

**Berechnungsgrundlagen für die ermittelten
Anzugsmomente gemäß Anhang B**

Anhang C

1 Allgemeines

- Die betrachtete Temperatur beträgt gemäß Tabelle 2, sofern keine weiteren Einschränkungen gemacht werden, max. 400° C.
- Flanschwerkstoff P245GH
- Sechskantschrauben 25CrMo4 bis M20: Streuung 0,25 / ab M24: Streuung 0,15
Hinweis: Für die Berechnung ist es irrelevant, ob Schrauben oder Gewindestangen eingesetzt werden. Wichtig ist der Werkstoff des Verbindungselements.
- Zusatzlasten nach DIN EN 1092-1 nur im Betrieb, bei höheren Temperaturen im gleichen Umfang reduziert wie der zulässige Druck

Die durch diese Vorgehensweise berücksichtigten Reserven für äußere Lasten aus der DIN EN 1092-1 decken die mit den vereinfachten Verfahren (z.B. nach AD 2000-Merkblatt HP 100 R, DIN EN 13480-3 Anhang Q) zum Nachweis einer spannungsarmen Verlegung der Rohrleitung erforderlichen Auslastungsreserven für Kräfte und Momente ab. Für Rohrleitungen, die mit vereinfachten Verfahren nicht nachgewiesen werden können, sind rohrstatische Berechnungen erforderlich. Sollten sich hierbei höhere Zusatzlasten ergeben, sind Einzelfallbetrachtungen notwendig.

- Schmierung mit MoS2 oder gleichwertig. Bei der Berechnung wird ein mittlerer Reibwert von 0,13 verwendet.
- Verwendung von gehärteten Unterlegscheiben (zur Reduzierung der Reibung und zur Verringerung der Streuung beim Anziehen)
- Die Dichtung muss bei einem Q_A -Wert von 30 MPa mindestens einen P_{QR} -Wert von 0,75 bei Raumtemperatur und 0,45 bei maximaler Betriebstemperatur haben. Der Q_{smax} -Wert muss bei Raumtemperatur mindestens 150 MPa betragen, bei Spiral- und Kammprofilabdichtungen 170 MPa.

In DIN EN 13555 Ausgabe 2014 (Bild 2) wurde für die Q_{smax} -Ermittlung das „Eindringen“ als neues Ausfallkriterium eingeführt. Dies führt zu massiv reduzierten Q_{smax} -Werten, mit denen in der Praxis in vielen Fällen nicht mehr gerechnet werden kann. Daher sind für PTFE-Dichtungen die Q_{smax} -Werte nach DIN EN 13555 Ausgabe 2005 zur ermitteln. Voraussetzung ist, dass die Dichtungsdatenblätter Kennwerte bis Q_{smax} enthalten. Dieses Vorgehen ist sicherheitstechnisch unbedenklich, da die hohen Flächenpressungen an der Innenseite der Dichtung z. B durch die Flanschblattneigung nicht erreicht werden können.

- Der E-Modul der Dichtung muss bei einer Flächenpressung von 60 MPa und Raumtemperatur mindestens 1000 MPa betragen.
- Die Dichtheitsklasse L 0,01 muss bei einem Q_A -Wert von höchstens 30 MPa bei 40 bar erreicht werden. Dabei darf der erforderliche $Q_{smin(L)}$ -Wert nicht größer als 10 MPa sein.
- Kammprofilabdichtung / Spiraldichtung (gleiche Anforderungen wie sonstige Flachdichtungen)
- Anstelle von Spießblecheinlagen können bei Grafit alternativ auch Klettblech-, Streckmetall- oder Glattblecheinlagen und Metallfolien eingesetzt werden.
- Toleranzen und Korrosionszuschlag wurden nicht berücksichtigt.

Es wurden die dem Druck angepassten Q_A und $Q_{smin(L)}$ verwendet.

Werden Flanschwerkstoffe bzw. Schraubenwerkstoffe mit höherer nominaler Festigkeit (Streckgrenze) verwendet, so sind die Anzugsmomente abgedeckt.

Berechnet wurden nur Flansche aus P245GH mit Sechskantschrauben aus 25CrMo4, da Musterberechnungen gezeigt haben, dass trotz höherer Ratingdrücke damit die höherwertigen Werkstoffqualitäten abgedeckt werden.

