

seitigen) Kammer baut sich ein Luftdruck auf. - Eine Verschraubung in ein nasses/feuchtes Loch ist unbedingt zu vermeiden!

d) Jenes Bauteil, in welches die Schraube eingeschraubt wird, unterliegt i. A. einer bestimmten (globalen) Beanspruchung. Dieser überlagert sich eine lokale Beanspruchung im Umfeld des Loches infolge der Kraftübertragung durch die Schraube. Die sich hierbei im Umfeld des Loches einstellende Gesamtbeanspruchung sollte sorgfältig untersucht werden, insbesondere bei dynamischer Beanspruchung (Kerbeeinfluss!). Im letztgenannten Falle besteht zudem die Tendenz, dass sich die Schraube (bei Leichtgängigkeit) lockert. Bei Klebung lässt sich die Schraube nicht mehr lösen. Mittels einer Federscheibe (DIN 137) kann die Schraube z. B. gesichert werden. Bei voller Vorspannung ist die Schraube gegen selbsttätiges Lösen nach aller Erfahrung ausreichend gegen Lockern gesichert.

9. Um jeglichen Schlupf bei SL-, SLP- u. GV-Verbindungen auszuschließen, wurde der Einsatz von sogen. Injektionsschrauben angedacht. Hierbei wird über ein Loch im Schraubenkopf in den Freiraum zwischen Schaft und Lochwandung ein Mittel auf der Basis von Epoxidharz ohne oder mit Füllstoff (Metallpulver) injiziert; in [22] wird über Trag- und Eignungsversuche solcher Schrauben berichtet.

7.4 GV- und GVP-Verbindungen

Gleitfeste Verbindungen werden mittels planmäßig vorgespannter hochfester Schrauben ausgeführt. Die Vorspannung der Schrauben wird sehr hoch eingestellt; die Streckgrenze des Schraubenmaterials wird dabei nahezu erreicht. Es kommen hochfeste Schrauben in der Güte 8.8 und 10.9 zum Einsatz. Deren Schraubköpfe und Muttern sind größer als die der normalfesten Schrauben (Abschnitt 7.2.2). Bezüglich Anordnung der Schrauben, Wahl der Durchmesser und Klemmlängen, Korrosionsschutz und Fertigung der Löcher gelten die Ausführungen des Abschnittes 7.3.2 unverändert.

7.4.1 Fertigung der GV- und GVP-Verbindungen [23-34]

Nach Einprägung der Vorspannung stehen die zu verbindenden Teile unter Druck, die Schrauben unter Zug. In der Kontaktfläche entsteht ein Reibschluss, d. h. eine Haftreibung durch Mikroverzahnung. Diese ist vom Lochspiel unabhängig, ein gewisses Lochspiel (z. B. bis 2 mm) ist unbedenklich. - Der Reibbeiwert ist von der Beschaffenheit der Kontaktflächen abhängig; die Kontaktflächen werden daher vor der Verschraubung gezielt behandelt.

Der Bestimmung des Reibbeiwertes μ wurden diverse experimentelle Untersuchungen gewidmet; wegen der ausgeprägten Abhängigkeit des μ -Wertes von der Oberflächenrauigkeit der Reibpartner streuen die mitgeteilten Werte beträchtlich. Bei S355 (St52) liegen die Werte etwas höher als bei S235 (St37) (was auf der größeren Härte des S355 beruht), doch ist die Erhöhung eher schwach signifikant. - Bei unbehandelter Walzhaut liegt μ zwischen 0,25 bis 0,35, bei Reinigung mit Drahtbürste gilt der obere Wert. Bei Strahlung mittels Flamme oder Strahlmitteln (Stahlgusskies, ehemals auch Quarzsand) wird $\mu = 0,50$ bis $0,65$ erreicht. Dieser Wertebereich gilt ebenfalls bei anschließender Auftragung einer gleitfesten Beschichtung. Bei verzinkter Oberfläche wird nur 0,10 bis 0,15 erreicht; diese geringen Werte gelten auch für Beschichtungen auf Leinöl- oder Kunstharzbasis! Bei den vorstehenden Werten handelt es sich um Mittelwerte; der Variationskoeffizient beträgt etwa 0,06 bis 0,08; genauere Angaben findet man in [23, 31, 32, 33 u. 35]. Die Strahlung mittels Flamme oder Strahlmitteln bewirkt eine Reinigung und Aufräumung der Oberfläche. Flammstrahlen ist aus Sicht der Fertigung einfacher: Der Brenner wird mit ca. 30% Sauerstoffüberschuss eingestellt und die Vorschubgeschwindigkeit zu 1 bis 2 m/min ge-

wählt. - Ein zu langes Strahlen, insbesondere mit einem zu feinen Strahlmittel, ist ungünstig, weil dann die Gefahr besteht, dass die Oberfläche geglättet wird.

