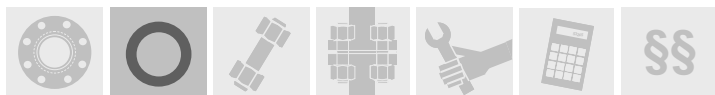


• Technische Information



• Kammprofildichtungen nach DIN EN 1514-6/ DIN EN 12560-6

Kammprofildichtungen sind Metall-Weichstoff-Dichtungen und hochwertige Dichtelemente. Sie werden häufig, bei hohem Betriebsdruck, kritischem Medium und gewünschter niedriger Leckrate eingesetzt. Als Dichtelemente sind sie genormt in der **DIN EN 1514-6:2004-03** [1] für Flansche nach DIN EN 1092-1:2018-12 [3] und für Flansche nach ASME B16.5 [4] und B16.47 [5] bzw. DIN EN 1759-1:2005-02 [6] in der **DIN EN 12560-6:2004-03** [2].

In der folgenden Untersuchung wird überprüft, ob die Normung ihren Ansprüchen nach DIN 820-1 [7], Abschnitt 7.2 der Normung nach Stand von Wissenschaft und Technik gerecht wird. Bei der genauen Betrachtung fällt auf, dass das genormte Profil fehlerhaft bezeichnet und auch drehtechnisch nicht herstellbar ist.

Auszug und Abbildung aus den Normen:

Zitat:

Abschnitt 5.9 Typische Ausführung

Angaben für allgemein übliche Ausführungen in Bild 2:

a	Dicke des Metallkerns	4,0 mm
b	Kammprofiltiefe	0,4 mm
c	Dicke des Zentrierrings	0,5 mm
d	Dicke der Weichstoffauflage	0,5 mm
e	Breite der Kammprofilspitze	0,1 mm

Zitatende

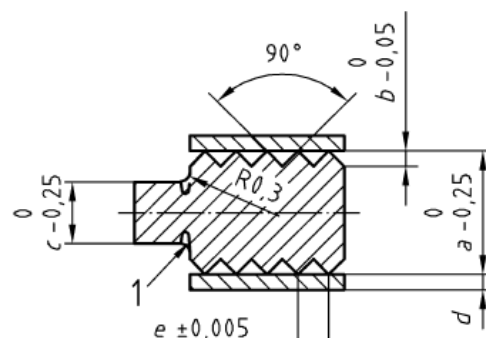


Bild 2
Auszug der DIN EN 1514-6 und DIN EN 12560-6

Anmerkungen:

- Das Kammprofil ist so nicht herstellbar!
Im Kammprofilgrund gibt es keine Angabe über einen Radius, dieser Radius ist fertigungstechnisch erforderlich und liegt bei den meisten Herstellern zwischen 0,3 und 0,4 mm
- Die Zeichnung beinhaltet einen Fehler!
Die Toleranzangabe „ $e \pm 0,005$ “ zeigt in der Abbildung den Abstand zweier Kämme und nicht wie aufgelistet die Breite der Kammprofilspitze e .
- Ein weiterer Fehler ist die Festlegung der Dicke des Zentrierringes c mit 0,5 mm bei einer Toleranz $+0/-0,25$. Das ist zu dünn es droht zusätzliche Exzentrizität bei der Montage, weil die Zentrierringe in die Schraubengewinde ragen können.
- Die Vorgabe der Dicke ist ein Fehler!
- Die Dicke der Weichstoffauflage wird mit 0,5 mm festgelegt. Üblich sind Grafit oder PTFE, diese haben aber ein sehr stark unterschiedliches Kompressionsverhalten, das gleiche Profil zu verwenden macht also keinen Sinn

Es stellt sich die Frage, wie die Hersteller von Dichtelementen dieses Problem lösen. Es ist kein Hersteller bekannt, der die Normvorgaben umsetzt.

