

**Leitfaden
zur Montage von Flanschverbindungen in
verfahrenstechnischen Anlagen**

Frankfurt am Main, August 2011

Verantwortliches Handeln

Der VCI unterstützt die weltweite Responsible-Care-Initiative



Ansprechpartner:

Verband der Chemischen Industrie e.V.

Mainzer Landstraße 55, 60329 Frankfurt, Internet: <http://www.vci.de>

Thilo Höchst, Tel.: +49 69 2556-1507, Fax: +49 69 2556-1607, E-Mail: hoechst@vci.de

Dieser VCI-Leitfaden *zur Montage von Flanschverbindungen in verfahrenstechnischen Anlagen* entbindet in keinem Fall von der Verpflichtung zur Beachtung der gesetzlichen Vorschriften. Der Leitfaden wurde mit großer Sorgfalt erstellt. Dennoch übernehmen die Verfasser und der VCI keine Haftung für die Richtigkeit der Angaben, Hinweise, Ratschläge sowie für eventuelle Druckfehler. Aus etwaigen Folgen können deswegen keine Ansprüche, weder gegen den Verfasser noch gegen den VCI, geltend gemacht werden. Dies gilt nicht, wenn die Schäden vom Verfasser, dem VCI oder seinen Erfüllungsgehilfen vorsätzlich oder grob fahrlässig verursacht wurden.

Leitfaden zur Montage von Flanschverbindungen in verfahrenstechnischen Anlagen

Dieses Dokument wurde von den Firmen

BASF SE
Bayer Technology Services GmbH
Dow Olefinverbund GmbH
Evonik Degussa GmbH
FH Münster
IBM Deutschland GmbH

IGR e.V. Mitgliedsfirmen (BIS TSG Industrieservice,
Clariant, Vinnolit, TÜV Süd Chemie Service)
Merck KGaA
TU Dortmund
Wacker-Chemie AG

unter Federführung der IGR e.V. KC MVT mit Unterstützung
des Verbandes der Chemischen Industrie e.V. (VCI) gemeinsam erarbeitet.
Das Dokument kann unverändert oder angepasst an das eigene Layout
der beteiligten Firmen als interner Standard übernommen werden.

Inhalt

1	Anwendungsbereich	1
2	Normative Verweisungen	2
3	Begriffe	2
4	Allgemeines	3
4.1	Technische Anforderungen	3
4.2	Organisatorische Anforderungen	3
4.3	Gefährdungsbeurteilung.....	3
4.4	Montagepersonal.....	4
5	Montagevorgang	4
5.1	Oberflächenbeschaffenheit Flanschdichtflächen	4
5.2	Sichtprüfung vor der Montage.....	4
5.3	Schmierung und Schmierstoffe	6
5.4	Einbau und Zentrierung der Dichtung	7
5.5	Aufbringen der erforderlichen Anzugsmomente	7
5.6	Systematik für das Anziehen von Schrauben	8
5.7	Qualitätssicherung und Dokumentation der Flanschmontage	10
5.8	Dichtheitsprüfung	12
6	Demontage.....	12

Zu diesem Dokument gehören die Anhänge A bis C.

1 Anwendungsbereich

Dieses Dokument ist anzuwenden bei der Montage und Demontage von metallischen Flanschverbindungen an Rohrleitungen z.B. nach DIN EN 13480 und Apparaten in verfahrenstechnischen Anlagen.

Für die Flanschmontage an Maschinen z.B. Pumpen, Verdichter und Apparate (z. B. ausgelegt nach DIN EN 13445) können weitere Anforderungen gelten.

Mit der Anwendung dieses Dokuments sind die Anforderungen der VDI 2290 (z. Z. Entwurf) in Bezug auf das Managementsystem und die einzuhaltende Dichtheitsklasse erfüllt.

Das Dokument gilt für die Flanschmontage bei Umgebungstemperatur und im drucklosen Zustand.

Dieses Dokument gilt nicht für Flanschverbindungen an emaillierten Rohrleitungen, Glasrohrleitungen und Rohrleitungen aus Kunststoff und kunststoffausgekleidete Rohrleitungen.

	Ausgabe	Aug 2011	erstellt: Bern	Fortsetzung
			geprüft: Dr. Wilming	Seite 2 bis 12

2 Normative Verweisungen

Die folgenden zitierten Dokumente sind für die Anwendung dieses Dokuments erforderlich. Bei datierten Verweisungen gilt nur die in Bezug genommene Ausgabe. Bei undatierten Verweisungen gilt die letzte Ausgabe des in Bezug genommenen Dokuments (einschließlich aller Änderungen).

