

Korrekte Auslegung und Montage von Verschraubungsdichtungen

WOLFGANG ABT

In den letzten Jahren ist ein in sich geschlossenes System an technischen Regeln zur Flanschverbindung entstanden. Eine solche ganzheitliche Betrachtungsweise fehlt bisher für die Verschraubungen. Es existiert eine Vielzahl einzelner, isolierter Regelwerke für jeweils eine ganz bestimmte Anwendung. In der Praxis bereiten Verschraubungen jedoch häufiger Dichtungsprobleme als die Flanschverbindungen, da es sich meist um kleine Abmessungen handelt. Der folgende Beitrag gibt einen umfassenden Überblick über Problematik und Lösungsmöglichkeiten der Verschraubungen.

Der Fokus in der Dichtungstechnik lag in den letzten Jahren auf der Flanschverbindung. Die Systemkomponenten Schrauben, Flansche und die dazu gehörenden Dichtungsabmessungen sind genormt. Die Flanschverbindung kann nach DIN EN 1591-1 berechnet werden, die dazu erforderlichen Dichtungskennwerte werden nach DIN EN 13555 ermittelt. Die VDI-Richtlinie 2290 definiert die technische Dichtheit im Sinne der TA Luft, wenn die Einhaltung der Dichtheitsklasse $L_{0,01}$ mit der spezifischen Leckagerate $L \leq 0,01 \text{ mg} \cdot \text{s}^{-1} \cdot \text{m}^{-1}$

bei der Auslegung der Flanschverbindung nachgewiesen wird. Die Umsetzung in die Praxis wird durch den VCI-Leitfaden zur Montage von Flanschverbindungen in verfahrenstechnischen Anlagen beschrieben. Somit ist ein in sich geschlossenes System an technischen Regeln zur Flanschverbindung entstanden (**Bild 1**). Einschränkung muss angemerkt werden, dass all diese Regeln nur für runde Flansche gelten.

Eine solche ganzheitliche Betrachtungsweise fehlt bisher für die Verschraubungen (**Bild 2**). Es existiert

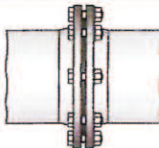
DIN EN 1092 Flansche und ihre Verbindungen – runde Flansche für Rohre ... • Abmessungen • Ratings • Dichtflächen etc.	VDI 2290 Emissionsminderung – Kennwerte für dichte Flanschverbindungen • Auslegung • Montage • Leckagerate.	DIN EN 1591-1 Flansche und ihre Verbindungen – Regeln für die Auslegung ... • Flanschberechnung • Festigkeitsnachweis • Dichtheitsnachweis
DIN EN 1514 Flansche und ihre Verbindungen – Maße für Dichtungen • Abmessungen für versch. Flansche • Dichtungsarten		DIN EN 13555 Flansche und ihre Verbindungen – Dichtungskennwerte und Prüfverfahren ... • Dichtungskennwerte • Prüfverfahren
DIN EN 1515 Flansche und ihre Verbindungen – Schrauben und Muttern • Schraubenwerkstoffe • Auswahl Schrauben / Muttern	VCI Leitfaden zur Montage von Flanschverbindungen in verfahrenstechnischen Anlagen • Anforderungen • Montagevorgang • QS / Dokumentation	DIN EN 13480 Metallische industrielle Rohrleitungen ... • Auslegung • Werkstoffe • Konstruktion • Fertigung / Verlegung • Prüfung

Bild 1: Technische Regeln zur Flanschverbindung

DIN 3376 Gaszählerverschraubungen • Einstutzenanschluss • Zweistutzenanschluss	Verschiedene konstruktive Ausführungen von Verschraubungen • Überwurfmutter (keine Torsion) • Stopfen (Torsion) • parallele Dichtflächen • schräge Dichtflächen	Normen zur Berechnung von Verschraubungen ?
DIN 3842 Heizungsarmaturen - Heizkörperverschraubungen • Maße • Werkstoffe		Normen für Dichtungskennwerte von Verschraubungen ?
DIN 3858 Whitworth-Rohrgewinde für Rohrverschraubungen ... • Zylindrisches Innengewinde • Kegliges Außengewinde		Normen für Dichtungswerkstoffe von Verschraubungen ?
DIN 3861 ff • Schneidringe usw.		Normen zur Montage von Verschraubungen ?

