

Berger/Kiefer (Hrsg.)

DICHTUNGS TECHNIK

JAHRBUCH 2015

ISGATEC 

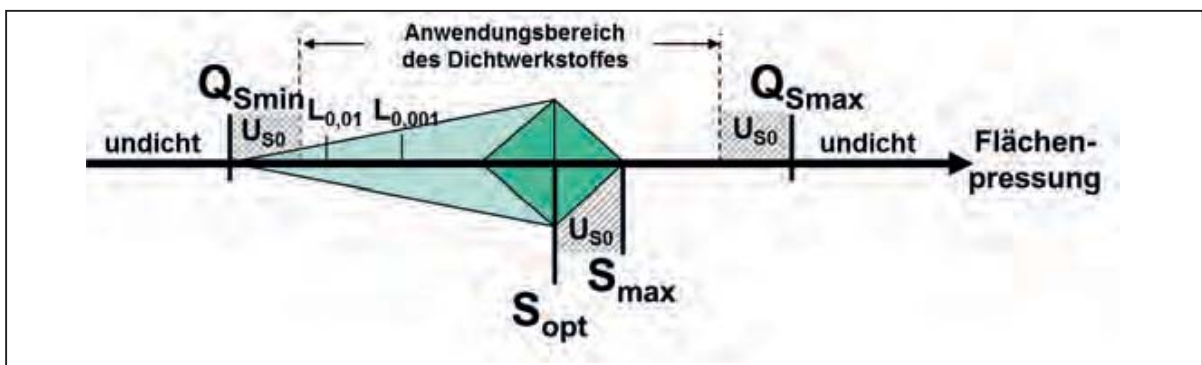
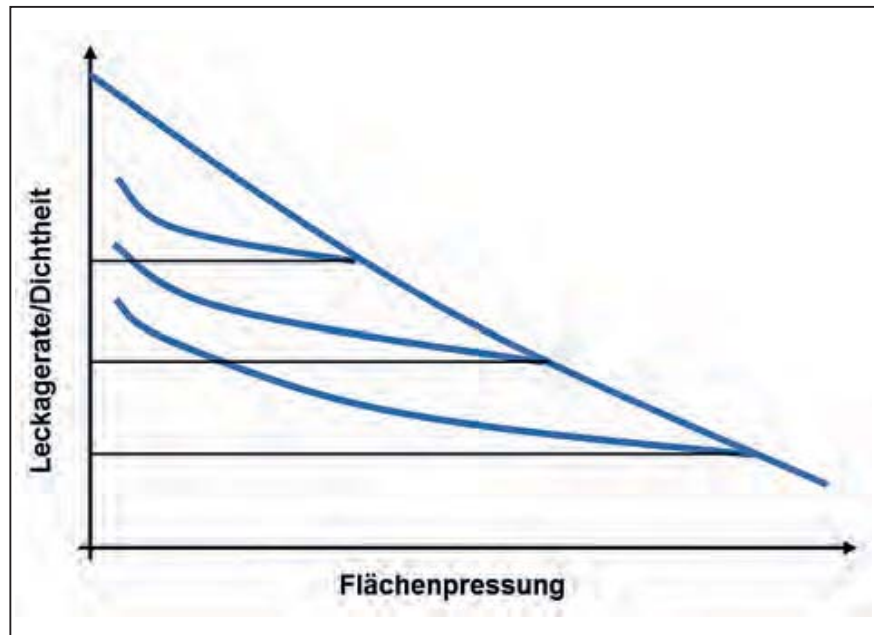
Die optimale Schraube für dichte Normflanschverbindungen

Die Dehnschraube wird gerne bei Flanschverbindungen eingesetzt und genießt eigentlich einen guten Ruf. Zu Unrecht, denn sie ist nicht die optimale Schraube für Flanschverbindungen. Sie erfüllt verschiedene Normen nicht und hat auch hinsichtlich ihrer Geometrie Nachteile. Die Dichtigkeit einer Normflanschverbindung leidet darunter unnötigerweise – denn es gibt bessere Lösungen.