BImSchG	Bundesimmissionsschutzgesetz
BetrSichV	Betriebssicherheitsverordnung
GefStoffV	Gefahrstoffverordnung
TA Luft	Erste Allgemeine Verwaltungsvorschrift zum Bundes-Immissionsschutzgesetz (Technische Anleitung zur Reinhaltung der Luft vom 24. Juli 2002)
DIN 78	Schraubenüberstände
DIN EN 1591-1	Flansche und ihre Verbindungen - Regeln für die Auslegung von Flanschverbindungen mit runden Flanschen und Dichtung - Teil 1: Berechnungsmethode
DIN EN 1092-1 (prEN 1092-1:2005)	Flansche und ihre Verbindungen - Runde Flansche für Rohre, Armaturen, Formstücke und Zubehörteile, nach PN bezeichnet - Teil 1: Stahlflansche; (Achtung: zurückgezogenes Dokument)
DIN EN 1092-1	Flansche und ihre Verbindungen - Runde Flansche für Rohre, Armaturen, Formstücke und Zubehörteile, nach PN bezeichnet - Teil 1: Stahlflansche; (Deutsche Fassung 2008-09)
DIN EN 13480-Reihe	Metallische industrielle Rohrleitungen
DIN EN 13445-Reihe	Unbefeuerte Druckbehälter
DIN EN 13555	Flansche und ihre Verbindungen – Dichtungskennwerte und Prüfverfahren für die Anwendung der Regeln für die Auslegung von Flanschverbindungen mit runden Flanschen und Dichtungen;
DIN EN ISO 7089	Flache Scheiben - Normale Reihe, Produktklasse A
DIN CEN/TS 1591-4	Flansche und ihre Verbindungen - Regeln für die Auslegung von Flanschverbindungen mit runden Flanschen und Dichtung - Teil 4: Qualifizierung der Kompetenz von Personal zur Montage von Schraubverbindungen im Geltungsbereich der Druckgeräterichtlinie
AD 2000-Merkblatt HP 100 R	Bauvorschriften; Rohrleitungen aus metallischen Werkstoffen
TRBS 2141 Teil 3	Gefährdung durch Dampf und Druck bei Freisetzung von Medien
VDI 2290 <i>Entwurf von Aug 2010</i>	Emissionsminderung - Kennwerte für dichte Flanschverbindungen
Anhang A	Leitfaden zur Montage von Flanschverbindungen in verfahrenstechnischen Anlagen; Kurzanweisung für das Montagepersonal
Anhang B	Leitfaden zur Montage von Flanschverbindungen in verfahrenstechnischen Anlagen; Dokumentation zur Prüfung der Flanschverbindung
Anhang C	Leitfaden zur Montage von Flanschverbindungen in verfahrenstechnischen Anlagen; Berechnungsgrundlagen für die ermittelten Anzugsmomente

3 Begriffe

Für die Anwendung dieses Dokuments gelten folgende Begriffe.

Unabhängige Person: Eine Person, die durch ihre Berufsausbildung, ihre Berufserfahrung und ihre zeitnahe berufliche Tätigkeit über die erforderlichen Fachkenntnisse zur Prüfung von Flanschverbindungen verfügt. Sie muss die erforderliche Zuverlässigkeit besitzen über geeignete Prüfeinrichtungen verfügen und darf hinsichtlich der Prüfergebnisse keinen Weisungen unterliegen. Sie kann sowohl Mitarbeiter des Betreibers oder des Montageunternehmens oder eines sonstigen Dienstleisters sein.

Dichtheitsklasse (nach DIN EN 13555): die Dichtheitsklassen sind in Tabelle 1 in Form von spezifischen Leckageraten festgelegt. Höhere Dichtheitsklassen können, falls erforderlich, durch Fortsetzen der Reihe zusätzlich angegeben werden.

Tabelle 1 — Dichtheitsklassen

Dichtheitsklasse	L1,0	L0,1	L0,01
spezifische Leckagerate [mg s ⁻¹ m ⁻¹]	≤ 1,0	≤ 0,1	≤ 0,01

Die spezifische Leckagerate wird ermittelt, indem die gemessene Leckagerate durch das arithmetische Mittel aus dem inneren (d_s) und äußeren (D_s) Dichtungsumfang der verpressten Dichtungsfläche geteilt wird, $\pi/2 (D_s + d_s)$.