Bild 2: Technische Regeln zur Verschraubung



Bild 3: Dichtstopfen mit Dichtring an einer Chemiepumpe

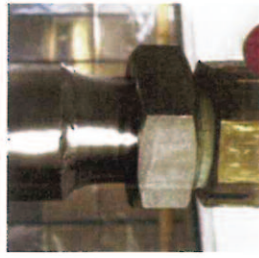


Bild 4: Typische Verschraubung

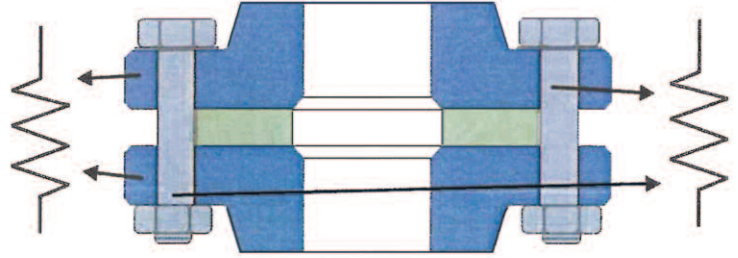


Bild 5: Flanschverbindung mit federnden Bauteilen

eine Vielzahl einzelner, isolierter Regelwerke, für jeweils eine ganz bestimmte Anwendung; z. B. DIN 3376 für Gaszählerverschraubungen. In der Praxis bereiten Verschraubungen jedoch häufiger Dichtungsprobleme als die Flanschverbindungen, wobei es sich meist um kleine Abmessungen handelt. Der vorliegende Aufsatz gibt einen umfassenden Überblick über Problematik und Lösungsmöglichkeiten der Verschraubungen.

SYSTEMBETRACHTUNG

Es können zwei unterschiedliche Typen von Verschraubungen mit flachen Dichtflächen betrachtet werden [1]:

- Verbindung von zwei Bauteilen mit einer Überwurfmutter, die starr mit einem Bauteil verbunden ist, so dass die Dichtflächen bei der Montage gegeneinander verdreht werden (Torsionsbeanspruchung). Auch sogenannte „Dichtstopfen“ gehören dazu (**Bild 3**).
- Verbindung von zwei Bauteilen mit einer Überwurfmutter, die drehbar mit einem Bauteil verbunden ist, so dass bei der Montage durch Gegenhalten ein Verdrehen der beiden Dichtflächen reduziert bzw. verhindert werden kann (**Bild 4**).

Charakteristisch für Verschraubungen ist das relativ starre Verhalten der Verbindung. Dies wird deutlich, wenn man das System mit einer Flanschverbindung vergleicht. Bei einer herkömmlichen Flanschverbindung steht als Federweg zum Ausgleichen von Setzvorgängen die Klemmlänge der Schrauben zur Verfügung (**Bild 5**). Dieses Federverhalten der Flanschverbindung führt dazu, dass bei einer Dickenabnahme der Dichtung (z. B. durch Setzen unter Temperatur) die Flächenpressung und damit die Dichtwirkung und die mechanische Stabilität der Verbindung in gewissem Umfang aufrechter-

halten werden kann. Bei einer Verschraubung steht als Federweg dagegen nur die Dicke der Dichtung und des verspannten Bundendes der Rohrleitung zur Verfügung, insgesamt nur wenige Millimeter (**Bild 6**). Damit wird deutlich, dass ein Ausgleichen von Setzvorgängen des Dichtungswerkstoffs nur sehr begrenzt möglich ist.

Ein weiteres Problem bei Verschraubungen stellt die Dichtungsbreite dar. Teilweise ist als wirksame Dichtbreite nur die Wandstärke des Bauteils (Rohr) vorhanden. Breiter gestanzte Dichtringe spiegeln hier nur Sicherheit vor, je nach Bauteil kann es zum „Zerschneiden“ der Dichtung bei der Montage kommen.

Eine sichere Anwendung von Flachdichtungen aus Weichstoffen setzt einen bestimmten Dichtungsquerschnitt voraus, gekennzeichnet durch das Verhältnis von Dichtungsbreite (b) zu Dichtungsdicke (d). Die Richtwerte dafür zeigt **Tabelle 1**.

Eine Unterschreitung der genannten Richtwerte führt zu erhöhten Leckraten und vor allem zu einer deutlich reduzierten Standfestigkeit. Übliche Verschraubungsdichtungen weisen somit eine sehr ungünstige Dichtungsgeometrie auf, da die $b:d$ -Werte zwischen 5:1 und 1:1 liegen. Daher scheiden Dichtungen aus expandiertem Graphit für den Einsatz als Verschraubungsdichtung von vorne herein aus und werden z. B. in der DVGW VP 401 [2] nicht als Verschraubungsdichtungen für Gaszähler und Druckregler zugelassen. Somit können als Werkstoffe nur Faserdichtungen, hochgefüllte PTFE-Dichtungen sowie spezielle Metall-Dichtungen eingesetzt werden.

