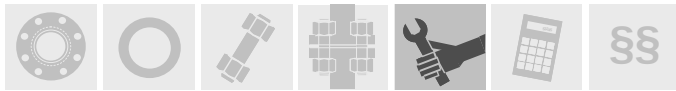


• Technische Information



• Kontrolle verschraubter Verbindungen

Die montierten Schraubenverbindungen sollen auf die Erreichung des gewünschten Schraubergebnisses kontrolliert werden, um die Funktion der Verbindung auf Dauer zu gewährleisten. Je nach Gefährdungspotential der Verbindung, muss das Montageergebnis abgesichert werden. Die VDI 2862, mit ihren Teilen 1 und 2, unterscheidet die Schraubenverbindung nach dem möglichen Gefahrenpotential in drei Kategorien (Tab.1).

Tab.1: Gefährdungsklassen nach VDI 2862-1+2 © Peter Thomsen, D-28211 Bremen		
Gefährdungsklasse	Risikobewertung	Beschreibung
Kategorie A	Hohe Risikobewertung	Gefahr für Leib, Leben und Umwelt
Kategorie B	Mittlere Risikobewertung	Funktionsstörung / Anlagenstillstand
Kategorie C	Niedrige Risikobewertung	Unkritisch

Bei drucktragenden Systemen gilt mindestens Kategorie B, bei kritischen Medien Kategorie A. Gemäß der Betriebssicherheitsverordnung (BetrSichV), der Technischen Regeln für Betriebssicherheit TRBS, hier TRBS 2141 fallen alle drucktragenden Verbindungen unter die Gefährdungsklasse der Kategorie A, dies insbesondere, wenn sie auch in den Bereich der TRBS 5152-2/TRGS 722 fallen.

Das Problem bei Dichtverbindungen resultiert oft daraus, dass Dichtungen mit Fließ- bzw. Setzpotential kraftschlüssig verspannt werden und ein Lösen der Verbindung verursachen (Abb.1).

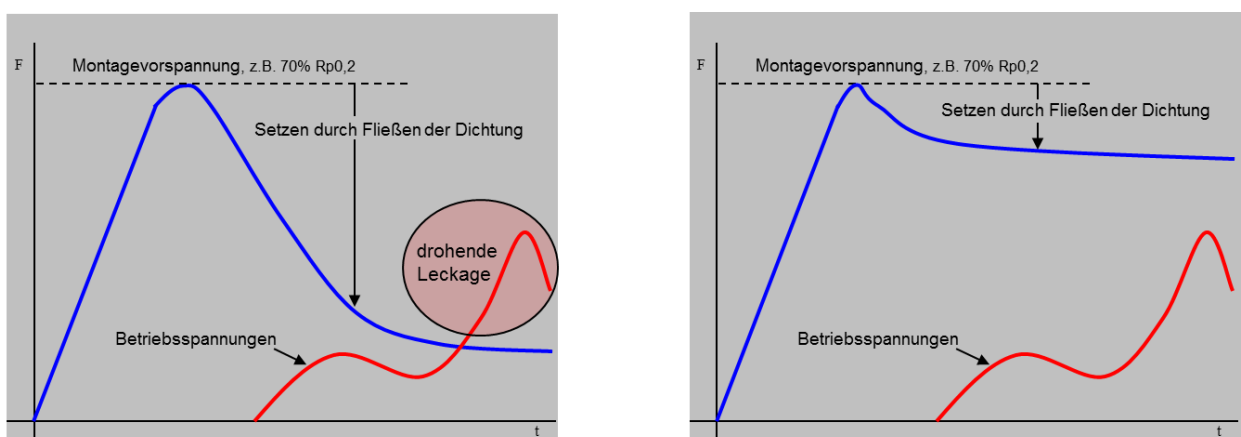


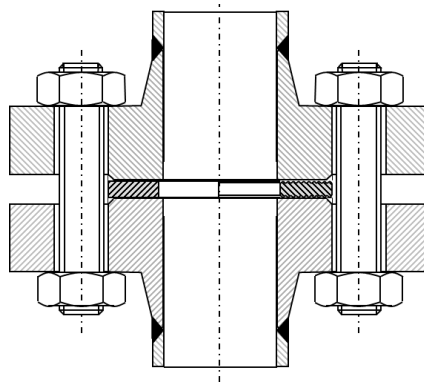
Abb.1: Darstellung der Folgen von Setzprozessen
© Peter Thomsen, D-28211 Bremen

Mit der DIN EN 13555 wird sich erstmals mit der Relaxation beschäftigt und der Wert P_{QR} eingeführt. Die Prüfzeit beträgt 4 Stunden. Im linken Schaubild ist dargestellt, wie sich Dichtelemente

mit starkem Setzpotential (niedriger P_{QR} -Wert) nachteilig auf die Dauerstabilität eines Flanschsystems auswirken. Sollten die Betriebskräfte größer sein als die Schraubenspannung, droht eine Leckage. Sind und bleiben die Schrauben hoch verspannt, kann das Flanschsystem wechselnde Betriebskräfte ohne Leckagen kompensieren, siehe Bild rechts.