Hersteller 1

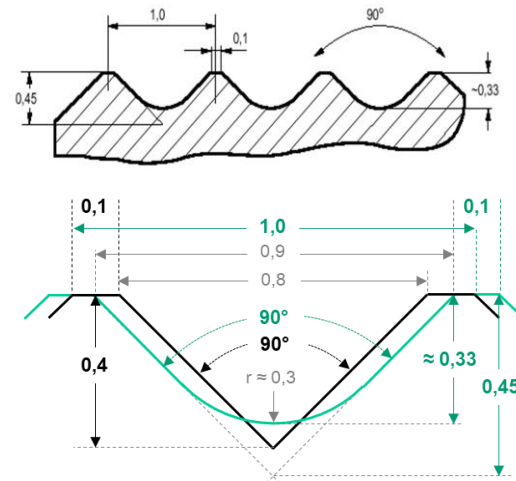
Dieser Hersteller gibt einen Kammabstand von 1,0 mm in seinen Unterlagen vor und macht keine weiteren Angaben zum Profil. Der theoretische Abstand vom Profil nach der Norm ist 0,9 mm.

Hersteller 2

Abbildung aus Prospekt
Kammprofilabdichtungen
„Kammprofilierte Dichtungen
mit Standardprofil“ des Herstellers 2

Beim Vergleich stellt man fest, dass sich das gewählte Profil dieses Herstellers deutlich von den Vorgaben der Normen unterscheidet.

Das offene Volumen der Kämme liegt mit 0,183 mm² um 14,4 % über dem der Normen mit 0,16 mm². Der Querschnitt der zu verpressenden Grafitfolie (0,5 mm, Dichte 1,0) liegt mit 0,50 mm² um 11,1% höher als der der Normen mit 0,45 mm².



—	Profil DIN EN 1514-6/ DIN EN 12560-6
0,1; 0,4; 90°	Vorgabe DIN EN 1514-6/ DIN EN 12560-6
—	Profil Hersteller 2
0,1; 1,0; 90°; ≈ 0,33; 0,45	Vorgabe Hersteller 2
0,9; 0,8; r ≈ 0,3	ergänzende Angaben

Achtung! Das Profil nach DIN EN 1514-6/ DIN EN 12650-6 mit einem Radius $r = 0$ ist zerspannungstechnisch nicht herstellbar.

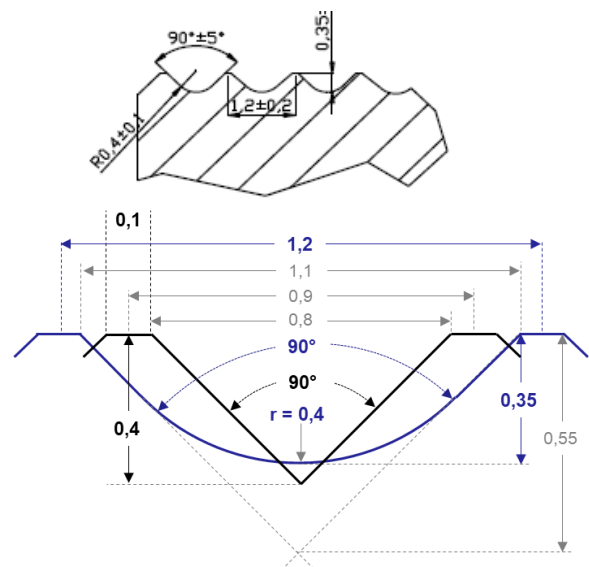
Hersteller 3

Abbildung ist eine Kopie aus der Werksnorm des Herstellers.

Beim Vergleich stellt man fest, dass das Profil des Herstellers sich deutlich von den Vorgaben der Normen unterscheidet.

Das offene Volumen der Kämme liegt mit 0,265 mm² um über dem der Normen mit 0,16 mm². Der Querschnitt der zu verpressenden Grafitfolie (0,5 mm, Dichte 1,0) liegt mit 0,60 mm² ebenfalls höher als, dass der Normen mit 0,45 mm².

Das Dichtungsprofil der Kammprofilabdichtung des Herstellers 3 zeigt trotz größerer Abweichungen die besten Werte für Setzverhalten (P_{QR} -Wert) und Leckrate nach DIN EN 13555 [8].