Bei der Berechnung wurden die p/t-Ratings der DIN EN 1092-1 Entwurf 2005 gemäß Tabelle 1 zugrunde gelegt. Die Werte der DIN EN 1092-1 Ausgabe 2008 sind geringfügig niedriger und damit abgedeckt.

Tabelle 1 — p/t-Ratings von Standardwerkstoffen nach DIN EN 1092-1 Entwurf 2005

P245GH (Werkstoffgruppe 3E0)						
Temp. [°C]	PN 10	PN 16	PN 25	PN 40	PN 63	PN 100
20	10,0	16,0	25,0	40,0	63,0	100,0
100	8,5	13,7	21,4	34,2	54,0	85,7
150	8,3	13,3	20,8	33,3	52,5	83,3
200	7,8	12,5	19,6	31,4	49,5	78,5
250	7,2	11,6	18,2	29,1	45,9	72,8
300	6,4	10,2	16,0	25,7	40,5	64,2
350	6,1	9,9	15,4	24,7	39,0	61,9
400	5,7	9,1	14,2	22,8	36,0	57,1
1.4541 (Werkstoffgruppe 12E0)						
Temp. [°C]	PN 10	PN 16	PN 25	PN 40	PN 63	PN 100
20	10,0	16,0	25,0	40,0	63,0	100,0
100	9,9	15,8	24,7	39,6	62,4	99,0
150	9,3	14,9	23,3	37,3	58,8	93,3
200	8,8	14,1	22,1	35,4	55,8	88,5
250	8,4	13,4	21,0	33,7	53,1	84,2
300	7,9	12,7	19,8	31,8	50,1	79,5
350	7,6	12,2	19,1	30,6	48,3	76,6
400	7,4	11,8	18,5	29,7	46,8	74,2
1.4571 (Werkstoffgruppe 15E0)						
Temp. [°C]	PN 10	PN 16	PN 25	PN 40	PN 63	PN 100
20	10,0	16,0	25,0	40,0	63,0	100,0
100	10,0	16,0	25,0	40,0	63,0	100,0
150	9,8	15,6	24,5	39,2	61,8	98,0
200	9,3	14,9	23,3	37,3	58,8	93,3
250	8,8	14,1	22,1	35,4	55,8	88,5
300	8,3	13,3	20,8	33,3	52,5	83,3
350	8,0	12,8	20,1	32,1	50,7	80,4
400	7,8	12,4	19,5	31,2	49,2	78,0
16Mo3 (Werkstoffgruppe 4E0)						
Temp. [°C]	PN 10	PN 16	PN 25	PN 40	PN 63	PN 100
20	10,0	16,0	25,0	40,0	63,0	100,0
100	10,0	16,0	25,0	40,0	63,0	100,0
150	10,0	16,0	25,0	40,0	63,0	100,0
200	10,0	16,0	25,0	40,0	63,0	100,0
250	9,2	14,8	23,2	37,1	58,5	92,8
300	8,0	12,9	20,2	32,3	51,0	80,9
350	7,6	12,1	19,0	20,4	48,0	76,1
400	7,1	11,4	17,8	28,5	45,0	71,4
1.4462 (Werkstoffgruppe 16E0)						
Temp. [°C]	PN 10	PN 16	PN 25	PN 40	PN 63	PN 100
20	10,0	16,0	25,0	40,0	63,0	100,0
100	10,0	16,0	25,0	40,0	63,0	100,0
150	10,0	16,0	25,0	40,0	63,0	100,0
200	10,0	16,0	25,0	40,0	63,0	100,0
250	10,0	16,0	25,0	40,0	63,0	100,0

2 Einschränkungen des Anwendungsbereiches bei einzelnen Dichtungen und Nennweiten

Für Flachdichtungen mit Grafit, Spiral- und Kammprofildichtungen mit Grafitauflage wurden die Berechnungen bis 400° C durchgeführt. Prinzipiell liegen vereinzelt auch Dichtungskennwerte bis 500 °C vor, jedoch sind dafür spezielle Schrauben erforderlich, so dass Temperaturen oberhalb 400 °C keine Standardanwendung in der chemischen und pharmazeutischen Industrie sind, die von einem derartigen Leitfaden abgedeckt werden könnten.