Auch die bei der Montage über Drehmomente eingebrachte Torsion führt zu einem Lösen und damit zum Verlust von Vorspannkraft in der Schraubverbindung. Dies ist besonders bei Schraubverbindungen mit kurzer Klemmlänge zu beachten. Das Problem kann durch torsionsfreie Anzugsverfahren, wie z.B. das Anziehen durch Längung mittels Spannzylinder (Bolt-Tensioning) verhindert werden.

Bei Montageverfahren, bei denen eine Mutter oder der Schraubenkopf gedreht wird, ist es besonders wichtig, das Montageergebnis wegen der Unsicherheit durch die schlecht einzuschätzende Reibung abzusichern. Hierzu ist es erforderlich, dass zusätzlich zur Steuergröße (hier Drehmoment) eine unabhängige Kontrollgröße (z.B. Drehwinkel) zur Überprüfung herangezogen wird. Das Verfahren mit gleichzeitiger Messung von Drehmoment und Drehwinkel ist bei üblichen Flanschverbindungen (Abb.2), wegen der Nachgiebigkeit der Flanschblätter, nicht sinnvoll anwendbar.



**Abb.2: Übliche Dichtverbindung mit Flachdichtung
(Weichstoff- bzw. Metall-Weichstoff-Dichtung)**

© Peter Thomsen, D-28211 Bremen

Dichtverbindungen werden zunehmend mit Drehmomentschlüssel angezogen. Leider werden die erforderlichen Drehmomente sehr häufig aus den Anforderungen für die Dichtung festgelegt, statt die Schrauben mit ca. 70% hoch auszulasten. Es ist nicht selten, dass Tabellen Montage-drehmomente vorgeben, die gleiche Schrauben bei weichen Dichtelementen (Gummi) nur zwischen 7 und 15% und bei harten Dichtelementen (Elastomer gebundene Fasern/FA-Material) bis zu 90% ihrer Streckgrenze auslasten würden. Niedrig vorgespannte Schrauben sind durch Dichtelemente aus Elastomer, mit Elastomer gebundenen Fasern (Faserstoff) oder PTFE / ePTFE immer der Gefahr des selbsttätigen LöSENS ausgesetzt.

Eine Kontrolle des Montageergebnisses wird häufig über ein Weiterdrehmoment vorgesehen. Mit dieser attributiven Prüfung kann nur festgestellt werden, ob die Schraubenverbindung lose oder fest ist. Der Drehmomentschlüssel funktioniert nur aus gleichmäßiger Drehung. Weiter ist festzustellen, dass wegen der erforderlichen Überwindung der Losbrechmomente aus der Ruhereibung und der Tatsache, dass Steuer- und Kontrollgröße gleich sind, kein validierbares Ergebnis erzeugbar ist. Es gilt also:

Kontrolle eines Drehmomentes über ein Weiterdrehmoment ist nicht möglich und nicht zulässig!

Im Folgenden werden die Verfahren einer Kontrolle der richtig verschraubten Verbindung aufgezeigt:

Sichtkontrolle und Weiterdrehmoment

Üblicherweise werden die Schraubenverbindungen regelmäßig einer Sichtkontrolle unterzogen und meistens mittels eines „Weiterdrehmoments“, was oft dem Nenndrehmoment $\times 1,1$ entspricht, geprüft. Dieses Vorgehen ergibt keine gesicherten Aussagen zur aktuellen Qualität der Verbindung.

Wird über Drehmoment angezogen, kann nur über Längenänderungs- oder Kraftmessung kontrolliert werden. Hierzu findet sich in der VDI 2200:2007-07 im Absatz 6.3, Satz 2 und folgende, folgende Feststellung:

Zitat

Eine wirklich verlässliche Kontrolle der Vorspannkraft ist bei allen Anziehverfahren erst durch eine explizite Messung möglich. Das kann beispielsweise durch die Berechnung der Bolzen-Dehnung erfolgen. Eine genaue Erfassung der Vorspannkraft erfordert allerdings eine messbare Längenänderung und eine Kalibrierung der Anhängigkeit Bolzen-Dehnung/Bolzen-Kraft möglichst an der Original-Dichtverbindung.