Die Dichtheit (Leckagerate) einer Flanschverbindung ist abhängig von der Schraubenkraft und der Flächenpressung auf der Dichtung. Je höher die Flächenpressung umso niedriger die Leckagerate $\gg 1$. Die Form der Schraube hat hier eine erhebliche Auswirkung. Mit zunehmender Flächenpressung sinkt die Leckagerate. Sie steigt aber mit Entspannung des Dichtsystems durch Fließen bzw. Setzen wieder an. Die Dichtung sollte eine möglichst hohe Flächenpressung QS_{\max} ertragen und einen hohen P_{QR} -Wert haben, also nicht fließen. Die niedrigste Leckagerate und das geringste Fließen erhält man bei guten Metall-Weichstoff- oder Metalldichtungen. Flachdichtungen aus Plattenmaterialien wie Elastomer-gebundene Fasern (FA-Material nach DIN 28091-2), PTFE (TF-Material nach DIN 28091-3) und Grafit (GR-Material nach DIN 28091-4) verhalten sich eher nachteilig. Grafit hat einen hohen P_{QR} -Wert, fließt kaum, ist aber hinsichtlich der Leckagerate relativ schlecht. PTFE hat eine niedrige Leckagerate, fließt aber sehr stark. Grundsätzlich kommt es bei einer richtig ausgelegten Dichtverbindung darauf an, die Bauteile auszulasten, ohne eines davon zu zerstören.

Bei Verwendung von Dichtungen, die eine hohe Flächenpressung QS_{\max} ertragen, z.B. Wellring, Spiral- und Kammprofilabdichtungen, ist die maximale Kraft, die das Flanschsystem bringt und damit die Flächenpressung S_{\max} , die das Flanschsystem ertragen kann, oft kleiner als QS_{\max} . Die Dichtung kann durch das System nicht überpresst werden und bringt in richtiger Geometrie hergestellt niedrige Leckageraten, die immer die Anforderungen der TA Luft erfüllen. Die Anwendung des Unsicherheitsfaktors U_{S0} verhindert eine Schädigung des Systems. Die anwendbare Flächenpressung ergibt sich somit aus der Formel

>>1: Zusammenhang zwischen Schraubenvorspannkraft/Flächenpressung und Leckagerate



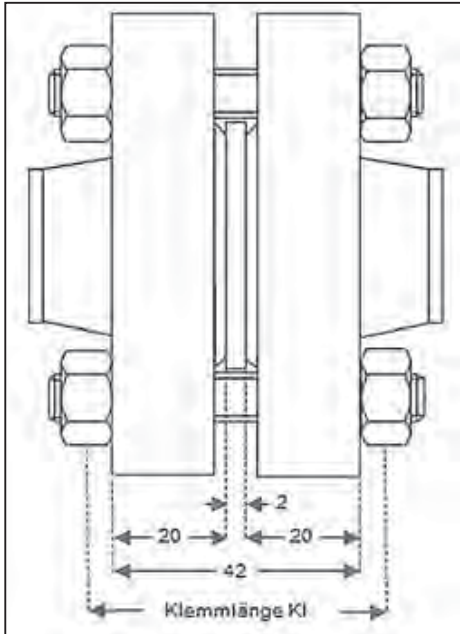
>>2: Darstellung des optimalen Dichtsystems (Hardorp-Lannewehr-Thomsen'sche Raute)

$$S_{\text{Sopt}} = S_{\text{max}} / U_{\text{S0}}$$

Mit S_{opt} ist die Dichtkraft definiert, die das System erreichen kann >>2. Die Richtigkeit dieser Betrachtungsweise wird durch die VDI 2290:2012-06 Emissionsminderung bestätigt. In Abschnitt 7, Anforderungen/Leckraten steht in Absatz 6: „..., wobei die zulässigen Spannungen der Bauteile auszuschöpfen sind.“ Die VDI 2290 erfüllt die Forderung des Bundesimmissionsschutzgesetzes (BImSchG) nach Minimierung schädlicher Leckagen.

Welches ist die richtige Schraube?