Die Berechnungen nach DIN EN 1591-1 ergeben folgende Einschränkungen, bei denen einige Flansche bei hohen Temperaturen überlastet sind:

Tabelle 2 — Anwendungseinschränkungen

PN-Stufe	Dichtungstyp	Bemerkung
PN 10	Metallarmierte Grafitdichtung	DN 600 nur bis 250° C DN 800 – DN 1000 nur bis 200° C, Eine FE - Berechnung zeigte jedoch, dass auch bei DN 1000 und 400° C keine unzulässigen Spannungen vorliegen. Da die höchsten Spannungen bei DN 1000 vorliegen sind auch DN 800 und 900 abgedeckt.
PN 10 N&F	Metallarmierte Grafitdichtung	DN 500 nur bis 300° C DN 600 nur bis 250° C
PN 16	Metallarmierte Grafitdichtung	DN 500 nur bis 200° C DN 600 – DN 1000: nur bis 150° C
	Spiraldichtung mit Grafit	DN 500 nur bis 250° C
	Kammprofil mit Grafit	DN 500 nur bis 350° C
PN 16 N&F	Metallarmierte Grafitdichtung	DN 500 nur bis 150° C DN 600 nur bis 100° C
PN 25	Metallarmierte Grafitdichtung	DN 600 nur bis 250° C DN 800 nur bis 50° C DN 1000 nur bis 50° C Eine FE-Berechnung zeigte jedoch, dass auch bei DN 1000 und 400° C keine unzulässigen Spannungen vorliegen. Da die höchsten Spannungen bei DN 1000 vorliegen sind auch DN 600 bis DN 900 abgedeckt.
PN 25 N&F	Metallarmierte Grafitdichtung	DN 600 nur bis 200° C
PN 40 N&F	Metallarmierte Grafitdichtung	DN 500 nur bis 350° C DN 600 nur bis 300° C
	Faserdichtungen	Bis 200 °C
	PTFE-Dichtung mit 10% Glaskugelanteil	Bis 150 °C
	PTFE-Dichtung mit 40% Glaskugelanteil	Bis 200 °C

Für die Dichtungsgruppen A und B wurden die Berechnungen für folgende PN–DN–Kombinationen durchgeführt:

2.1 Dichtungsgruppe A: Flachdichtungen

Tabelle 3 — Berechnungsnachweise für PN–DN¹–Stufen, Flachdichtungen

DN	PN 10		PN 16		PN 25		PN 40		PN 63		PN 100	
	Schrauben		Schrauben		Schrauben		Schrauben		Schrauben		Schrauben	
	Anzahl	Größe	Anzahl	Größe	Anzahl	Größe	Anzahl	Größe	Anzahl	Größe	Anzahl	Größe
25	4	M12	4	M12	4	M12	4	M12	4	M16	4	M16
40	4	M16	4	M16	4	M16	4	M16	4	M20	4	M24
50	4	M16	4	M16	4	M16	4	M16	4	M20	4	M24
80	8	M16	8	M16	8	M16	8	M16	8	M20	8	M27
100	8	M16	8	M16	8	M20	8	M20	8	M24	8	M27
125	8	M16	8	M16	8	M24	8	M24	8	M27	8	M30
150	8	M20	8	M20	8	M24	8	M24	8	M30	8	M30
200	8	M20	12	M20	12	M24	12	M27	12	M33	12	M33
250	12	M20	12	M20	12	M27	12	M30	12	M33	12	M36
300	12	M20	12	M24	16	M27	16	M30	16	M33	16	M39
350	16	M20	16	M24	16	M30	16	M33	16	M36	16	M45
400	16	M24	16	M27	16	M33	16	M36	16	M39	16	M45
450	20	M24	20	M27	20	M33	20	M36				
500	20	M24	20	M30	20	M33	20	M39				
600	20	M27	20	M33	20	M36	20	M45				
700	24	M27	24	M33	24	M39	24	M45				
800	24	M30	24	M36	24	M45	24	M52				
900	28	M30	28	M36	28	M52	28	M52				
1000	28	M33	28	M39	28	M52	28	M52				