Zitatende

Besser wäre die genaue Messung der erzeugten Vorspannkraft. Hierzu finden wir in der VDI/VDE 2862 Blatt 2:2015-02, Absatz 3.5.1, folgende Aussagen:

Zitat

Technische Mindestanforderungen

- *eine direkt oder indirekt gemessene oder wirkende Steuergröße (z.B. Drehmoment, Drehwinkel, Längung, Kraft).
Wird die indirekt gemessene Steuergröße gewählt, muss bei den „Mindestanforderungen an die Entdeckung von I.O.- bewerteten N.I.O-Verschraubungen“ erhöhter Aufwand betrieben werden.*

Zitatende

Es ist zu bezweifeln, dass die Ruhereibung bei diesem Verfahren sicher überwunden wird. Deshalb ist es technisch nicht aussagekräftig und damit nicht zulässig.

Verfahren sind nach VDI 2200 und VDI/VDE 2862 nicht zulässig.

Prüfhammer

Mittels eines Hammers wird der Bolzen angeschlagen. Am Klang kann man erkennen, ob die Schraube lose (dumpfer Klang) oder verspannt (heller, glockenähnlicher Klang) ist. Mit diesem Verfahren kann man erkennen, ob Schrauben bei der Montage vergessen wurden. Eine validierbare Aussage ist nicht möglich.

Verfahren ist nach VDI 2200 und VDI/VDE 2862 nicht zulässig.

Ultraschallmessungen

Sie werden immer häufiger angewendet, sind aber in ihrer Aussage wegen Kopplungsfehlern und Ergebnis störenden Einflüssen (z.B. aus Körperschall) und Gefügeveränderung beim Dehnen des Schraubenwerkstoffes ungenau.

Verfahren ist nach VDI 2200 und VDI/VDE 2862 zulässig.

Dehnmessstreifen

Messungen mit Dehnmessstreifen sind zu aufwendig und deshalb kaum anwendbar. Verfahren ist nach VDI 2200 und VDI/VDE 2862 zulässig.

Schrauben mit integriertem Messstift

Für Prüfstände werden die Schrauben mit einer axialen Bohrung versehen. In diese wird ein Messstift eingebracht. Beim Verspannen dehnt sich die Schraube und aus der Längendifferenz zwischen Schraube und Messstift wird der Spannungszustand ermittelt. Zur praktischen Anwendung haben sich zum Beispiel auch die Messschrauben vom Typ Rotabolt von James Walker (www.jameswalker.biz) durchgesetzt.

Verfahren ist nach VDI 2200 und VDI/VDE 2862 zulässig.

Mechanische Messungen mittels Messschrauben

Diese Messungen, mittels der sehr genauen Micrometer oder Messschieber, erfordern exakt auf gleiches Nullmaß gefertigte Schrauben, oder aber Kennzeichnung mit der exakten Fertigungslänge.

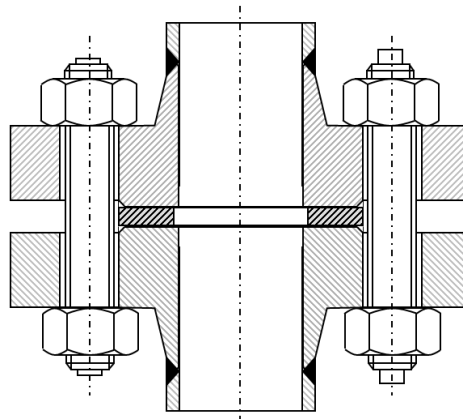


Abb.3: Messbare Schrauben
© Peter Thomsen, D-28211 Bremen

Nachteilig ist, dass nur Schraubenverbindungen gemessen werden können, bei denen man an beide Gewindeenden herankommen kann. Dies ist aber bei den meisten Dichtverbindungen an Rohrleitungen und Apparaten der Fall. Diese Schrauben erlauben nach der Demontage eine messbare Einschätzung über ihren Zustand und damit eine Aussage über die Wiederverwendbarkeit.

Verfahren ist nach VDI 2200 und VDI/VDE 2862 zulässig.

Kraftmessdosen

Dieses Messverfahren wird in der Regel wegen des hohen Kostenaufwandes wohl nur selten angewendet werden. Sie sind temperaturempfindlich und können nur bei planparallelen Flächen eingesetzt werden.