DICHTUNGSKENNWERTE

Die von den Dichtungsherstellern veröffentlichten Dichtungskennwerte für die Flanschberechnung nach DIN EN 1591-1 werden nach DIN EN 13555 ermittelt, geprüft an Probekörpern der Abmessung

92 mm x 49 mm (PN 40/DN 40). Das heißt bei einer üblichen Dichtungsdicke von 2,0 mm wird ein Breiten-Dicken-Verhältnis von 10:1 eingehalten. Daraus wird deutlich, dass diese Dichtungskennwerte nicht auf die Anwendung in Verschraubungen übertragen werden können, wo das Breiten-Dicken-Verhältnis im Extremfall 1:1 beträgt.

Aus den ungünstigen Abmessungen resultiert ein deutlich verkleinerter Arbeitsbereich der Dichtung: Einerseits wird eine relativ große Mindestflächenpressung erforderlich um ausreichend dicht zu werden, andererseits ist die maximal zulässige Flächenpressung deutlich reduziert. Im Vergleich zu einer Flanschdichtung bleibt also nur ein sehr schmaler Bereich der Flächenpressung, in welchem eine sichere Abdichtung gegeben ist. **Bild 7** zeigt die zulässige maximale Flächenpressung im Einbauzustand für verschiedene Dichtungswerkstoffe (FA und PTFE) in Abhängigkeit vom Breiten-Dicken-Verhältnis. Dass die Leckagerate von Faserdichtungen unter identischen Randbedingungen mit abnehmender Dichtring-Breite zunimmt wurde bereits in [3] gezeigt.

MONTAGE

Einer fachgerechten Montage kommt wegen des reduzierten Bereichs zwischen minimaler und maximaler Flächenpressung bei Verschraubungsdichtungen eine besondere Bedeutung zu. Die meisten Verschraubungen werden von Hand, nach individuellen Gefühl und Erfahrung des Monteurs, angezogen. Für eine korrekte Montage ist jedoch der Einsatz eines Drehmomentschlüssels erforderlich. In der Praxis scheitert dies oft an den beengten räumlichen Verhältnissen. Mit der drehwinkelgesteuerten Montage

Tabelle 1: Gefordertes Verhältnis von Dichtungsbreite zu Dichtungsdicke für sichere Flachdichtungen aus Weichstoffen

Dichtungswerkstoff	Anforderung Dichtring Breite (b) zu Dicke (d)
auf Basis von Fasern (FA)	b:d ≥ 5:1
auf Basis von PTFE (TF)	b:d ≥ 5:1 (hochgefüllt) bis 20:1 (reines PTFE)
auf Basis von expandiertem Graphit (GR)	b:d ≥ 10:1

steht eine Alternative zum Drehmomentschlüssel zur Verfügung, die bisher noch zu wenig Beachtung findet und über die schon an anderer Stelle berichtet wurde [4]. Sie bietet sich besonders bei Instandhaltungsarbeiten und bei ungünstigen Einbausituationen an. Dazu muss die Stauchkurve (Verformung in Abhängigkeit von der Flächenpressung) des jeweiligen Dichtungswerkstoffs bekannt sein. Für eine vorher festgelegte Einbaufächenpressung kann dann bei Kenntnis der jeweiligen Gewindesteigung ein entsprechender Drehwinkel nach folgender Gleichung ermittelt werden:

$$\text{Drehwinkel [}^\circ\text{]} = (360/\text{Gewindesteigung [mm]}) \times \text{Verformung [mm]}$$

Die gewählte Einbaufächenpressung hängt vom Dichtwerkstoff, Abmessungen und Einbausituation ab. Im Allgemeinen kann von bei Verschraubungen von einer empfohlenen Einbaufächenpressung von

