neben dem Verbindungselement im Wesentlichen vom verwendeten Werkstoff von Bauteil I und II sowie deren Dicke und Festigkeit abhängen. Um die Tragfähigkeiten auf den späteren Anwendungsfall zu übertragen, sind die Versuchsergebnisse stets von den im Versuch verwendeten Kernblechdicken und Zugfestigkeiten auf die Normenwerte zu normieren. Bei Unterkonstruktionen aus Holz sind vor den Versuchen zur Ermittlung des charakteristischen Ausziehparameters $f_{ax,k}$ die Rohdichte sowie der Feuchtegehalt zu bestimmen.

Die charakteristischen Tragfähigkeiten ergeben sich letztlich durch eine statistische Auswertung der normierten Versuchsergebnisse. Die Bilder 14 und 15 zeigen Beispiele für am Fraunhofer-AGP durchgeführte Längszug- [18] und Querkraftprüfungen [19].



Bild 14. Beispiel für Längszugprüfung
Fig. 14. Sample for tensile test

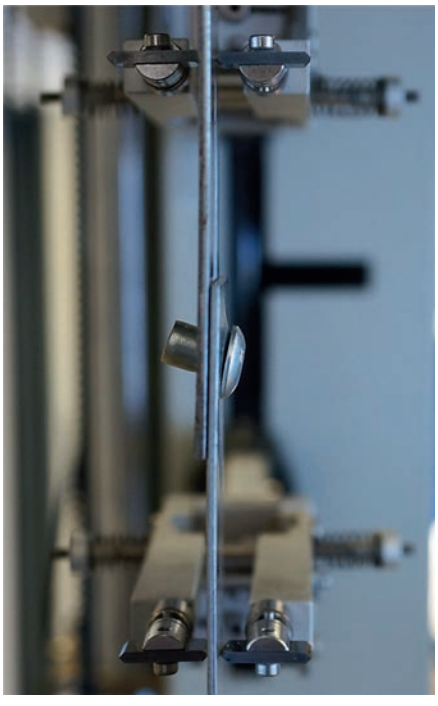


Bild 15. Beispiel für Querkraftprüfung
Fig. 15. Sample for shear test

7 Bemessung der Verbindungen

Die Bemessung der Verbindungen mit stiftförmigen Verbindungselementen muss so erfolgen, dass die in den Tabellen 4 und 5 aufgelisteten Versagensarten nicht auftreten. Für Verbindungen mit Schrauben gelten dafür, je nach Anwendungsbereich, DIN EN 1993-1-3 [7] oder DIN EN 1993-1-8 [4]. Danach sind in der Regel getrennte Nachweise für Schraubenversagen und Bauteilversagen für Zug- und Querkraftbeanspruchung zu führen, wobei der jeweils niedrigere Wert dann bemessungsrelevant ist.

Bei den anderen beschriebenen Verbindungselementen ist eine Bemessung nach Normen mit Ausnahme der Tragfähigkeiten in Bauteil II aus Konstruktionsholz nicht möglich. Hier werden, wie im Abschnitt 6 beschrieben, charakteristische Tragfähigkeitswerte durch Versuche ermittelt und für die verschiedenen Kombinationen von Bauteil I und Bauteil II in den jeweiligen Zulassungen aufgelistet. Für die Verbindungen von Bauteil I und II aus Metall berücksichtigen die angegebenen charakteristischen Tragfähigkeitswerte bereits alle jeweils möglichen Versagensarten. Dabei kann man normalerweise an einem charakteristischen Zugtragfähigkeitswert nicht erkennen, welche Versagensart nach Tabelle 4 bei der Ermittlung maßgebend war. Der Vorteil ist, dass nur folgende Nachweise erforderlich sind:

$$\frac{N}{N_{R,d}} + \frac{V}{V_{R,d}} \le 1{,}0$$

$$N_{R,d} = \frac{N_{R,k}}{\gamma_M}$$

$$V_{R,d} = \frac{V_{R,k}}{\gamma_M}$$

mit

γ_M = 1,33 bzw. nach der jeweils zutreffenden Zulassung
$N_{R,k}$ charakteristischer Wert der Zugtragfähigkeit nach der jeweiligen Zulassung
$V_{R,k}$ charakteristischer Wert der Querkrafttragfähigkeit nach der jeweiligen Zulassung
N Bemessungswert der einwirkenden Zugkraft
V Bemessungswert der einwirkenden Querkraft

Bei Befestigung von Bauteil I durch gewindefurchende Schrauben an Holzunterkonstruktionen (Bauteil II) sind getrennte Nachweise für Bauteil I und Bauteil II erforderlich. Die charakteristischen Tragfähigkeitswerte für Bauteil I sind in den jeweiligen Zulassungen angegeben und die Tragfähigkeiten für die Befestigung an Holz ist in Anlehnung an DIN EN 1995-1-1 „Bemessung und Konstruktion von Holzbauten – Teil 1-1: Allgemeines – Allgemeine Regeln und Regeln für den Hochbau“ [20] zu ermitteln. Der jeweils niedrigere Wert gilt für die weitere Bemessung. Da die Ermittlung der Tragfähigkeiten im Holz immer wieder Problemen bereitet, ist im Abschnitt 7.1 ein Berechnungsbeispiel zur Ermittlung der charakteristischen Tragfähigkeitswerte angegeben.