Verfahren ist nach VDI 2200 und VDI/VDE 2862 zulässig.

Kraftmessende Unterlegscheiben

Bessere Erfolge versprechen Verfahren wie die Messunterlegscheibe (Abb.4).

Die Messunterlegscheibe misst ohne Einfluss von Reibung und Torsion. Auf Grund der besonderen Messmethode, kommt sie auch mit schief stehenden Flächen zurecht. Sie ist im Temperaturbereich von -20 bis 80°C messwertstabil und kann sowohl bei durchgesteckten Schrauben als auch bei Schrauben in Sacklochverbindungen eingesetzt werden.



Abb.4: Messunterlegscheibe

Mit der Messunterlegscheibe kann auch kontrolliert nachgezogen werden. Die Messunterlegscheibe kann in Bereichen von niedrigen Vorspannkräften (ab M6) und ohne Limitierung für sehr hohe Vorspannkräfte eingesetzt werden.

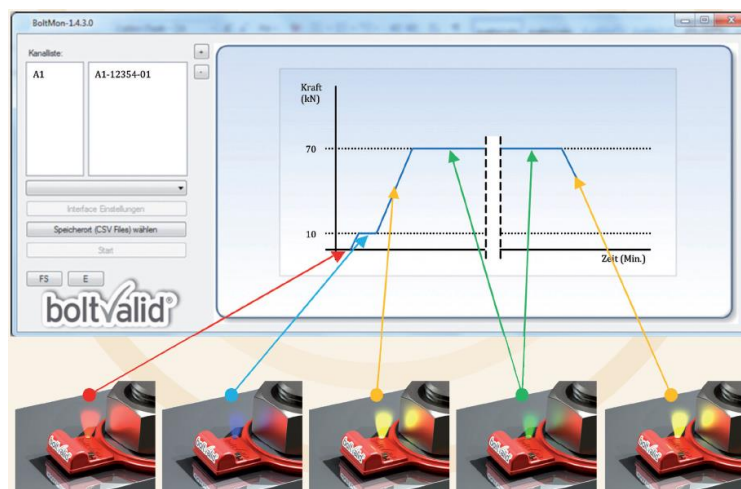


Abb.5: Darstellung der Signalfunktion von „entspannt“, „Kontrolle der Fügung“, „verspannen“, „fertig montiert“, „Vorspannkraftverluste“

Gemessen wird die Veränderung der Vorspannkraft in der Schraubenverbindung (Abb.5). In der einfachen Version wird über Leuchtdioden, ähnlich einer Ampel, der Zustand von „rotes Licht“, nicht verspannt, über „gelbes Licht“ bis „grünes Licht“, verspannt angezeigt. Zusätzlich zeigt das wieder aufleuchtende „gelbe Licht“ Vorspannkraftverluste an. Eine weitere Leuchtfarbe, z.B. „blaues Licht“ kann eingefügt werden, um z.B. die Vorspannung für die Kontrolle des Fügens zu signalisieren. Dieses Verfahren erlaubt eine permanente oder auch zeitgetaktete Ablesung. Es ist robust, bietet eine hohe Zuverlässigkeit und wird als Messung in eine Unterlegscheibe eingebracht. Das System kann über Funk oder direkter Verkabelung Messwerte an einen Rechner geben und erlaubt damit eine permanente Überwachung. Möglich ist auch die Schraubverbindung mit einem Alarm, der bei Spannungsunter-, -überschreitung ausgelöst wird, zu versehen

und somit geplante Wartungsintervalle zu vermeiden. Die Signalwerte können individuell eingestellt werden.

Die Messergebnisse nennen die Spannung in der Schraubenverbindung. Zusatzkräfte, wie z.B. Innendruck bei Dichtverbindungen, müssen bei der Bewertung des Messergebnisses berücksichtigt werden. Die Messergebnisse erlauben keine direkte Aussage zur Dichtheit und damit zur sicheren Funktion der Dichtverbindung.

Verfahren ist nach VDI 2200 und VDI/VDE 2862 zulässig.

Vergleich der Verfahren zur Schraubenkontrolle

Die möglichen Kontrollverfahren unterscheiden sich sehr stark in ihrer Eignung, dem Preis/Leistungsverhältnis, der Robustheit und dem Prüfzeitraum. Die folgende Tabelle (Tab.2) gibt hierzu eine Übersicht.