—	Profil DIN EN 1514-6/ DIN EN 12560-6
0,1; 0,4; 90°	Vorgabe DIN EN 1514-6/ DIN EN 12560-6
—	Profil Hersteller 3
1,2; 90°; r = 0,4; 0,35	Vorgabe Hersteller 3
1,1; 0,9; 0,8; 0,55	ergänzende Angaben

Achtung! Das Profil nach DIN EN 1514-6/ DIN EN 12650-6 mit einem Radius $r = 0$ ist zerspannungstechnisch nicht herstellbar.

Art der Zentrierung

Die Art der Zentrierung, des Zentrierringes wird in der DIN EN 1514-6:2003-03 genormt. Die seit Jahrzehnten übliche Form des Zentrierringes mit der Sollbruchnut wird in der Norm nicht erwähnt. Es gibt die Form NR: Dichtungselement ohne Zentrierring, die Form IR: Dichtungselement mit integrierter Zentrierung und Form LR: Dichtungselement mit losem Zentrierring. Die Form LR und IR sowie die Ausführung mit Zentrierring mit Sollbruchnut sind in der folgenden Abbildung (Abb.1) dargestellt.

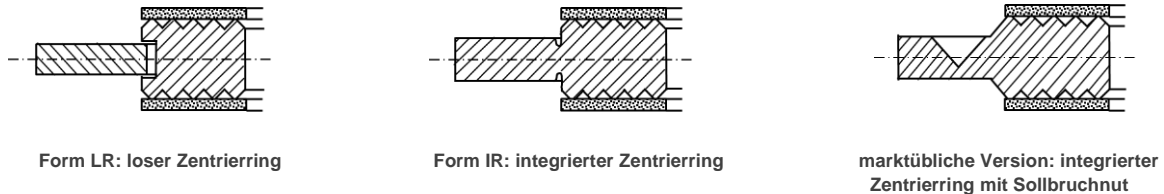


Abb.1: Form und Art der Zentrierringe
© Peter Thomsen, D-28211 Bremen

Folgende Festlegungen sind in der Norm getroffen:

- Die Dicke des integrierten Zentrierrings (Form IR) muss mindestens 0,5 mm betragen. Der Zentrierring muss zumindest auf einer Seite hinterschnitten sein, damit die Dichtung geschützt ist, wenn bei Wärmedehnung des Zentrierrings und der Schrauben der Flanschverbindung ein Übermaß auftritt.
- Die Dicke des losen Zentrierrings (Form LR) muss mindestens 0,5 mm betragen. Im eingebauten Zustand muss der Zentrierring so locker in der Zentrieröffnung im Metallkern liegen, dass er auch bei Wärmedehnungen auf keinen Fall in der Zentrieröffnung festsetzt. Der Zentrierring kann aus Segmenten bestehen, die rund um den Metallkern zusammengebaut werden. Die Segmente des montierten Ringes müssen entweder zusammengeschweißt oder auf eine andere Weise fest zusammengefügt werden. Der Werkstoff für den losen Zentrierring darf unlegierter Stahl sein.

Die Argumentation zur Wärmeausdehnung macht wegen der relativ großen Toleranzen wenig Sinn. Der wichtigste Grund für die Ausführung der genormten Version LR mit losem Zentrierring und der marktüblichen Version mit der Sollbruchnut im Zentrierring, ist in der Norm nicht erwähnt. In den siebziger Jahren des 20. Jahrhunderts ist es, nachdem sich Dichtelemente mit Kammprofil immer mehr durchsetzen, durch sich im Betrieb aufschwingende und das Dichtelement zerstörende, integrierte Zentrierringe zu schweren, sogar tödlichen Unfällen gekommen. Besonders gefährdet sind die Dichtelemente, wegen der breiten Zentrierringe in den ASME-Flanschen (früher ANSI-Flansche). Sowohl der lose Zentrierring als auch die Version mit der Sollbruchnut verhindern diese Schäden. Die Sollbruchnut bricht bei kritischen Schwingungen den Zentrierring von dem Dichtelement ab, so dass dieses nicht durch Schwingungen zerstört wird. In den neunziger Jahren sind die schweren Unfälle und Todesfälle, durch Billigimporte von Kammprofildichtungen ohne Sollbruchnut, wieder aufgetreten.