7.1 Beispiel für die Ermittlung der Tragfähigkeiten einer Bohrschraube in einer Holzunterkonstruktion

7.1.1 Verwendung

Befestigung von Trapezprofiltafeln (Bauteil I) mit einer Dicke von t_I = 0,88 mm auf Holzlattung (Bauteil II) für eine Fassadenbekleidung mit Bohrschrauben 6,5 × 50 mit Dichtscheibe. Die Verbindungen werden durch das Eigengewicht der Profiltafeln auf Querkraft V und durch Windsog auf Zug N beansprucht (s. Bild 16). Im Beispiel

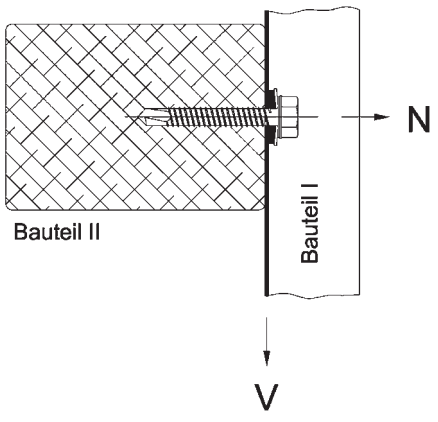


Bild 16. Berechnungsmodell
Fig. 16. Model for calculation

werden die charakteristischen Zug- und die Querkrafttragfähigkeit der Schrauben in der Holzunterkonstruktion ermittelt (s. auch [24]).

7.1.2 Holzunterkonstruktion

Die Unterkonstruktion besteht aus Nadelschnittholz der Festigkeitsklasse C24 nach DIN EN 537 [10] mit einer charakteristischen Rohdichte von 350 kg/m³.

7.1.3 Schraube

Bohrschraube 6,5 × 50 nach Bild 17

mit
l = 50 mm
(Schraubenlänge)
d = 6,5 mm
(Gewindeaußendurchmesser)
l_b = 6,0 mm
(gewindefreier Teil der Bohrspitze)
(Hinweis: l_b = d bei Fließbohrschrauben und l_b = 0 bei gewindeformenden Schrauben)

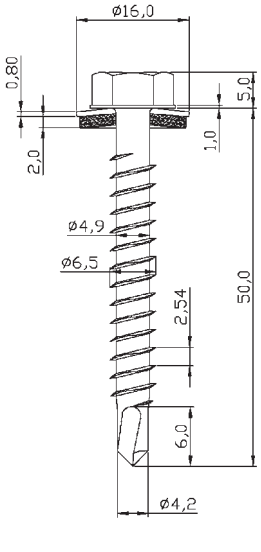


Bild 17. Schraube für Bemessungsbeispiel
Fig. 17. Screw for sample calculation

7.1.4 Ermittlung der Einschraubtiefe und effektiven Einschraubtiefe

Der hier benutzte Begriff der „effektiven Einschraubtiefe l_{ef}" wird üblicherweise im Rahmen der Zulassungen verwendet und entspricht „l_{ef} = Eindringtiefe des Gewindeteiles, in mm" nach [20]. Die Einschraubtiefe l_g ist die Länge des in Bauteil II eingreifenden Gewindeteils einschließlich vorhandener Spitze.

a) benötigte Angaben (Bezeichnungen nach [20])
s_M = 0,8 mm
(Dicke des Metallrückens der Dichtscheibe); aus Zulassung
s_K = 2,0 mm
(Dicke des Dichtmaterials); aus Zulassung
t_I = 0,88 mm (Dicke Bauteil I); entsprechend Beispiel
l_b = 6,0 mm
(s. Abschn. 7.1.3)

(Hinweis: Wenn für s_M und s_K in den Zulassungen keine Werte angegeben sind, kann in Näherung mit $s_M + s_K$ = 3 mm gerechnet werden.)

b) Ermittlung
Ermittlung der Einschraubtiefe l_g:
$l_g = l - t_I - s_M - s_K = 50 - 0{,}88 - 0{,}8 - 2{,}0 = 46{,}3$ mm

Ermittlung der effektiven Einschraubtiefe l_{ef}:
$l_{ef} = l_g - l_b = 46{,}3 - 6{,}0 = 40$ mm
(auf volle mm auf- oder abrunden)