Für den Einsatz von Rohrleitungs-, Tank und Druckgeräten wird in den gängigen Regelwerken die Anwendung vom Stand der Technik eingefordert. Hierzu finden Sie ebenfalls eine technische Information „Technische Rechtsbegriffe“ auf meiner Homepage.

Tab.2: Vergleich der Verfahren zur Schraubenkontrolle				
© Peter Thomsen, D-28211 Bremen				
Verfahren	Eignung	Preis/Leistung ¹⁾	Robustheit	Messzeitraum
Sichtkontrolle	keine	hoch/keine		½ bis 1 Jahr
Weiterdrehmoment	keine	hoch/keine		½ bis 1 Jahr
Dehnmessstreifen	ja	hoch/hoch	gering	nach Bedarf
Ultraschall	bedingt	hoch/hoch	mittel	regelmäßig
konventionelle Kraftmessdose	bedingt	hoch/hoch	hoch	permanent ²⁾
Mess-U-Scheibe ³⁾	ja	niedrig/sehr hoch	sehr hoch	n. Bedarf, permanent ²⁾
kalibrierte Schraube ³⁾	ja	sehr niedrig/hoch	sehr hoch	nach Bedarf
¹⁾ keine Betrachtung der Kosten, sondern des Kosten-Nutzen-Verhältnisses				
²⁾ Verfahren kann laufend Messergebnisse liefern, zu jedem Wunschzeitpunkt und kann einen Sicherheitsalarm auslösen				
³⁾ direkte Erkennbarkeit von Überdehnung				

Die folgende Tabelle (Tab.3) zeigt die Anwendbarkeit des Kontrollverfahrens, nach VDI 2200 und VDI/VDE 2862-2.

Tab.3: Anwendbarkeit der Verfahren zur Schraubenkontrolle		
© Peter Thomsen, D-28211 Bremen		
Verfahren	VDI 2200	VDI/VDE 2862-2
Sichtkontrolle	-	-
Weiterdrehmoment	-	-
Dehnmessstreifen	+	+
Ultraschall	+	+
konventionelle Kraftmessdose	+	+
Mess-U-Scheibe	+	+
kalibrierte Schraube	+	+

Es zeigt sich, dass die heutzutage üblich angewendeten Verfahren wie Sichtkontrolle und Weiterdrehmoment in keiner Weise dazu geeignet sind, eine Schraubenverbindung und schon gar nicht geschraubte Dichtverbindungen, zu validieren. Damit kann sich dieser unsinnige Aufwand

auch gespart werden. Wir werden uns in Zukunft daran gewöhnen müssen, dass mehr Aufwand für die Bewertung einer Schraubverbindung anfällt.

Die richtige Montage von Schrauben hat nach meiner Erfahrung immer zu erheblichen Kostenreduzierungen durch Vermeidung von nachträglichen Reparaturen, Produktionsausfall und Senkung der Umweltschädigung geführt. Gefährliche Vorgänge, wie das Nachziehen der Schrauben oder das „Koffern“ leckender Dichtverbindungen während des Betriebes, konnten immer vermieden werden, wenn die Verbindungselemente optimal vorgespannt und die Dichtungselemente mit niedrigen P_{QR} -Werten, wie Metall-Weichstoff-Dichtungen verwendet werden.

Anmerkung:

Die Auswahl der anzuwendenden Verfahren richtet sich nach der Gefährdungsanalyse (siehe VDI 1111). Jeder handelt eigenverantwortlich. Eine Nichteinhaltung kann zu rechtlichen Konsequenzen, bei Gefährdung von Leib und Leben sogar Geldstrafen oder Freiheitsstrafen bis zu fünf Jahren führen. Bewusste Nichtbeachtung erfüllt im Falle einer Gefährdung oder Schädigung von Menschen und Umwelt, den Tatbestand des Vorsatzes oder der billigenden Inkaufnahme.

Weitere interessante Informationen zu verschiedenen Themen finden Sie auf der Homepage www.thomsen-bremen.de.

Zur technischen Beratung stehe ich Ihnen selbstverständlich gerne auch kurzfristig persönlich zur Verfügung.

Mit freundlichen Grüßen aus Bremen
Peter Thomsen

Haftungsausschluss:

Die Inhalte der Regeln sind zum Teil zitiert, zum Teil in den Worten der Regeln wiedergegeben, die Anmerkungen und Auslegungen beruhen auf langjähriger Erfahrung, dienen der Entscheidungshilfe und begründen keinen Anspruch auf Gewährleistung.

© Peter Thomsen, D-28211 Bremen

Stand 30.12.2021