4 Allgemeines

4.1 Technische Anforderungen

Eine Flanschverbindung besteht in der Regel aus den Komponenten Flansch, Schrauben, Muttern, Unterlegscheiben und Dichtung. Sie stellt ein System dar und hat zwei Funktionen:

1. Sie ist eine lösbare Verbindung zwischen Apparate-, Maschinen- oder Rohrleitungselementen.
2. Sie erfüllt je nach Aufgabenstellung bestimmte Dichtheitsanforderungen.

Zur Sicherstellung der Dichtheit der Flanschverbindung sind Qualitätssicherungsmaßnahmen zu ergreifen. Die Qualitätssicherungsmaßnahmen sind abhängig von der zugeordneten Montageklasse (siehe Tabelle 2). Die Montageklasse ist in einer Gefährdungsbeurteilung zu ermitteln.

4.2 Organisatorische Anforderungen

Betreiber und/oder Dienstleister haben innerhalb ihres internen zertifizierten Qualitätssicherungssystems die festgelegten Vorgehensweisen und die Qualitätssicherung zur Montage von Flanschverbindungen zu beschreiben (z.B. in Verfahrensanweisungen, internen Standards und Gefährdungsbeurteilungen).

Grundlegende organisatorische Anforderungen sind u. a.:

- Flanschverbindungen müssen grundsätzlich bestimmungsgerecht ausgelegt und berechnet werden (bei Rohrleitungen zum Beispiel durch Verwendung von Rohrklassen).
- Es dürfen nur die bei der Auslegung zugrunde gelegten Komponenten (Flansche, Schrauben, Muttern, Dichtungen) verbaut werden z. B. gemäß Rohrleitungsspezifikation (Rohrklassen), Behälterdokumentation.
- Bei besonderen Anforderungen, z.B. bei Medien, die Abschnitt 5.2.6 der TA Luft unterliegen, sind die Berechnungen der Flanschverbindungen nach DIN EN 1591-1 durchzuführen.
- Dem Montagepersonal ist das Anzugsverfahren (Abschnitt 5.6) und das Anzugsmoment bzw. die Vorspannkraft der Schrauben vorzugeben (Abschnitt 5.5).

4.3 Gefährdungsbeurteilung

In der Gefährdungsbeurteilung nach BetrSichV sind die zu erfüllenden Anforderungen an die Flanschverbindung aus Anlagensicherheit und Arbeits- und Gesundheitsschutz festzulegen. Dabei sind

- Auslegung,
- Montage,
- und Dokumentation der Montage

festzuschreiben.

Weiterhin sind die Anforderungen an den Umweltschutz (z. B. BImSchG, TA Luft) zu erfüllen.

Aus der Gefährdungsbeurteilung oder aus einer sicherheitstechnischen Bewertung ergibt sich, wie die Montage der Flanschverbindung durchzuführen und zu prüfen ist. Zu berücksichtigen sind zum Beispiel:

- Eigenschaften des Durchflusstoffes z. B. hinsichtlich der Einstufung nach GefStoffV oder TA-Luft;
- Betriebsbedingungen der Rohrleitung;
- Ist die Verwendung von Drehmomentschlüsseln oder der Einsatz eines anderen definierten Anzugs-/Vorspannverfahrens notwendig?

- In welchem Umfang werden die Anzugsmomente bzw. die Vorspannungen der Flanschverbindungen einer Stichprobenprüfung unterzogen?
- Müssen die Schrauben nach der ersten Warmfahrt nachgezogen werden?
- Welche Wartungs- und Inspektionsintervalle werden festgelegt (sind in der Betriebsanleitung der Rohrleitung festzulegen)?
- Ist bei einer Revision aufgrund der Betriebsbedingungen (Hochdruck, Hochtemperatur, Druckstöße) die Wiederverwendung benutzter Schrauben zulässig?
- Was ist bei der Demontage zu beachten? (s. a. Abschnitt 5.8)

Die Flanschverbindungen werden in verschiedene Montageklassen gruppiert. Von der Montageklasse hängen die Maßnahmen zur Qualitätssicherung (siehe Tabelle 7) ab. Daraus ergibt sich der Mindestaufwand für Prüfung und Dokumentation.