Diese Frage wird für Flanschverbindungen immer wieder aufgeworfen. In der Vergangenheit haben sich aufgrund der Forderungen des AD 2000-Regelwerkes nach Einsatz von Schrauben mit Dehnschaft in Flanschverbindungen bei



>>3: Dicke der Bauteile und Festlegung der Klemmlänge

Einsatzbedingungen >40 bar und 300 °C immer wieder Verwendung gefunden. Grundsätzliche Vor- und Nachteile sind in [1] aufgeführt. Diese technische Information zeigt am Beispiel einer der gängigsten Flanschverbindung, wie es sich mit der tatsächlichen Dehnung verhält. Folgende Bauteile werden dabei betrachtet:

- Flansche DN50 PN40 nach EN 1092, Typ 11 mit Dichtleiste Form B,
- Dichtung mit einer Dicke im Einbauzustand von 2 mm,
- Sechskantschraube, Gewindebolzen und Dehnschraube mit passender/n Mutter/n aus Werkstoff 21 CrMoV5-7 (1.7709) ausgelastete Steckgrenze $R_{p_{0,2}}$ mit 70%.

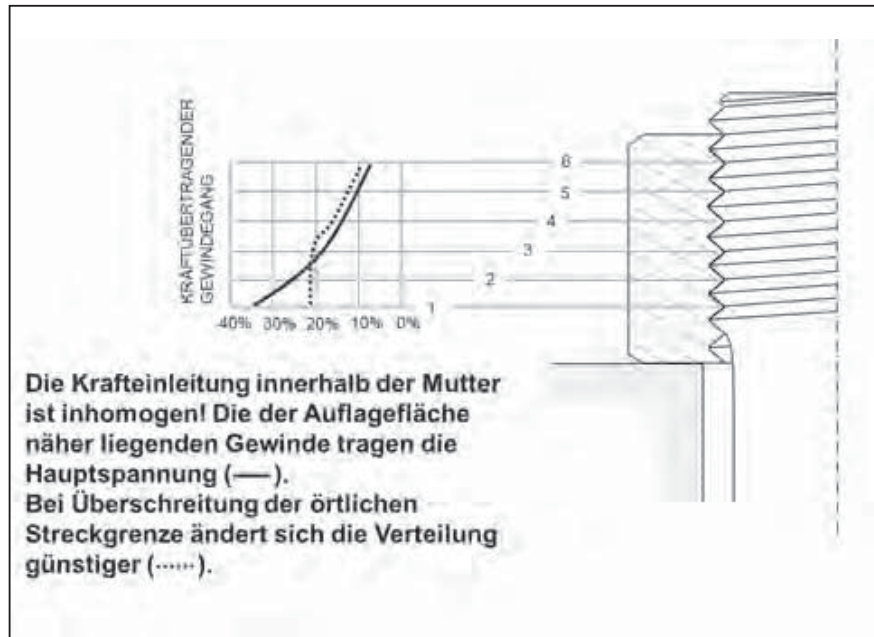
Um die Betrachtung nicht zu komplizieren, werden die Einflüsse der Schraubenvorspannkräfte auf die Verformung der Mutterauflageflächen und der Flanschblattneigung nicht explizit berücksichtigt, weil sie die grundlegende Erkenntnis nur marginal beeinflussen. Die Abmessungen der Flansche und die Klemmlänge ergeben sich aus >>3.

Für die Errechnung der Klemmlänge wurde jeweils das Gewinde der Mutter und der Einfluss des Schraubenkopfes mit der halben Mutterhöhe betrachtet, da bei der Montage üblicherweise mit unkontrolliertem oder kontrollierten Drehmomenten montiert wird und die hauptsächlichen Vorspannkräfte von den ersten drei Gewindegängen in der Mutter getragen werden >>4.

Bei Gewindebolzen mit Dehnschaft gilt nach DIN 2510-1 folgendes:

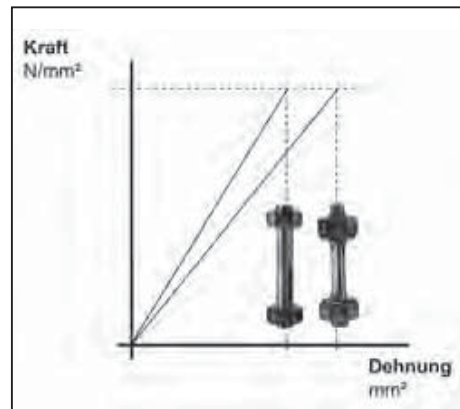
- Die Annahme, dass Schrauben mit Dehnschaft sich bei gleicher Vorspannkraft mehr dehnen als Gewindebolzen oder Schrauben mit Sechskantkopf >>5.
- Die Mindestlänge des Dehnschaftes soll mindestens das Zweifache, besser das Vierfache des Gewindedurchmessers (gemeint ist wohl der Gewindenennendurchmesser) betragen.
- Die Schlüsselweiten der Muttern bis M20 sind größer als die der Normmutter nach ISO 4932 (ex. DIN 934).
- Die Höhe der Muttern ist mit $H = D$ festgelegt (Normmuttern nach ISO 4032 haben die Standardhöhe $H = 0,8 \cdot D$)