7.1.5 Ermittlung der charakteristischen Querkrafttragfähigkeit

7.1.5.1 Ermittlung des charakteristischen Wertes des Ausziehparameters

Der Wert des charakteristischen Ausziehparameters $f_{ax,k}$ wird üblicherweise durch Versuche in Anlehnung an DIN EN 14592 [21] bestimmt und in den Zulassungen angegeben. Liegt kein durch Versuche ermittelter Wert vor, kann die Festlegung in DIN 1052 [22], Tabelle 15 für die Berechnung verwendet werden. Die hier enthaltenen charakteristischen Werte für die Ausziehparameter $f_{1,k}$ entsprechen dem charakteristischen Ausziehparameter rechtwinklig zur Faserrichtung $f_{ax,k}$. Dabei dürfen für Holzunterkonstruktionen zulässige Schrauben ohne weiteren Nachweis in die Tragfähigkeitsklasse 2 eingestuft werden. Gemäß [22] Tabelle 15 ergibt sich für die Tragfähigkeitsklasse 2:

$$f_{1,k} = 70 \cdot 10^{-6} \cdot \rho_k^2$$

mit
ρ_k = 350 kg/m³ für die Festigkeitsklasse C24 wird:
$f_{1,k} = 70 \cdot 10^{-6} \cdot 350^2 = 8{,}58$ N/mm²
$f_{ax,k} = f_{1,k} = 8{,}58$ N/mm²

Die berechneten Werte liegen im Allgemeinen deutlich unter denen, die mittels Versuchs festgestellt werden.

(Hinweis: Bei der Querkraftbeanspruchung wird eine gewisse Schrägstellung des Verbindungselementes toleriert, wodurch es zusätzlich zu einer Zugbeanspruchung des Verbindungselementes und damit zu einer Erhöhung der Tragfähigkeit der Verbindung kommt (Einhängeeffekt), was bei der Bemessung mit berücksichtigt wird und daher den charakteristischen Ausziehparameter $f_{ax,k}$ erfordert.)

7.1.5.2 Ermittlung des charakteristischen Wertes des Ausziehwiderstandes

a) benötigte Angaben
n_{ef} = 1 (wirksame Anzahl von Schrauben)
$f_{ax,k}$ = 8,58 N/mm²
(s. Abschnitt 7.1.5.1)
d = 6,5 mm
(s. Abschnitt 7.1.3)
l_{ef} = 40 mm
(s. Abschnitt 7.1.4)
α = 90°
(Winkel zwischen der Schraubenachse und der Faserrichtung)
ρ_k = 350 kg/m³
charakteristischer Wert der Rohdichte (s. Abschnitt 7.1.5.1)
ρ_a = 350 kg/m³, die zum charakteristischen Ausziehparameter $f_{ax,k}$ zugehörige Rohdichte

b) Ermittlung nach DIN EN 1995-1-1 [20]

$$F_{ax,\alpha,Rk} = \frac{n_{ef} \cdot f_{ax,k} \cdot d \cdot l_{ef}}{1{,}2\cos^2\alpha + \sin^2\alpha} \cdot \left(\frac{\rho_k}{\rho_a}\right)^{0{,}8}$$

(8.40a) [20]

$$F_{ax,\alpha,Rk} = \frac{1 \cdot 8{,}58 \cdot 6{,}5 \cdot 40}{1{,}2 \cdot 0 + 1} \cdot \left(\frac{350}{350}\right)^{0{,}8}$$

$$F_{ax,\alpha,Rk} = 2231\ \text{N}$$

7.1.5.3 Ermittlung des charakteristischen Wertes der Lochleibungsfestigkeit in Faserrichtung des Holzes nach DIN EN 1995-1-1

a) benötigte Angaben
d = 6,5 mm
(s. Abschnitt 7.1.3)
ρ_k = 350 kg/m³
charakteristischer Wert der Rohdichte
(s. Abschnitt 7.1.5.1)

b) Ermittlung
$f_{h,0,k} = 0{,}082 \cdot (1 - 0{,}01 \cdot d) \cdot \rho_k$ (8.32) [20]
$f_{h,0,k} = 0{,}082 \cdot (1 - 0{,}01 \cdot 6{,}5) \cdot 350$
$f_{h,0,k} = 26{,}83$ N/mm²

7.1.5.4 Ermittlung des charakteristischen Wertes des Fließmomentes der Schraube

Der Wert des charakteristischen Fließmomentes $M_{y,Rk}$ wird üblicherweise durch Versuche in Übereinstimmung mit DIN EN 409 [16] und DIN EN 14358 [17] bestimmt und in den Zulassungen angegeben. Liegt kein mit Versuchen ermittelter Wert vor, darf $M_{y,Rk}$ mit der in [20] angegebenen Formel berechnet werden.