Tabelle 2 — Einstufung der Rohrleitung in Montageklassen

Einstufung der Rohrleitung	Montageklasse		
	1	2	3
BetrSichV, Abschnitt 3, Prüfpflicht durch befähigte Person		X	
BetrSichV, Abschnitt 3, Prüfpflicht durch ZÜS			X
TA Luft		X	
Sonstige Rohrleitungen	X		

4.4 Montagepersonal

Die Montage der Flanschverbindungen darf nur von qualifiziertem Personal durchgeführt werden. Der Betreiber der Anlage ist bei eigenem Personal verantwortlich für die Schulung und Unterweisung. Wird ein Dienstleister mit der Flanschmodontage beauftragt, ist dieser verantwortlich für die Qualifikation seines Personals.

Die Qualifizierung von Personal für die Montage von Flanschverbindungen kann zum Beispiel in Anlehnung an DIN CEN/TS 1591-4 erfolgen. Dort heißt es:

- Ein entsprechender Ausbildungsabschnitt zur Flanschmodontage in der beruflichen Ausbildung des Arbeits-/Fachpersonals mit qualifiziertem Abschluss sowie eine erfolgreiche regelmäßige Anwendung ist ein hinreichender Nachweis.
- Personal ohne entsprechende fachspezifische Ausbildung, das Flanschverbindungen montieren soll, ist durch Schulungsmaßnahmen Sachkunde und praktische Übung zu vermitteln. Dies ist zu dokumentieren.
- Der Dienstleister hat dem Betreiber auf Verlangen die Qualifikation und Identifikation seines Montagepersonals vorzulegen.

5 Montagevorgang

5.1 Oberflächenbeschaffenheit Flanschdichtflächen

Sind bei Flanschen die Flanschdichtflächen mit einer temporären Beschichtung zum Beispiel als Schutz vor Korrosion versehen, so ist diese vor der Montage zu entfernen (z. B. mit Reinigungsmittel, geeignete Drahtbürste).

Beim Austausch von Dichtungen muss darauf geachtet werden, dass die alte Dichtung vollständig von der Flanschdichtfläche entfernt wird, ohne dass die Flanschdichtfläche beschädigt wird.

5.2 Sichtprüfung vor der Montage

Es ist darauf zu achten, dass die Flanschdichtflächen sauber, unbeschädigt und eben sind. Insbesondere dürfen keine radial verlaufenden Oberflächenbeschädigungen wie Riefen oder Schlagstellen vorhanden sein. Im Zweifelsfall muss die Beschädigung von einem Sachkundigen vor Ort begutachtet und der Flansch ggf. ausgetauscht oder nachgearbeitet werden.

Schrauben, Muttern und Unterlegscheiben müssen sauber und unbeschädigt sein. Besonderes Augenmerk gilt dabei dem Gewinde und den Auflageflächen.

Bei Montagearbeiten ausgebaute Schrauben, Muttern und Unterlegscheiben sind entsprechend der Gefährdungsbeurteilung oder nach Prüfung bei Beschädigung durch neue zu ersetzen. Gebrauchte Schrauben, Muttern und Unterlegscheiben dürfen nur im "wie neuwertigen" Zustand wieder verbaut werden.

Die Dichtung muss sauber, unbeschädigt und trocken sein. Verwendung von Haftmitteln und Montagepasten sind für Dichtungen nicht zulässig. Gebrauchte Dichtungen dürfen nicht wiederverwendet werden. Insbesondere dürfen nie Dichtungen mit Knickstellen verwendet werden, da sie ein Sicherheitsrisiko darstellen.

Es ist sicherzustellen, dass dem Montagepersonal Dichtungen zur Verfügung gestellt werden, die frei sind von Fehlern und Mängeln, wie z.B. in Tabelle 3 beschrieben. Faser- und Elastomerdichtungen dürfen nicht überlagert sein, insbesondere keiner UV-Strahlung (Sonne) oder Wärme länger ausgesetzt werden. Die Herstellervorgaben sind einzuhalten.