>>4: Verteilung der Vorspannkraft auf die Gewindegänge
(Bild: Blume, Ilgner, Schraubenvademecum, Rasch Verlag)

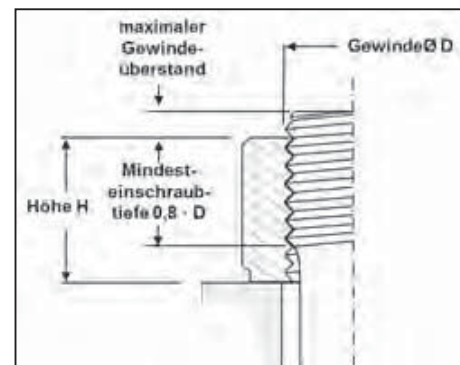


Die optimale Einbausituation für die Schraube mit Dehnschaft ist laut DIN 2510-1 ein Einbau mit übergreifendem Gewinde, also dem ersten Gewindegang des Bolzens im dritten Gewindegang der Mutter >>6, um Spannungskonzentration in den ersten tragenden Gewindegängen zu vermeiden.

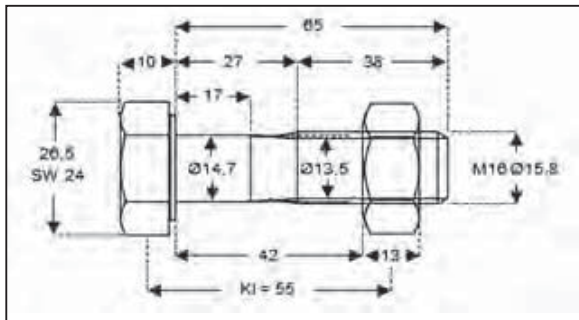
Um diese Forderung zu erfüllen, ist die genaue Auslegung mit exakter Länge erforderlich und ein Schraubenbolzen Form K mit kurzem Gewinde zu verwenden, um unnötige Gewindeüberstände zu vermeiden. Dies entspricht nicht der üblichen Praxis, denn hier werden normalerweise bei Flanschverbindungen Schraubenbolzen mit Dehnschaft Form L verwendet, um flexibler zu sein. Damit wird schon der entscheidende Vorteil der Dehnschraube aufgegeben. Es bleibt nur noch der Vorteil des Gewindeschutzes – durch die Reduzierung der maximalen Spannung und durch den reduzierten Spannungsquerschnitt des dünneren Dehnschaftes.



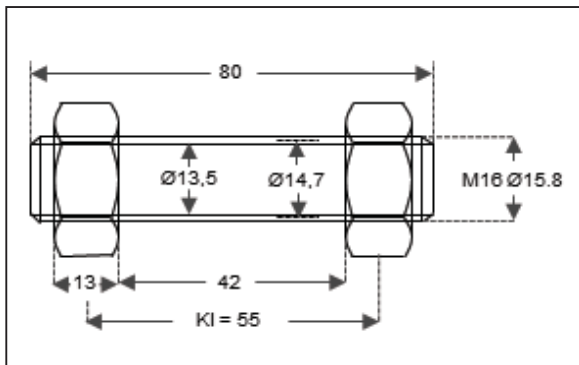
>>5: Schrauben mit Dehnschaft werden bei gleicher Vorspannkraft länger



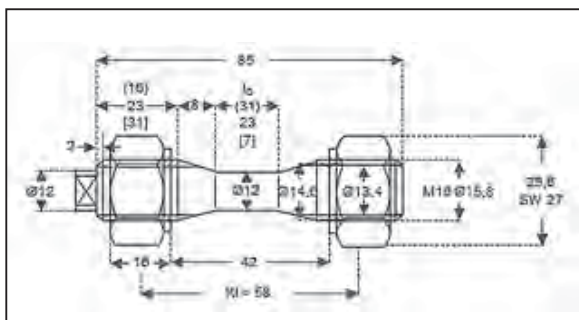
>>6: Optimale Einbausituation nach DIN 2510-1