$$M_{y,Rk} = 0{,}3 \cdot f_u \cdot d_{ef}^{2,6} \qquad (8.14)\ [20]$$

mit
$M_{y,Rk}$ charakteristischer Wert des Fließmoments in Nmm
d_{ef} effektiver Schraubendurchmesser in mm
$d_{ef} = 1{,}1 \cdot d_k$
d_k Schraubenkerndurchmesser, wenn kein genauer Wert bekannt ist, darf d_k wie folgt überschlägig berechnet werden:
$d_k = 0{,}7 \cdot d$
d Gewindeaußendurchmesser
f_u Drahtzugfestigkeit in N/mm², darf ohne Nachweis mit 500 N/mm² angenommen werden

Im Allgemeinen liegen die berechneten Werte deutlich unter denen, die mittels Versuchen festgestellt werden.

a) benötigte Angaben
d = 6,5 mm
(s. Abschnitt 7.1.3)
$d_{ef} = d_k \cdot 1{,}1$
$d_k = 0{,}7 \cdot d$
$d_k = 0{,}7 \cdot 6{,}5 = 4{,}55$ mm
$d_{ef} = d_k \cdot 1{,}1$
$d_{ef} = 4{,}55 \cdot 1{,}1 = 5{,}0$ mm

b) Ermittlung durch Berechnung
$M_{y,k} = 0{,}3 \cdot 500 \cdot d^{2,6}$
$M_{y,k} = 0{,}3 \cdot 500 \cdot 5{,}0^{2,6}$
$M_{y,k} = 9849$ Nmm

c) Ermittlung durch Versuche
Der durch Versuche ermittelte Wert für die in Abschnitt 7.1.3 dargestellte Schraube beträgt:

$M_{y,k} = 25000$ Nmm

Der durch Versuche ermittelte Wert gilt nur für die geprüfte Schraubenausführung. Für Schrauben, die von der geprüften Ausführung abweichen (z. B. andere Hersteller, anderer Werkstoff) darf dieser Wert nicht verwendet werden, selbst wenn deren Geometrie mit der geprüften übereinstimmt.

7.1.5.5 Ermittlung des charakteristischen Wertes der Tragfähigkeit pro Scherfuge und Verbindungsmittel nach DIN EN 1995-1-1

Die Ermittlung erfolgt nach [20] mit Formel 8.9 (a) und 8.9 (b). Der kleinere der beiden Werte ist für die Bestimmung des charakteristischen Wertes nach Abschnitt 7.1.5.6 zu verwenden.

a) benötigte Angaben
$f_{h,0,k} = f_{h,k} = 26{,}83$ N/mm²
(s. Abschnitt 7.1.5.3)
t_1 = 40 mm
(kleinerer Wert der Seitenholzdicke oder der Eindringtiefe)

hier:
Eindringtiefe des Gewindeteils
l_{ef} = effektive Einschraubtiefe
(s. Abschnitt 7.1.4)
d = 6,5 mm
(s. Abschnitt 7.1.3)
$M_{y,k}$ = $M_{y,Rk} = 9849$ Nmm
(s. Abschnitt 7.1.5.4)
für α = 90° ist
$F_{ax,\alpha,Rk} = F_{ax,Rk} = 2231$ N
(s. Abschnitt 7.1.5.2)

b) Ermittlung
$F_{v,Rk(a)} = 0{,}4 \cdot f_{h,k} \cdot t_1 \cdot d$ (8.9a) [20]
$F_{v,Rk(a)} = 0{,}4 \cdot 26{,}83 \cdot 40 \cdot 6{,}5$
$F_{v,Rk(a)} = 2790$ N

$$F_{v,Rk(b)} = 1{,}15 \cdot \sqrt{2 \cdot M_{y,Rk} \cdot f_{h,k} \cdot d} + \frac{F_{ax,Rk}}{4}$$

$$F_{v,Rk(b)} = 1{,}15 \cdot \sqrt{2 \cdot 9849 \cdot 26{,}83 \cdot 6{,}5} + \frac{2231}{4}$$

$F_{v,Rk(b)} = 2689$ N

$F_{v,Rk(b)} < F_{v,Rk(a)}$

$F_{v,Rk} = F_{v,Rk(b)} = 2689$ N

7.1.5.6 Ermittlung des charakteristischen Wertes der Querkrafttragfähigkeit

Zur Bestimmung des charakteristischen Wertes wird der Modifikationsbeiwert für Lasteinwirkungsdauer und Feuchtegehalt k_{mod} aus [20], Tabelle 3.1 verwendet. Für die in Abschnitt 7.1.1 genannte Verwendung kann nach [20], Abschnitt 2.2.1.3 als Nutzungsklasse die Klasse 2 herangezogen werden. Die Klasse der Lasteinwirkungsdauer nach [20], Tabelle 2.2 führt unter dem Eigengewicht zu einer ständigen Belastung.