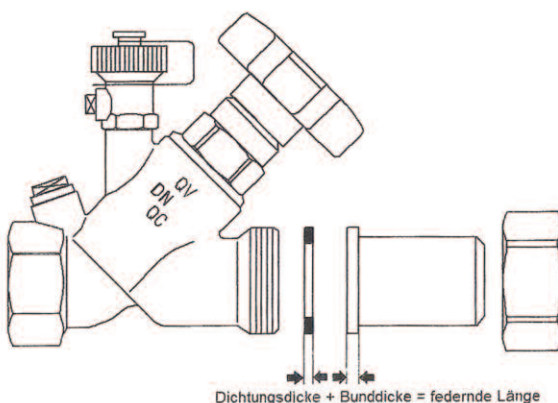


Bild 6: Federnde Bauteile einer Verschraubung

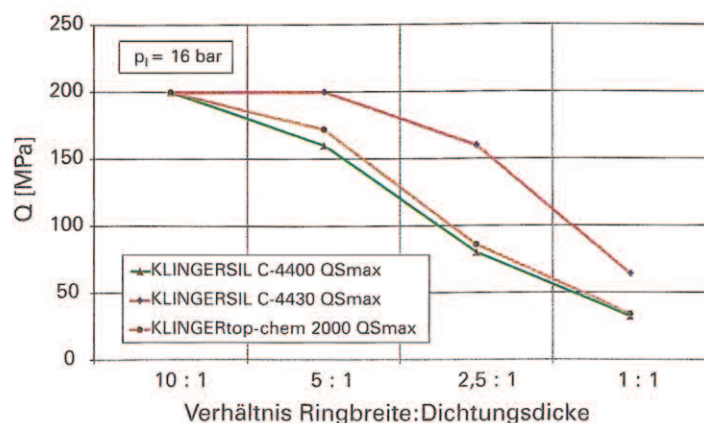


Bild 7: Maximale Flächenpressung im Einbauzustand in Abhängigkeit vom Breiten-Dicken-Verhältnis,

Tabelle 2: Empfohlene Drehwinkel für die Montage von Verschraubungsdichtungen

Gewindegröße [inch]	Gewindesteigung [mm]	Dichtungs- abmessung [mm]	Drehwinkel für Montage [°] Richtwerte!		
			KLINGERSIL C-4400 (FA)	KLINGERSIL C-4430 (FA)	KLINGER ^{top} -chem 2000 (PTFE + SiC)
1/2 "	1,84	18,5 x 11,0 x 2,0	60	45	45
3/4 "	1,84	24,0 x 16,0 x 2,0	60	45	45
1 "	2,31	30,0 x 23,0 x 2,0	45	45	30
1 1/4 "	2,31	38,5 x 29,0 x 2,0	45	45	30

30 MPa ausgegangen werden. **Tabelle 2** zeigt als Beispiel für drei verschiedene Dichtungswerkstoffe Richtwerte für die empfohlenen Anzugswinkel für einige gängige Verschraubungen mit Whitworth-Rohrgewinde [5].

In der Praxis sind bei der Montage folgende Punkte zu beachten:

- Die Verschraubungsdichtungen müssen ein einwandfreies Schnittbild aufweisen. Überstehende Stanzgrate verfälschen das Montageergebnis und können zu Undichtigkeiten führen.
- Das Gewinde der Verschraubung ist mit einem geeigneten Mittel zu schmieren, nicht jedoch die Dichtungsfläche!
- Die Verschraubung wird zunächst handfest angezogen, so dass die Dichtung ohne Spalt flächig sicher anliegt. Anschließend erfolgt die Montage mit dem Schraubenschlüssel und dem vorgesehenen Drehwinkel.

BAUTEILPROBLEME

Häufig bereitet auch eine nicht dichtungsgerechte Gestaltung der Bauteile bzw. der Dichtflächen

Probleme. Die zu verschraubenden Dichtflächen müssen, wie bei allen Flachdichtungen, planparallel sein. Anschrägungen in der Dichtfläche, um die Verpressung zu erhöhen, sind kontraproduktiv, da sie wegen der lokal überhöhten Flächenpressung frühzeitig zur Zerstörung der Dichtung führen.

Ein weiteres Problem können schief geschnittene Gewinde sein, die zu nicht planparallelen Dichtflächen führen, so dass der Dichtring den Dichtspalt auf einer Seite nicht ausreichend füllen kann, während er auf der anderen Seite überpresst wird. **Bild 8** zeigt die Verpressungsbilder einer 2-Zoll-Verschraubung. Als Druckmessfolie wurde Fujifilm, Typ medium pressure MW, verwendet. Die Flächenpressung betrug ca. 30 MPa. Die linke Verschraubung zeigt ein noch ausreichend gleichmäßiges Verpressungsbild, die rechte Verschraubung ein ungleichmäßiges Verpressungsbild, was in der Praxis zu Leckagen führte (Medium Heizungswasser). Ursache waren schief geschnittene Gewinde, die bei der Qualitätskontrolle nicht entdeckt wurden und über deren Auswirkungen man sich nicht bewusst war.