Tabelle 3 — Typische Fehler und Mängel für eine Auswahl von Dichtungen

Dichtung	Fehler / Mangel
Grafitdichtung	Dichtung im Randbereich durch stumpfes Stanzwerkzeug umlaufend eingerissen Radial verlaufende Knickstellen über der Dichtung
Dichtung mit Innenbördel	Innenbördel nicht ausreichend angelegt Äußere Kante durch stumpfes Schneid- oder Stanzwerkzeug aufgewulstet
PTFE-Hüllendichtung mit Wellringeinlage	Wellring: Innendurchmesser zu groß, nicht entgratet Wellenauslauf nicht mittig Wellring aufgerissen Wellring deformiert, nicht plan Risse im Bereich der Diffusionssperre PTFE-Hülle deformiert
Spiraldichtung	Ungleichmäßiger Weichstoffüberstand auf beiden Seiten Radiale Riefen
Kammprofilichtung	Radiale Riefen

5.3 Schmierung und Schmierstoffe

Zur Minimierung der Reibkräfte sind die Gleitflächen der Schrauben, Muttern und Unterlegscheiben vor dem Anziehen mit geeigneten Schmierstoffe zu behandeln¹. Optimale Schmierung ist dann gegeben, wenn alle Gleitflächen wie das Gewinde, die Mutterauflagefläche und ggf. bei bewegtem Schraubenkopf auch die Kopfauflegefläche geschmiert werden (siehe Bild 1). Nur so kann bei vorgeschriebenem Anzugsmoment die erforderliche Schraubenvorspannkraft erreicht werden und ist nach Temperaturbelastung ein problemloses Lösen der Schraubenverbindungen möglich.

Alle Schmierstoffe sollen grundsätzlich nur als Dünnfilm aber flächendeckend aufgetragen werden. Überschmieren bringt keine Vorteile, auch nicht hinsichtlich der Reibwertreduzierung. Das Auftragen kann mit einem mittelharten, nichthaarenden Pinsel oder einem Schwamm erfolgen.

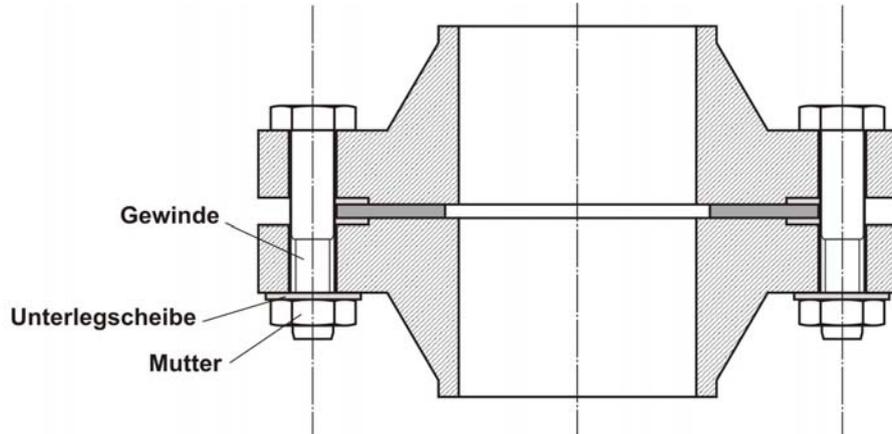


Bild 1 — Zu schmierende Elemente bei einer Flanschverbindung

Unterliegen die Schrauben Betriebstemperaturen von $> 250^{\circ}\text{C}$, so sind hitzebeständige Schmierstoffe zu verwenden. Tabelle 4 liefert eine beispielhafte Übersicht über gängige Schmierstoffe. Die Liste ist nicht als abschließend zu verstehen.

Tabelle 4 — Beispiele für Schmierstoffe verschiedener Hersteller

Schmierstoffe	Firma	Temp. [$^{\circ}\text{C}$] ^a
Klüberpaste HEL 46-450 ^d	Klüber Lubrication München KG	-40 bis +1000
Molykote 1000 ^d	Dow Corning GmbH	-30 bis +650
High-Tech-Paste ASW 040 P ^d	PH Industrie-Hydraulik GmbH & Co. KG	-40 bis +1400
Chesterton-Gleitpaste 78 ^d	A. W. Chesterton Co	-23 bis +538
Wolfrakote Top-Paste	Klüber Lubrication München KG	-25 bis +1000
725 NICKEL ANTI-SEIZE COMPOUND ^d	A. W. Chesterton Co	bis 1425
Mi-Setral – 9C Schraubenpaste (Kupferpaste) ^d	Setral Chemie GmbH	bis 1180
Für Sauerstoffanwendungen		
Oxigenoex FF450	Klüber Lubrication München KG	-60 bis +60 ^b
Klüberalfa YV 93-302, 60 g	Klüber Lubrication München KG	-60 bis + 60 ^c
a Angaben über Temperatureinsatzbereich gemäß Hersteller b O ₂ -Gehalt > 21 Vol.%, max. Sauerstoffdruck 450 bar c O ₂ -Gehalt > 21 Vol.%, max. Sauerstoffdruck 310 bar (für andere Sauerstoffkonzentrationen und -drücke: siehe Datenblatt) d auch für Austenite geeignet		