a) benötigte Angaben
k_{mod} = 0,6
(Nutzungsklasse 2, ständige Einwirkung)
(Tabelle 3.1) [20]
$F_{v,Rk}$ = 2689 N
(s. Abschnitt 7.1.5.5)

b) Ermittlung
$V_{R,k} = F_{v,Rk} \cdot k_{mod}$
$V_{R,k} = 2689 \cdot 0{,}6$
$V_{R,k} = 1{,}61$ kN

7.1.6 Ermittlung des charakteristischen Wertes der Zugtragfähigkeit

Zur Bestimmung des charakteristischen Wertes wird der Modifikationsbeiwert für Lasteinwirkungsdauer und Feuchtegehalt k_{mod} aus [20] Tabelle 3.1 verwendet. Für die in Abschnitt 7.1.1 genannte Verwendung kann nach [20], Abschnitt 2.3.1.3 als Nutzungsklasse die Klasse 2 herangezogen werden. Die Klasse der Lasteinwirkungsdauer nach [20], Tabelle 2.2 führt unter Windeinwirkung zu einer kurzen Belastung.

a) benötigte Angaben
k_{mod} = 0,9
(Nutzungsklasse 2, kurze Einwirkung)
(Tabelle 3.1) [20]
$F_{ax,Rk}$ = 2231 N
(s. Abschnitt 7.1.5.2)

b) Ermittlung
$N_{R,k} = F_{ax,Rk} \cdot k_{mod}$
$N_{R,k} = 2231 \cdot 0{,}9$
$N_{R,k} = 2{,}01$ kN

8 Ausführung

Die Ausführung von Verbindungen im Metallleichtbau erfordert ein hohes Maß an Sorgfalt, um einwandfrei tragende und ggf. regensichere Verbindungen von Bauteil I und II zu erhalten. Eine besondere Aufmerksamkeit ist dem Korrosionsschutz zu widmen, da die Verbindungsmittel mit den geringen Querschnitten durch Korrosion deutlich schneller kritische Querschnittsschwächungen erfahren als z. B. Schrauben im Metallhochbau. In Deutschland müssen daher in Bereichen, in denen eine Feuchtebeanspruchung auftreten kann, Schrauben aus nichtrostendem Stahl und Blindniete aus nichtrostendem Stahl, Aluminium oder Monel verwendet werden, Setzbolzen sind durch Kappen zu schützen. Insbesondere bei Verbindungen von Stahlteilen mit Blindnieten aus Aluminium unter Feuchtigkeitseinfluss muss Kontaktkorrosion unbedingt vermieden werden [23].

Die bei der Verwendung von Bohrschrauben bzw. beim Vorbohren für gewindefurchende Schrauben und Blindniete entstehenden Späne sind auf jeden Fall zu beseitigen, wenn diese zu Folgeschäden, wie z. B. zur Beeinträchtigung des Korrosionsschutzes von Dachbekleidungen z. B. durch Eintreten in die Korrosionsschutzbeschichtung, führen können. Hier haben sich in den letzten Jahren verstärkt Fließbohrschrauben, die keine Späne erzeugen, durchgesetzt.

Bohrschrauben mit Bohrspitze haben in Abhängigkeit von der Geometrie der Bohrspitze (z. B. Länge, Durchmesser und Flutausbildung) eine begrenzte Bohrleistung (Summe der Bauteildicken). Bei den zugelassenen Schrauben ist das bei den in den entsprechenden Zulassungen aufgelisteten Kombinationen von Bauteil I und Bauteil II bereits berücksichtigt. Wenn die Summe aus Bauteildicke und einer evtl. Zwischenlage (Dichtstreifen und thermische Trennungen mit einer komprimierten Dicke von maximal 3 mm sind zulässig) größer ist als die angegebene Bohrleistung für die Schraube, führt das in der Regel nicht zu Problemen, wenn das Abheben von Bauteil I wirksam verhindert wird. Probesetzungen sind für diesen Fall zu empfehlen. Gegebenenfalls sind Schrauben mit einer höheren Bohrleistung zu verwenden oder Bauteil I mit mindestens dem Schraubennenndurchmesser d vorzubohren.

Schrauben dürfen, bis auf einige Ausnahmen (z. B. Schrauben mit Hinterschnitt als Längsstoßverbinder), nur mit Schraubern mit Tiefenanschlag eingeschraubt werden, der so eingestellt ist, dass die Schrauben nicht überdrehen, Dichtscheiben nicht übermäßig verformt und die Oberschalen von Sandwichelementen nicht eingedrückt werden. Fließbohrschrauben erfordern für den Fließbohrprozess eine höhere Drehzahl als Bohrschrauben mit Bohrspitze.