WERKSTOFFEMPFEHLUNGEN

Welche Dichtungswerkstoffe können nun in der Praxis erfolgreich bei Verschraubungen eingesetzt werden? Hier hat sich eine grobe Unterscheidung nach den Einsatzbedingungen bewährt:

Konstante Betriebsbedingungen, bis ca. 85°C
Hierfür können Faser-Dichtungen, wie KLINGERSIL C-4400 eingesetzt werden, wobei solche mit hohen Werten für Druckstandfestigkeit und maximal zulässige Flächenpressung, wie KLINGERSIL C-4430 (vergleiche auch Bild 7) von Vorteil sind. Wichtig ist, dass keine häufigen Temperaturwechsel



a) ausreichend gleichmäßige Verpressung



b) ungleichmäßige Verpressung

Bild 8: Verpressungsbilder einer 2-Zoll-Verschraubung

stattfinden und die Betriebstemperatur 85 °C nicht übersteigt, so dass die Dichtungen nicht aushärten. Solche Bedingungen findet man z. B. häufig im Sanitärbereich.

Wechselnde Betriebsbedingungen, bis ca. 200°C

In der Praxis sind vor allem jene Anwendungen kritisch, die häufigen Temperaturwechseln unterliegen. Bei diesen Anwendungen kommt dem Alterungsverhalten sowie dem Rückstellvermögen des Dichtungswerkstoffes eine besondere Bedeutung zu. In der Praxis haben sich unter diesen Bedingungen Verschraubungsdichtungen aus KLINGERtop-chem 2000 seit langem besonders bewährt. KLINGERtop-chem 2000 ist ein Hochleistungs-PTFE, das einen hohen Füllstoffanteil an Siliciumcarbid aufweist. Es enthält keine Bestandteile, die einer Alterung unterliegen. Daher können die Dichtungen bei Bedarf nachgezogen werden, ohne dass die Gefahr des Brechens oder Reißens besteht. Somit ist werkstoffseitig die Voraussetzung für eine langfristige Betriebssicherheit der Verschraubung gegeben. Obwohl Verschraubungsdichtungen aus KLINGERtop-chem 2000 besonders standfest sind, haben sie ein hervorragendes Anpassungsvermögen, da sie sich bis zu einem gewissen Grad plastisch verformen können, ohne ihre Funktion zu verlieren. **Bild 9** zeigt dies an einem aufgeschnittenen Schmutzfänger mit einer Verschraubung in einer Heißwasserleitung. Deutlich ist im Detail die Anpassung von KLINGERtop-chem 2000 im Dichtspalt zu erkennen.

Wechselnde Betriebsbedingungen mit erhöhten Temperaturen findet man z. B. im Bereich der Fernwärmeversorgung an Übergabe- und Verteilstationen, mit typischen Temperaturen bis 130 °C. Starken Beanspruchungen unterliegen auch die Verschraubungen an Sonnenkollektoren mit täglichen Temperaturwechseln (Tag-/Nacht) mit Spitzentemperaturen im Sommer bis zu 180 °C.

High-Tech Lösung KLINGERSafe-loc ist eine speziell für Verschraubungen entwickelte Dichtung auf Basis der Metall-Sicken-Technologie, wie sie heute für Automobil-Dichtungen Stand der Technik ist. Die Dichtung besteht aus einem 0,25 mm dicken Edelstahlblech (Werkstoff 1.4301) mit einer beidseitigen dünnen Beschichtung aus NBR-Kautschuk. Die Dichtringe haben eine eingeprägte Vollsicke sowie zusätzlich eine dreidimensionale Form, wodurch sich je nach Abmessung eine Wirkdicke von 2,0 bis 2,7 mm ergibt (**Bild 10**).