>>7: Schraube mit Sechskantkopf nach ISO 4014 (ex. DIN 931) mit Schaft Form B nach DIN 962 und Mutter nach ISO 4034 (ex. 934) mit $H = 0,8 \cdot D$, M16 x 65



>>8: Gewindebolzen nach DIN 976 mit zwei Muttern nach ISO 4034 (ex. 934) mit $H = 0,8 \cdot D$, M16 x 80



>>9: Schraubenbolzen mit Dehnschaft nach DIN 2510-3 Form L, (K), [Z], mit zwei Muttern DIN 2510-5 mit $H = D$, M16 x 85

Alle Bauteile auslasten

Die Aufgabe einer Flanschverbindung/ Dichtverbindung ist es, gemäß den Forderungen aus dem Bundesimmissionsschutzgesetz (BImSchG), eine möglichst niedrige Leckagerate zu erzeugen. Um dieses Gebot zu erfüllen, müssen alle Bauteile ausgelastet werden. Es gilt: je höher die Vorspannkraft der Schrauben, desto höher die Flächenpressung und umso niedriger die Leckagerate. Es ist also die Vorspannkraft so hoch wie möglich auszulegen, ohne die Flansche und Dichtungen zu beschädigen. Die Forderung gilt zwar explizit nur für umweltschädliche Medien, sollte aber wegen der höheren Betriebssicherheit auf alle Dichtverbindungen angewendet werden. Diese Vorgehensweise ist ebenfalls erforderlich, um die Forderungen der Betriebs-sicherheitsverordnung (BetrSichV), der TRBS 2141-3 und 2152-2 zu erfüllen. Die Erfüllung der Anforderungen ist nur bei optimaler Vorspannkraft möglich. Aus welchem Grund sollte also ein Gewindebolzen oder eine Schraube mit Sechskantkopf ohne Dehnschaft mit dem gleichen Drehmoment einer Schraube mit Dehnschaft montiert werden?

>>7, 8, 9 zeigen die Abmessungen der Schrauben mit Sechskantkopf, der Gewindebolzen und der Dehnschraube mit den Klemmlängen KI und der Einspanndicke der Flansche und der Dichtung (42 mm). Die Längen wurden üblichen Standardabmessungen angepasst, tatsächlich könnten die Schrauben um einige mm kürzer sein. Betrachtet man

Form	Länge des Dehnschaftes	$l_D / 32^{1)}$	$l_D / 64^{1)}$
L	23	0,7	0,4
K	37	1,2	0,6
Z	7	0,2	0,1

>>10: Verhältnis der Länge des Dehnschaftes l_D zum Gewindedurchmesser M16 x 851)

¹⁾ 32 mm = M16 · 2 zweifaches Verhältnis von Dehnschaftlänge zu Gewindedurchmesser,

64 mm = M16 · 4 vierfaches Verhältnis

Anmerkung: Keine der Schrauben erfüllt die Anforderungen der DIN 2610-1, nur die Form K erfüllt die minimalste Mindestlänge

Schraubenart	Vorspannkraft in N	Auslastung $R_{p0,2}$ in %	Dehnung in mm	Differenz zum Schraubenbolzen mit Dehnschaft
Schraubenbolzen mit Dehnschaft	43.500 ¹⁾	70%	0,095	
Schraube mit Sechskantkopf	43.500 ¹⁾	50%	0,064	
Gewindebolzen	43.500 ¹⁾	50%	0,074	+ 38% Vorspannkraft
	60.400	70%	0,104	+ 10% Dehnung

>>11: Vergleich der Dehnungen und Vorspannkräfte

¹⁾ Betrachtung nach Ansatz der DIN 2510-1 mit gleicher Vorspannkraft

(Bilder: Lannewehr + Thomsen GmbH & Co. KG)

die Forderung der DIN 2510-1, so erfüllt nur der Schraubenbolzen mit Dehnschaft Form K die Anforderungen an die minimale Mindestlänge des Dehnschaftes >>10.