Setzbolzen sind immer mit den dafür spezifizierten Setzgeräten zu setzen, wobei Kartuschen und Geräteeinstellung so gewählt sein müssen, dass sich der Nagelüberstand im vorgegebenen Toleranzbereich befindet (durch Probesetzungen überprüfen). Beim Setzen von Setzbolzen entstehen ebenfalls keine Späne, die entfernt werden müssen. Setzbolzen aus Kohlenstoffstahl sind in der Regel nur für Innenanwendungen, wo keine oder nur eine geringe Feuchtebelastung auftritt, zugelassen. Falls nur die Köpfe der Setzbolzen der Witterung ausgesetzt sind, können diese durch Kappen aus nichtrostendem Stahl mit Gummidichtung geschützt werden, wenn die Wirksamkeit des Schutzes nachgewiesen wurde.

Zum Setzen von Blindnieten können je nach Nenndurchmesser manuelle, elektrische, pneumatische oder hydraulische Setzgeräte verwendet werden. Der Setzprozess ist mit dem Abreißen bzw. Durchziehen des Dornes bei Durchzugsnietdornen abgeschlossen. Weitere Vorgaben zur Ausführung der Verbindungen enthalten die jeweiligen Zulassungen.

9 Auflistung der bestehenden Zulassungen

Die Verwendung der beschriebenen Verbindungselemente ist, bis auf die Schrauben mit metrischem ISO-Gewinde, nicht ausreichend durch Normen, sondern entweder durch allgemeine bauaufsichtliche Zulassungen (abZ) oder durch europäische technische Zulassungen (ETA) geregelt. Nur die jeweils dort aufgeführten Regelungen sind für die Bemessung und die Ausführung von Verbindungen anzuwenden.

Allgemeine bauaufsichtliche Zulassungen sind in Deutschland geltende nationale Zulassungen, die ggf. auch in anderen Ländern anerkannt werden. Da es sich hier um produktgebundene Zulassungen handelt, gibt es auch so genannte Sammelzulassungen von Verbänden, in denen gleichartige Produkte verschiedener Hersteller zusammengefasst sind. Beispiele für solche Sammelzulassungen sind die drei in Tabelle 6 aufgeführten Zulassungen des IFBS. Die in der gesamten EU geltenden europäischen technischen Zulassungen sind dagegen herstellergebunden, Sammelzulassungen sind daher hier nicht möglich. Die Durchführung des herkömmlichen ETA-Verfahrens war nur bis zum 30.06.2013 möglich. Seit dem 1. Juli 2013 gilt ein neues Verfahren. Zukünftig werden europäische technische Bewertungen (ETA – European Technical Assessment) auf der Grundlage von Bewertungsdokumenten erstellt (EAD – European Assessment Document).

In Tabelle 6 sind die aktuell geltenden Zulassungen (abZ und ETA) für die betrachteten Verbindungsmittelarten aufgelistet. Neben den aufgeführten Zulassungen gibt es noch eine Vielzahl von Zulassungen mit ähnlichen Verbindungselementen für spezielle Anwendungen, auf deren Nennung aus Gründen der Übersichtlichkeit hier verzichtet wird.

Literatur

[1] DIN EN 1090-2:2012-02: Ausführung von Stahltragwerken und Aluminiumtragwerken – Teil 2: Technische Regeln für die Ausführung von Stahltragwerken.
[2] DIN EN 1090-3:2008-09: Ausführung von Stahltragwerken und Aluminiumtragwerken – Teil 2: Technische Regeln für die Ausführung von Aluminiumtragwerken.
[3] DIN EN 1993-1-1:2010-12: Bemessung und Konstruktion von Stahlbauten – Teil 1-1: Allgemeine Bemessungsregeln und Regeln für den Stahlhochbau.

Tabelle 6. Auflistung aktuell geltender Zulassungen
Table 6. Listing of actually valid approvals