Kennzeichnung und Rückverfolgbarkeit

Dichtelemente sind sicherheitsrelevant und wichtigste drucktragende Bauteile. Sie bilden eine Wandung zwischen Medium und Umwelt, sind wichtig für die Integrität des Druckgerätes und können bei Versagen zu plötzlicher Freisetzung von, unter Druck stehenden, Medium führen.

Die Normen enthalten keine entsprechenden Hinweise zur entsprechend, erforderlichen Kennzeichnung zur Rückverfolgbarkeit und zum Nachweis der Güteeigenschaften durch Abnahmeprüfzeugnisse.

Relaxations- und Kriechverhalten - Vergleich der P_{QR}-Werte verschiedener Hersteller

Die Hersteller veröffentlichen ihre Dichtungskennwerte in der Datenbank „www.gasketdata.org“ [9]. Die P_{QR}-Werte bestimmen den Verlust an Flächenpressung aus dem Test nach DIN EN 13555 [8] bei der genannten Flächenpressung und Prüftemperatur. Je höher der Wert, umso niedriger der Vorspannkraftverlust (Setzen der Dichtung) im Betrieb. Die folgenden Tabellen stellen einen Vergleich mit Grafitauflagen (Tab.1) und PTFE-Auflagen (Tab.2) dar.

Tab.1: Vergleich der P _{QR} -Werte verschiedener Dichtungshersteller für Kammprofildichtungen mit Grafitauflagen, Quelle: www.gasketdata.org ^{A)} © Peter Thomsen, D-28211 Bremen				
Flächen- pressung	Hersteller	Messtemperatur		
		Raumtemperatur	200°C	400°C ¹⁾
		P _{QR} -Wert / Vorspannkraftverlust	P _{QR} -Wert / Vorspannkraftverlust	P _{QR} -Wert / Vorspannkraftverlust
30 MPa	Hersteller 1	0,94 / 6%	0,72 / 28%	0,53 / 47%
	Hersteller 2	0,98 / 2%	0,81 / 19%	0,91 ³⁾ / 9%
	Hersteller 3	0,97 / 3%	0,93 / 7%	0,86 / 14%
90 MPa ²⁾	Hersteller 1	0,99 / 1%	0,90 / 10%	0,81 / 19%
	Hersteller 2	0,99 / 1%	0,99 / 1%	0,84 / 16%
	Hersteller 3	1,00 / 0%	0,98 / 2%	0,97 / 3%

^{A)} Vorspannkraftverluste ≤ 10% sind grün, ≤ 20% sind orange und > 20% sind rot hinterlegt
¹⁾ Hersteller 2 hat bei 300 °C gemessen und veröffentlicht
²⁾ Hersteller 3 hat bei 100 MPa Flächenpressung gemessen
³⁾ der Wert ist nicht plausibel, ggfs. ein Schreibfehler? wird aus diesem Grund nicht gewertet

Tab.2: Vergleich der P _{QR} -Werte verschiedener Dichtungshersteller für Kammprofildichtungen mit PTFE-Auflagen, Quelle: www.gasketdata.org ^{A)} © Peter Thomsen, D-28211 Bremen					
Flächen- pressung	Hersteller	Messtemperatur			
		Raumtemperatur	100°C ¹⁾	200°C ¹⁾	250 °C ¹⁾
		P _{QR} -Wert / Vorspannkraftverlust	P _{QR} -Wert / Vorspannkraftverlust	P _{QR} -Wert / Vorspannkraftverlust	P _{QR} -Wert / Vorspannkraftverlust
50 MPa	Hersteller 1				
	Hersteller 2				
	Hersteller 3	0,95 / 5%	0,99 / 1%	0,99 / 1%	1,00 / 0%
90 MPa ²⁾	Hersteller 1				
	Hersteller 2	0,99 / 1%	0,84 / 16%	0,83 / 17%	0,63 / 37%
	Hersteller 3	0,99 / 1%	0,92 / 8%	0,92 / 8%	0,94 / 6 %
180 MPa	Hersteller 1				
	Hersteller 2	0,98 / 2%	0,86 / 14%	0,83 / 17%	0,80 / 20%
	Hersteller 3				