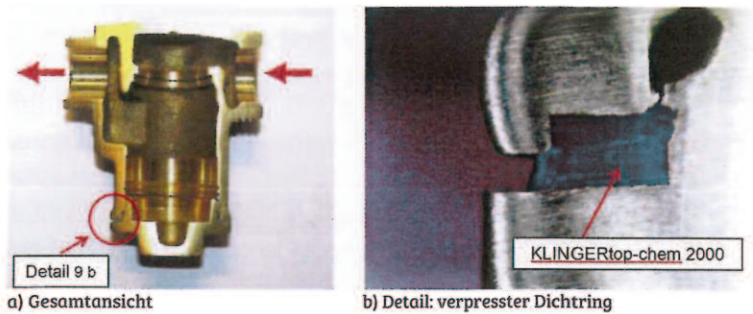


Bild 9: Schmutzfänger aufgeschnitten, Gesamtansicht und Dichtung im Detail

Die Sicke führt zu einer definierten Linienpressung bereits bei geringen Schraubenkräften. Dadurch wird die Elastomerbeschichtung in die Oberflächenrauigkeit der Dichtflächen gedrückt (Microsealing). Die Verformung der Sicke selbst bewirkt die Anpassung an die Dichtflächen (Macrosealing) und verleiht der Dichtung rückfedernde Eigenschaften, die sonst im System der Verschraubung konstruktionsbedingt nicht vorhanden sind. Vorteile von KLINGERSafe-loc:

- Nicht überpressbar
- Dicht bereits bei geringen Anzugsmomenten
- Selbstzentrierend
- Kein Aushärten und Setzen
- Ideal für Betrieb unter Temperaturwechsellast bis ca. 150°C
- Sehr gut geeignet für Verschraubungen in Hydraulik- und Pneumatik-Anwendungen

Zu beachten ist, dass es sich bei KLINGERSafe-loc um werkzeugfallende Fertigteildichtungen handelt. Zurzeit ist für jede Zollgewinde-Abmessung eine Standard-Dichtungsgeometrie verfügbar (**Bild 10**). Im Prinzip sind beliebige Abmessungen möglich, sie erfordern jedoch jeweils eigene Werkzeuge, so dass eine Wirtschaftlichkeit erst ab einer gewissen Stückzahl gegeben ist.

Liefergrößen				
Gewinde	Abmessung [mm]		Dichtungsbreite	Wirkdicke
	d1	d2		
G 3/8"	15,0	9,0	6,0	2,0
G 1/2"	18,5	11,0	7,5	2,0
G 3/4"	24,0	16,0	8,0	2,0
G 1"	30,0	23,0	7,0	2,7
G 1 1/4"	38,5	29,0	9,5	2,7
G 1 1/2"	44,5	32,0	12,5	2,7
G 2"	56,0	42,0	14,0	2,7

Bild 10: Geometrie KLINGERSafe-loc

FAZIT

Die sichere Abdichtung von Verschraubungen mit Flachdichtungen erfordert die Beachtung unterschiedlicher Aspekte. Aufgrund der konstruktionsbedingt sehr ungünstigen Dichtungsgeometrie unterliegen Weichstoffdichtungen anderen Limitierungen als beim Einsatz als Flanschdichtung. Sowohl der anforderungsgerechten Bauteilgestaltung, als auch der korrekten Montage kommt eine besondere Bedeutung zu. Mit den bewährten Werkstoffen KLINGERSIL C-4400 und C-4430, KLINGERtop-chem 2000, sowie dem Spezialprodukt KLINGERSafe-loc, steht eine Palette von bewährten Werkstoffen für die verschiedenen Einsatzbereiche bei Verschraubungen zur Verfügung.

LITERATURHINWEISE

- [1] Weimer, N.: Druckstandfeste PTFE-Materialien für schmalrandige Dichtungen. Tagungsband 15. ISC in Stuttgart, VDMA (2008-10)
- [2] DVGW vorläufige Prüfgrundlage VP 401: Höher thermisch belastbare Dichtungen für Verschraubungen und Flansche in Verbindung mit Gaszählern und Druckregelgeräten, 1998-10
- [3] Kockelmann, H.: Leckageraten von Dichtungen für Flanschverbindungen: Einflussgrößen, Anforderungen, messtechnische Erfassung und leckageratenbezogene Dichtungskennwerte. Chemie Ingenieur Technik (68), VCI Verlagsgesellschaft 1996
- [4] Abt, W.: Sichere Montage von Verschraubungsdichtungen. Dichtungstechnik Jahrbuch 2011, Isgatec, Mannheim
- [5] DIN 3858 „Whitworth-Gewinde für Rohrverschraubungen – Zylindrisches Innengewinde und kegeliges Außengewinde - Maße“ (2005-08)

ACHEMA 2015

Halle 8.0, Stand B04

Autor



DIPL.-ING. (FH) WOLFGANG ABT

KLINGER GmbH

65510 Idstein

Tel.: +49 6126 4016-35

wolfgang.abt@klinger.de