Zulassung	Inhaber (Kurzname)	gültig bis	Bauteil I			Bauteil II			Bemerkung
			St[1)]	Al[2)]	Holz[3)]	St[1)]	Al[2)]	Holz[3)]	
Befestigungsschrauben für Bauteile und Bleche aus Metall									
ETA-10/0020	IPEX	21.06.2018	×			×		×	
ETA-10/0021	Red Horse	18.06.2018	×			×		×	
ETA-10/0047	Aztec	13.07.2018	×			×		×	
ETA-10/0181	Etanco	22.09.2015	×			×		×	
ETA-10/0182	Hilti	25.04.2018	×	×		×	×	×	
ETA-10/0183	Rawplug	25.06.2018	×			×			
ETA-10/0184	Würth	31.03.2018	×	×		×	×	×	
ETA-10/0198	SFS	26.06.2018	×	×		×	×	×	
ETA-10/0199	Mage	26.06.2018	×			×		×	
ETA-10/0200	Ejot	27.06.2018	×	×		×	×	×	
ETA-11/0174	End	21.06.2018	×			×		×	
ETA-11/0191	SFS	17.06.2018	×			×			
ETA-12/0085	Eurotec	05.04.2017	×			×		×	
ETA-12/0086	S + P	03.04.2017	×	×		×	×	×	
ETA-13/0170	Nögel	11.04.2018	×			×		×	
ETA-13/0292	MFI	17.04.2018	×			×		×	
Z-14.1-4	IFBS[4)]	01.02.2016	×			×		×	
Z-14.1-519	Mage	15.05.2016	×			×		×	
Z-14.1-537	IFBS[4)]	30.09.2013	×	×		×	×	×	
Z-14.1-538	Hilti	30.09.2012	×	×		×	×	×	
Z-14.4-426	Ejot	01.05.2016	×	×	×	×	×	×	
Z-14.4-440	SFS	31.01.2014	×		×	×			
Z-14.4-614	Schüco	01.01.2017		×			×		
Z-14.4-651	Makro	24.09.2017	×					×	
Z-14.4-668	Reisser	25.08.2018	×	×	×	×	×	×	
Befestigungsschrauben für Sandwichelemente									
ETA-13/0177	Ejot	26.04.2018	×			×		×	
ETA-13/0178	S + P	25.04.2018	×			×		×	
ETA-13/0179	Hilti	25.04.2018	×			×		×	
ETA-13/0180	Etanco	26.04.2018	×			×		×	
ETA-13/0181	End	25.04.2018	×			×		×	
ETA-13/0182	Mage	25.04.2018	×			×		×	
ETA-13/0183	SFS	14.06.2018	×			×		×	
ETA-13/0184	Nögel	19.04.2018	×			×			
ETA-13/0185	Eurotec	23.04.2018	×			×			
ETA-13/0210	Würth	26.04.2018	×			×		×	
ETA-13/0211	IPEX	21.06.2018	×			×		×	
Z-14.4-407	IFBS[4)]		×			×		×	
Setzbolzen									
ETA-04/0101	Hilti	01.03.2018	×			×			
ETA-08/0040	Spit	07.03.2018	×			×			
ETA-10/0462	Würth	07.03.2018	×			×			
ETA-13/0172	Hilti	12.06.2018	×			×			

[1)] Stahl nach DIN EN 10025-1 [8] oder DIN EN 10346 [9]; [2)] Aluminiumlegierung nach DIN EN 573 [10]
[3)] Konstruktionsholz nach DIN EN 14081 [11]; [4)] Sammelzulassung, die VE verschiedener Firmen enthält
[5)] neben Holz Befestigung von Holzwerkstoff-, Gips- und Faserplatten

Tabelle 6. Auflistung aktuell geltender Zulassungen (Fortsetzung)
Table 6. Listing of actually valid approvals (continue)

Zulassung	Inhaber (Kurzname)	gültig bis	Bauteil I			Bauteil II			Bemerkung
			St[1)]	Al[2)]	Holz[3)]	St[1)]	Al[2)]	Holz[3)]	
Z-14.1-4	IFBS[4)]	01.02.2016	×			×			
Z-14.4-456	Hilti	23.11.2015	×	×		×			
Z-14.4-517	Hilti	30.04.2018	×		×	×			
Blindniete									
ETA-13/0242	Würth	11.06.2018	×	×		×	×		
ETA-13/0255	SFS	11.06.2018	×	×		×	×		
Z-14.1-4	IFBS[4)]	01.02.2016	×			×			
Z-14.1-537	IFBS[4)]	30.09.2013	×	×		×	×		
Z-14.4-406	Alcoa	01.09.2018	×			×			
Z-14.4-641	Heymann	17.02.2017	×			×			
Ballistiknägel									
Z-14.4-453[5)]	ITW	30.11.2013			×	×			Verlängerung ist beantragt
Flügelbohrschrauben									
Z-14.4-634[5)]	Würth	05.12.2017			×	×			

[1)] Stahl nach DIN EN 10025-1 [8] oder DIN EN 10346 [9]; [2)] Aluminiumlegierung nach DIN EN 573 [10]
[3)] Konstruktionsholz nach DIN EN 14081 [11]; [4)] Sammelzulassung, die VE verschiedener Firmen enthält
[5)] neben Holz Befestigung von Holzwerkstoff-, Gips- und Faserplatten

[4] DIN EN 1993-1-8:2010:12: Bemessung und Konstruktion von Stahlbauten – Teil 1-8: Bemessung von Anschlüssen.

[5] DIN 18801:1983-09: Stahlhochbau, Bemessung, Konstruktion, Herstellung.