^{A)} Vorspannkraftverluste ≤ 10% sind grün, ≤ 20% sind orange und > 20% sind rot hinterlegt
¹⁾ Hersteller 3 hat bei 150 °C und 230 °C gemessen und veröffentlicht
²⁾ Hersteller 3 hat bei 100 MPa Flächenpressung gemessen
³⁾ der Wert ist nicht plausibel, ggfs. ein Schreibfehler? wird aus diesem Grund nicht gewertet

Die Werte mit einem Vorspannkraftverlust $\leq 10\%$ wurden positiv mit grün bewertet, die Werte mit einem Vorspannkraftverlust von $\geq 10 - \leq 20\%$ wurden mit orange und mit einem Vorspannkraftverlust $> 20\%$ mit rot bewertet. Es fällt auf, dass zum Teil erhebliche Vorspannkraftverluste mit zum Teil sogar bis 28% oder 47% ermittelt wurden, diese sind rot hinterlegt gekennzeichnet.

Außerdem fällt auf, dass insbesondere bei Kammprofildichtungen mit PTFE-Auflagen die Messpunkte stark streuen. Hersteller 1 veröffentlicht keine Werte für Dichtelemente mit PTFE-Auflagen. Offensichtlich hat Hersteller 3, wegen der, gegenüber dem Wettbewerb, deutlich niedrigeren Vorspannverlust eine intelligente Lösung für die PTFE-Auflage gefunden. Er verwendet ePTFE mit einem ähnlichen Kompressionsverhalten wie Grafit und reagiert so auf die Normenvorgabe.

Da die Hersteller keine Angabe über die Klebermenge machen, lassen die Werte die Vermutung zu, dass der höhere Abfall der Vorspannkraft auch in Zusammenhang mit dem Kleber, bzw. seiner Menge zu tun hat.

Es wäre wünschenswert, dass für die Veröffentlichungen der Messwerte einheitliche Kriterien vorgelegt werden. Da diese Werte in die Flanschberechnung nach DIN EN 1591-1 [10] eingehen und individuell angepasst werden, entstehen erhebliche Zweifel an der Aussagekraft der Berechnungsergebnisse.

Leckraten von Kammprofildichtungen verschiedener Hersteller

Die Dichtungshersteller veröffentlichen diese Werte der Leckraten ebenfalls in der Datenbank „www.gasketdata.org“. Hier fallen deutliche Streuungen auf, die mit dem tatsächlichen Profil, der Klebermenge und dem Werkstoff der Auflage sowie seiner Dichte im Zusammenhang stehen müssen.