Beim Vergleich der erreichbaren Dehnung fällt auf, dass der Gewindebolzen bei einer Auslastung mit 70% der Streckgrenze die größte Dehnung hat >>11. Die Schraube mit Sechskantkopf hat die niedrigste Dehnung. Für den Gewindebolzen wird die Dehnung bei der gleichen Vorspannkraft wie der Schraubenbolzen mit Dehnschaft (Ansatz der DIN 2510-1) und bei optimaler Auslastung betrachtet. Die Berechnung der Dehnung erfolgt nach der Formel:

$$\Delta l = (F_{m_{0,7}} : E) \cdot ((L_1 : A_1) + (L_2 : A_2) + (L_3 : A_3) + \dots)$$

Dabei sind:

- $F_{m_{0,7}}$ = Montagevorspannkraft bei 70% $R_{p0,2}$

- E = Elastizitätsmodul des Schraubenwerkstoffes
(1.7709 bei RT = 211.000 N/mm²)
- L = die Länge des jeweiligen Abschnittes der Schraube
- A = jeweils belasteter Schraubenquerschnitt

Es ist deutlich zu erkennen, dass die Dehnschraube nicht die optimale Schraube für Flanschverbindungen sein kann. Erstens erfüllt sie nicht die grundlegenden Voraussetzungen für eine Schraubenverbindung mit Dehnschaft nach der DIN 2510-1. Zweitens ergeben sich aus ihrer Geometrie, bei gleichem Werkstoff, deutlich niedrigere Vorspannkraft und drittens erfüllt sie die Anforderungen des BImSchG und der BetrSichV nur in nicht ausreichend festen Flanschen oder bei zu weichen Dichtungen.

Fazit

Zusammenfassend lässt sich feststellen, dass der Gewindebolzen die optimalste Schraube für Normflanschverbindungen und Verbindungen mit einem niedrigen Verhältnis von Länge des Dehnschaftes zum Gewindedurchmesser – bei Verwendung von Schrauben mit Dehnschaft – ist. Weitere Effekte würde hier nur eine Verwendung von Dehnhülsen bieten. Da sich bei kleineren und größeren Flanschverbindungen die Dicke der Bauteile und die Größe der Schrauben gemeinsam verändern, ergeben sich kaum bessere Verhältnisse.

Berücksichtigt man dies, kann bei Konstruktion einer Flanschverbindung erheblich Material eingespart werden. So lassen sich mindestens ein bis zwei Gewindedurchmesser kleinere Gewindebolzen verwenden. Dies resultiert aus der aufgrund der bei gleicher Festigkeit, deutlich höheren erzielbaren Vorspannkraft. Ergo können auch Flanschen schmaler konstruiert werden und die daraus resultierenden kleineren Hebelarme erlauben dünnere Flanschblattstärken.

Weitere Vorteile ergeben sich aus einer universelleren Einsetzbarkeit in Bezug auf die Lieferlänge und einer damit einhergehenden Standardisierung sowie der optimaleren Zentrierung von Dichtungen bei Verwendung von Gewindebolzen. Schließlich und letztendlich kommen zu den technischen noch weitere wirtschaftliche Vorteile, die sich aus den günstigeren Preisen für Gewindebolzen ergeben.

Literatur

[1] Technische Information „Gewindebolzen oder Dehnschrauben“,
[www.flangevalid.com/Ressourcen/Technische Informationen/Icon „Schraube“](http://www.flangevalid.com/Ressourcen/Technische%20Informationen/Icon%20„Schraube“)

Jeder Kontakt ein Treffer – Werden Sie Teil des Netzwerkes



Online finden Sie im Bereich Netzwerk Wertvolles für Ihre Entwicklung

Lösungspartner finden

das fachspezifische Anbieterverzeichnis für Konstrukteure, Einkäufer und Qualitätsverantwortliche

Karrierenetzwerk

Stellenangebote und Stellengesuche für Fach- und Führungskräfte aus und für die Branche

Wissenswertes

Datenbanken, Lastenhefte, Aktuelles/Entwicklungen, Preisindex, Marktstudien, Fakten, Veranstaltungen, Institute, Verbände, Forschungseinrichtungen, Fachliteratur u.v.m.

Rufen Sie uns an! Telefon: +49 (0) 621-717 68 88-0

DICHTEN KLEBEN ELASTOMER

WWW.ISGATEC.COM