[6] DAST-Richtlinie 016: Bemessung und konstruktive Gestaltung von Tragwerken aus dünnwandig kaltgeformten Bauteilen.

[7] DIN EN 1993-1-3:2010-12: Bemessung und Konstruktion von Stahlbauten – Teil 1-3: Allgemeine Regeln – Ergänzende Regeln für kaltgeformte Bauteile und Bleche.

[8] DIN EN 10025-1:2005-02: Warmgewalzte Erzeugnisse aus Baustählen – Teil 1: Allgemeine technische Lieferbedingungen.

[9] DIN EN 10346:2009-07: Kontinuierlich schmelztauchveredelte Flacherzeugnisse aus Stahl – Technische Lieferbedingungen.

[10] DIN EN 573: Aluminium und Aluminiumlegierungen – Chemische Zusammensetzung und Form von Halbzeug.

[11] DIN EN 14081-1:2011-05: Aluminium und Aluminiumlegierungen – Chemische Zusammensetzung und Form von Halbzeug.

[12] DIN ISO 1502:1996-12: Metrisches ISO-Gewinde allgemeiner Anwendung – Lehren und Lehrung.

[13] *Beck, H., Siemers, M., Reuter, M.*: Setzbolzen und Metallbauschrauben. Stahlbau-Kalender 2011 S. 503–584, Berlin: Ernst & Sohn 2011.

[14] The Testing of Connections with Mechanical Fasteners in Steel Sheeting and Sections, 2nd Edition, 2009, ECCS TC7 TWG 7.10.

[15] Grundsätze für den Übereinstimmungsnachweis für Verbindungselemente im Metalleichtbau (Fassung August 1999); DIBt-Mitteilung Heft 6/1999 (1999), S. 194–201.

[16] DIN EN 409:2009-08: Holzbauwerke – Prüfverfahren – Bestimmung des Fließmoments von stiftförmigen Verbindungsmitteln.

[17] DIN EN 14358:2007-03: Holzbauwerke – Berechnung der 5 %-Quantile für charakteristische Werte und Annahmekriterien für Proben.

[18] *Glienke, R.*: Experimentelle Untersuchungen und gutachterliche Stellungnahme zur Ermittlung der Tragfähigkeiten von quer- und längsbeanspruchten Metallbauverbindungen von Photovoltaikunterkonstruktionen. unveröffentlichter Prüfbericht, Fraunhofer AGP, Rostock 2013.

[19] *Blunk, C.*: Experimentelle Untersuchungen zur Erweiterung einer allgemeinen bauaufsichtlichen Zulassung für Blindniete der Typen Magna-Lok und Magna-Bulb. unveröffentlichter Prüfbericht, Fraunhofer AGP, Rostock 2013.

[20] DIN EN 1995-1-1:2010-12: Bemessung und Konstruktion von Holzbauten – Teil 1-1: Allgemeines – Allgemeine Regeln und Regeln für den Hochbau.

[21] DIN 14592:2012-07: Holzbauwerke – Stiftförmige Verbindungsmittel – Anforderungen.

[22] DIN 1052:2008-12: Entwurf, Berechnung und Bemessung von Holzbauwerken – Allgemeine Bemessungsregeln und Bemessungsregeln für den Hochbau.

[23] *Misiek, T., Käpplein, S., Ulbrich, D.*: Selecting materials for fastening screws for metal members and sheeting. Steel Construction 6 (2013), No. 1, S. 39–46.

[24] *Ulbrich, D.*: Allgemeine bauaufsichtliche Zulassung Z-14.1-4: Verbindungselemente zur Verbindung von Bauteilen im Metallleichtbau. vom 6. September 2005. DIBt Mitteilungen 1/2006 (2006), S. 5–8.

Autoren dieses Beitrages:
Dipl.-Ing. Detlef Ulbrich,
Deutsches Institut für Bautechnik,
Kolonnenstraße 30B, 10829 Berlin,
dul@dibt.de

Dipl.-Ing. Reiner Primke-Engel,
Ingenieurbüro Primke-Engel,
Zingergraben 26, 13156 Berlin,
ib-primke-engel@arcor.de

Dipl.-Wirt.Ing. Christoph Blunk,
christoph.blunk@hro.ipa.fraunhofer.de,
Dr.-Ing. Ralf Glienke,
ralf.glienke@hro.ipa.fraunhofer.de,
Fraunhofer-Anwendungszentrum Großstrukturen in der Produktionstechnik,
Albert-Einstein-Straße 30, 18059 Rostock



Fraunhofer

IPA

Fraunhofer-Anwendungszentrum
Großstrukturen in der
Produktionstechnik
Albert-Einstein-Straße 30
18059 Rostock
Tel. +49(0) 381/496 82-10
Fax +49(0) 381/496 82-12
info@hro.ipa.fraunhofer.de
www.hro.ipa.fraunhofer.de