ohne Innenbördel

mit Innenbördel

DIN- und EN-Flansche maßgleich

Flanschausführung mit Dichtheitsnachweis

2.2 Dichtungsgruppe B: Kammprofil- und Spiraldichtungen

Tabelle 4 — Berechnungsnachweise für PN–DN¹–Stufen, schmale Dichtungen

DN	PN 10		PN 16		PN 25		PN 40		PN 63		PN 100	
	Schrauben		Schrauben		Schrauben		Schrauben		Schrauben		Schrauben	
	Anzahl	Größe	Anzahl	Größe	Anzahl	Größe	Anzahl	Größe	Anzahl	Größe	Anzahl	Größe
25	4	M12	4	M12	4	M12	4	M12	4	M16	4	M16
40	4	M16	4	M16	4	M16	4	M16	4	M20	4	M24
80	8	M16	8	M16	8	M16	8	M16	8	M20	8	M27
100	8	M16	8	M16	8	M20	8	M20	8	M24	8	M27
125	8	M16	8	M16	8	M24	8	M24	8	M27	8	M30
150	8	M20	8	M20	8	M24	8	M24	8	M30	8	M30
200	8	M20	12	M20	12	M24	12	M27	12	M33	12	M33
250	12	M20	12	M20	12	M27	12	M30	12	M33	12	M36
300	12	M20	12	M24	16	M27	16	M30	16	M33	16	M39
350	16	M20	16	M24	16	M30	16	M33	16	M36	16	M45
400	16	M24	16	M27	16	M33	16	M36	16	M39	16	M45
450	20	M24	20	M27	20	M33	20	M36				
500	20	M24	20	M30	20	M33	20	M39				
600	20	M27	20	M33	20	M36	20	M45				
700	24	M27	24	M33	24	M39	24	M45				
800	24	M30	24	M36	24	M45	24	M52				
900	28	M30	28	M36	28	M52	28	M52				
1000	28	M33	28	M39	28	M52	28	M52				

¹ Bei Nennweiten < DN 25 können die gleichen Anzugsmomente wie bei DN 25 verwendet werden.

2.3 Dichtungsgruppe B: Nut-Feder-Flansche, Flachdichtungen

Tabelle 5 — Berechnungsnachweise für PN-DN¹-Stufen, Nut-Feder-Flansche, Flachdichtungen

DN	PN 10		PN 16		PN 25		PN 40		PN 63		PN 100	
	Schrauben		Schrauben		Schrauben		Schrauben		Schrauben		Schrauben	
	Anzahl	Größe	Anzahl	Größe	Anzahl	Größe	Anzahl	Größe	Anzahl	Größe	Anzahl	Größe
25	4	M12	4	M12	4	M12	4	M12	4	M16	4	M16
40	4	M16	4	M16	4	M16	4	M16	4	M20	4	M24
50	4	M16	4	M16	4	M16	4	M16	4	M20	4	M24
80	8	M16	8	M16	8	M16	8	M16	8	M20	8	M27
100	8	M16	8	M16	8	M20	8	M20	8	M24	8	M27
125	8	M16	8	M16	8	M24	8	M24	8	M27	8	M30
150	8	M20	8	M20	8	M24	8	M24	8	M30	8	M30
200	8	M20	12	M20	12	M24	12	M27	12	M33	12	M33
250	12	M20	12	M20	12	M27	12	M30	12	M33	12	M36
300	12	M20	12	M24	16	M27	16	M30	16	M33	16	M39
350	16	M20	16	M24	16	M30	16	M33	16	M36	16	M45
400	16	M24	16	M27	16	M33	16	M36	16	M39	16	M45
450	20	M24	20	M27	20	M33	20	M36				
500	20	M24	20	M30	20	M33	20	M39				
600	20	M27	20	M33	20	M36	20	M45				
700	24	M27	24	M33	24	M39	24	M45				
800	24	M30	24	M36	24	M45	24	M52				
900	28	M30	28	M36	28	M52	28	M52				
1000	28	M33	28	M39	28	M52	28	M52				

Änderungsvermerk

Gegenüber der letzten Ausgabe wurden folgende Änderungen vorgenommen

- a) Hinweis zu QS_{max}-Wert Ermittlung ergänzt.

¹ Bei Nennweiten < DN 25 können die gleichen Anzugsmomente wie bei DN 25 verwendet werden.