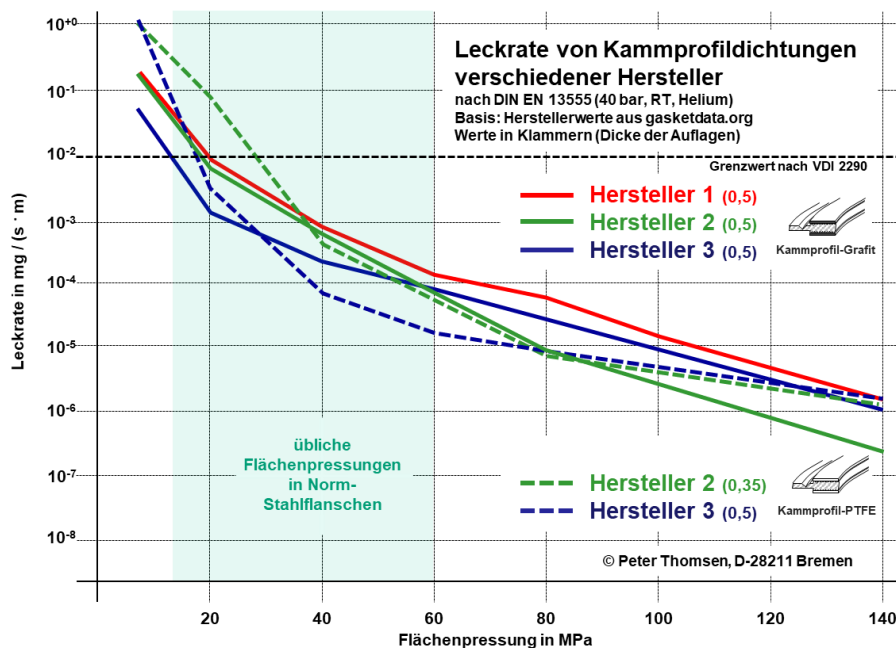


Abb.2: Leckgeraten der verschiedenen Kammprofildichtelemente

Im Bereich der üblichen Flächenpressungen in Normflanschverbindungen aus Stahl, sind die Leckraten der Kammprofildichtelemente mit Grafitauflagen des Herstellers 3 um ca. die Hälfte, bis zu ca. einem Zehntel niedriger als die der anderen Hersteller. Bei höheren Flächenpressungen sind die Dichtungen von Hersteller 2 am dichtesten (siehe Abb.2).

Bei Kammprofildichtungen mit PTFE-Auflagen sind im Bereich der üblichen Flächenpressungen die Leckraten bei Hersteller 2 um das doppelte bis eineinhalbfache höher als bei Hersteller 3.

Zusammenfassung

Es fällt auf, dass die Kammprofil-Dichtelemente der verschiedenen Hersteller deutliche Unterschiede zeigen. Der Betreiber ist gefordert, sich die technisch beste Dichtung auszusuchen, um die Anforderungen an den Stand der Technik, Minimierung schädlicher Emissionen und auf Dauer technisch dichter Flanschverbindungen zu erfüllen. Ein Dichtelement mit hohem Relaxationsverhalten kann keine, im Sinne technischer, chemischer und physikalischer Eigenschaften, auf Dauer technisch dichte Verbindung erzeugen. Sie verursacht regelmäßige Prüfung, Kontrolle und ggfs. Wartung, bzw. Reparatur und Austausch.

Weitere Faktoren für das Verhalten der Dichtungen sind die unbekanntenen, unterschiedlich verwendeten Mengen des Klebers und die Frage der Grafitqualität in Bezug auf Reinheit, 98 oder 99,85% und ggfs. verwendete Imprägnierungen. Es ist eindeutig, dass diese Substanzen einen starken Einfluss auf Dichtheit und Relaxationsverhalten der Dichtung haben. Vermutlich resultieren hier die extremen Unterschiede bei den P_{QR} -Werten.

Es würde sich im Sinne von Vergleichbarkeit sowie Arbeits-, Umwelt- und Kostenminimierungsgründen empfehlen, ein Kammprofildichtelement, auch in Bezug auf die Auflagedicke so zu normen, dass das beste Profil und damit Dichtelement dabei herauskommt. Dieses hätte die besten technischen Eigenschaften und könnte von allen Herstellern produziert werden. Die daraus resultierenden einheitlichen Werte würden die auf das Dichtungselement eines jeweiligen Herstellers bezogenen, erforderlichen rechnerischen Nachweise überflüssig machen. Die Kennwerte könnten zum Segen aller Beteiligten in die Norm mit aufgenommen werden. Dies ist z. B. bei Verbindungselementen Jahrhunderte alte gelebte und bewährte Praxis.

Der Autor hat sich mit entsprechenden Bemühungen und Vorschlägen in der Normung die letzten 15 Jahre vergeblich bemüht, obwohl diese Normierungsarbeit eine Verbesserung der Qualität und Vergleichbarkeit, wie auch Betriebssicherheit der Dichtelemente und damit zu einem elementaren Nutzen für den Betreiber führen würde, zu erreichen.

Anmerkung:

Bei der Verwendung von PTFE sind die Anforderungen aus dem Kreislaufwirtschaftsgesetz (KrWG) [11] nach Vermeidung, Minimierung oder Recycelfähigkeit schädlicher Stoffe zu beachten. Der Werkstoff ist bisher nicht im industriellen Maßstab recycelfähig. Bei externem Brand verursacht er Umwelt- und Gesundheitsschäden und fällt damit unter das Vermeidungs- und Minimierungsgebot des Arbeitsschutzgesetzes (ArbSchG) [12], der Betriebssicherheitsverordnung (BetrSichV) [13], den technischen Regeln zur Betriebssicherheit, z.B. TRBS 2141 [14] und TRBS 2151-2/TRGS 722 [15] und des Bundesimmissionsschutzgesetz (BImSchG) [16].