Die Entwicklung der gleitfesten Schraubenverbindungen basiert in der Bundesrepublik Deutschland in erster Linie auf Versuchen von STEINHARDT, MÖHLER und VALTINAT [22, 23] sowie von KLÖPPEL und SEEGER [36, 37]. Dem Entwicklungsstand folgend wurden die Berechnungsanweisungen in den sogen. 'HV-Richtlinien' des DASt fortgeschrieben: 1. Ausg. (1956), 2. Ausg. (1963), 3. Ausg. (1974), 4. Ausg. (1976): DASt-Ri 010 (Anwendung hochfester Schrauben im Stahlbau). Nunmehr maßgebend sind DIN 18800-1 und -7:2008. Als Rechenwert für μ war für flamm- und sandgestrahlte Flächen ehemals festgelegt:

1956, 1963: S235 (St37): $\mu = 0,45$; S355 (St52): $\mu = 0,60$
 1974: S235 (St37): $\mu = 0,50$; S355 (St52): $\mu = 0,55$

Heute gilt einheitlich $\mu = 0,50$. - Dieser Rechenwert setzt voraus, dass die Reibflächen im Augenblick der Verschraubung trocken und frei von Rost, Staub, Öl und Farbe sind. Ggf. vorhandener Flugrost, der sich nach dem Strahlen (oder nach dem gleitfesten Anstrich) niedergeschlagen hat, ist mittels Drahtbürste zu beseitigen. Nach der Oberflächenbehandlung dürfen Bohrwasser oder Öl zum Aufreiben der Löcher nicht verwendet werden. - Scheiben und Gewinde sind vor dem Einbau leicht zu fetten oder zu besprühen. Verunreinigungen der Kontaktflächen sind dabei unbedingt zu vermeiden! Grundsätzlich empfiehlt sich eine Strahlung und ein gleitfester Anstrich im Werk, ggf. mit einer anschließenden Folienabdeckung. Die gleitfesten Beschichtungsstoffe sind relativ teuer und erlauben nur eine zeitlich beschränkte Bevorratung.

Bei den gleitfesten Anstrichen handelt es sich um Alkali-Silikat-Zinkstaubfarben. Sie dürfen verwendet werden, wenn der Hersteller des Beschichtungsstoffes die erforderliche Reibungszahl $\mu \geq 0,5$ nach TL/TP-KOR-Stahlbauten Blatt 85 durch ein Abnahmezeugnis belegen kann (DIN 18800-7:2008). - Im Eurocode 3 (DIN EN 1993-1-8:2005) sind 4 Güteklassen vereinbart. Für Klasse A gilt $\mu = 0,50$ und für Klasse B $\mu = 0,40$, letzteres bei Alkali-Zink-Silikatanstrich mit einer Schichtdicke von 50 bis 80 μm -

Zur Vermeidung von Kriechen der beschichteten Druckkontaktflächen und des hiermit verbundenen Abfalls der Vorspannung in der Schraube, sollte die Beschichtung nicht zu dick aufgetragen werden; DIN 18800-7:2008 listet 'bedingt geeignete' und 'gut geeignete' Beschichtungen auf, bei denen Vorspannverluste bis 30% bzw. bis 10% möglich sind; über Versuche und Erfahrungen zu diesem Aspekt wird in [37, 38] berichtet.

Es wurden auch schon VK-Verbindungen (vorgespannte/geklebte Schraubenverbindungen) getestet. Hierbei wurden die Verbindungsflächen mit einem Zweikomponentenkleber, der mit Stahlkies oder Korund gemagert war, versehen; die Einlagerungen wirkten wie kleine Dübel, wodurch sich die übertragbaren Reibkräfte gegenüber einer normalen GV-Verbindung verdoppeln ließen. Wegen des hohen Fertigungsaufwandes haben sich solche Entwicklungen nicht durchgesetzt.

Für die Vorspannung der Schrauben (im Regelfall von der Mutter her) kommen folgende Techniken zum Einsatz (DIN 18800-7:2008):

- a) Drehmoment-Vorspannverfahren mittels Drehmomentenschlüssel oder mittels eines elektrisch oder hydraulisch betriebenen Drehschraubers.
- b) Drehimpuls-Vorspannverfahren mittels Impulsschrauber oder Schlagschrauber mit einer ca. 10% höher eingestellten Vorspannkraft.