Dichtungen, übrigens auch Schrauben/Muttern, sind sicherheitsrelevante Bauteile und keine C-Artikel. Bei der richtigen Auswahl und der Erstellung von technischen Bestellvorschriften (TBV) die dem aktuellen Standard der Regelwerke entsprechen, unterstütze ich Sie gerne.

Die Dichtverbindungen sind sehr komplexe Systeme, Informationen über ihre Funktion, Anforderungen, Bauteile (Flansche, Schrauben/Muttern, Dichtungen) und Montage schule ich auf Wunsch ganz speziell Ihren persönlichen Bedürfnissen angepasst bei Ihnen vor Ort.

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 25.03.2022

Quellenverzeichnis

- [1] DIN EN 1514-6:2004-03 Flansche und ihre Verbindungen - Maße für Dichtungen für Flansche mit PN-Bezeichnung - Teil 6: Kammprofildichtungen für Stahlflansche
- [2] DIN EN 12560-6:2004-03 Flansche und ihre Verbindungen - Dichtungen für Flansche mit Class-Bezeichnung - Teil 6: Kammprofildichtungen für Stahlflansche
- [3] DIN EN 1092-1:2018-12 Flansche und ihre Verbindungen - Runde Flansche für Rohre, Armaturen, Formstücke und Zubehörteile, nach PN bezeichnet - Teil 1: Stahlflansche
- [4] ASME B16.5:2020 Pipe Flanges and Flanged Fittings: NPS 1/2 through NPS 24, Metric/Inch Standard
- [5] ASME B16.47:2020 Large Diameter Steel Flanges: NPS 26 through NPS 60, Metric/Inch Standard
- [6] DIN EN 1759-1:2005-02 Flansche und ihre Verbindungen - Runde Flansche für Rohre, Armaturen, Formstücke und Zubehörteile, nach Class bezeichnet - Teil 1: Stahlflansche, NPS bis 24
- [7] DIN 820-1:2014-06 Normungsarbeit - Teil 1: Grundsätze
- [8] DIN EN 13555:2021-04 Flansche und ihre Verbindungen - Dichtungskennwerte und Prüfverfahren für die Anwendung der Regeln für die Auslegung von Flanschverbindungen mit runden Flanschen und Dichtungen
- [9] Datenbank für Dichtungskennwerte „www.gasketdata.org“, Dienst der FH Münster, Center of Science Technologies, D-48565 Steinfurt, Konzeption, technische Umsetzung und Betreuung: GAIST GmbH, D-48565 Steinfurt
- [10] DIN EN 1591-1 Flansche und ihre Verbindungen - Regeln für die Auslegung von Flanschverbindungen mit runden Flanschen und Dichtung - Teil 1: Berechnung
- [11] Gesetz zur Förderung der Kreislaufwirtschaft und Sicherung der umweltverträglichen Bewirtschaftung von Abfällen (Kreislaufwirtschaftsgesetz - KrWG), Ausfertigungsdatum: 24.02.2012
- [12] Gesetz über die Durchführung von Maßnahmen des Arbeitsschutzes zur Verbesserung der Sicherheit und des Gesundheitsschutzes der Beschäftigten bei der Arbeit (Arbeitsschutzgesetz - ArbSchG), Ausfertigungsdatum: 07.08.1996
- [13] Verordnung über Sicherheit und Gesundheitsschutz bei der Verwendung von Arbeitsmitteln (Betriebssicherheitsverordnung - BetrSichV), Ausfertigungsdatum: 03.02.2015
- [14] TRBS 2141 Technische Regeln für Betriebssicherheit Gefährdungen durch Dampf und Druck Ausgabe: März 2019
- [15] TRBS 2151-2/TRGS 722 Technische Regeln für Betriebssicherheit/ Gefahrstoffe - Vermeidung oder Einschränkung gefährlicher explosionsfähiger Atmosphäre, Ausgabe: März 2012
- [16] Gesetz zum Schutz vor schädlichen Umwelteinwirkungen durch Luftverunreinigungen, Geräusche, Erschütterungen und ähnliche Vorgänge (Bundes-Immissionsschutzgesetz - BImSchG), Ausfertigungsdatum: 15.03.1974