¹ Es wurde durch Montageversuche ermittelt, dass sich die Schraubenkräfte bei gleichem Drehmoment bis zum Faktor 3 im Vergleich zum ungeschmierten Zustand erhöhen lassen, wenn die Schrauben und Muttern vor der Montage optimal geschmiert werden.

5.4 Einbau und Zentrierung der Dichtung

Die richtige Montage von Flanschverbindungen setzt parallel fluchtende Flanschblätter ohne Mittenversatz voraus, die ein positionsgerechtes Einbringen der Dichtung ohne Beschädigung erlauben. Insbesondere bei Dehnschaftschrauben sollten Zentrierbolzen als Montagehilfe verwendet werden.

Die Dichtflächen sind soweit auseinander zu drücken, dass die Dichtung ohne Kraftaufwand und unbeschädigt eingebracht werden kann.

Die Klaffung (Nichtparallelität der Dichtflächen) vor Anzug der Schrauben sind als unbedenklich anzusehen, wenn die zulässige Klaffung nach Bild 2 nicht überschritten wird. Die Klaffung ist von der geklafften Seite (a) aus zu beseitigen.

Besondere Bedeutung hat die Klaffung bei sehr starren Rohrleitungen (z. B. beheizte / gekühlte Mantelleitungen, dickwandigen Hochdruckrohrleitungen), da sich diese Klaffungen erfahrungsgemäß kaum oder gar nicht beiziehen lassen. Im Zweifelsfall sind die Flansche ohne Einlegen einer Dichtung versuchsweise durch Anziehen der Schrauben beizuziehen, dabei sollte eine Parallelität und der Dichtflächenabstand mit ca. 10% des Nenn Drehmomentes erreicht werden. Die Klaffung ist unzulässig, wenn die Flanschposition nicht ohne Anwendung schwerer Mittel wie Kettenzüge, Greifzüge oder ähnliches erreicht werden kann. Sollte dies nicht möglich sein, muss die Klaffung vor Montage der Dichtung durch Richten oder bei Bedarf durch Abtrennung und Neuverschweißung der Flansche beseitigt werden.

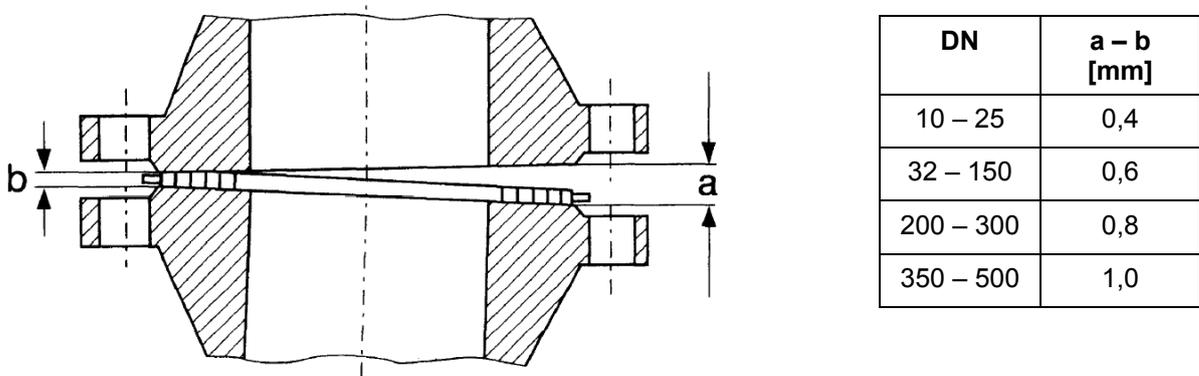


Bild 2 — Klaffung von Flanschen und Richtwerte für zulässige Klaffung = a – b

5.5 Aufbringen der erforderlichen Anzugsmomente

Um die Dichtheitsklasse von L 0,01 zu erreichen, wurden nach DIN EN 1591-1 die Anzugsmomente gemäß Tabelle 5 ermittelt. Die wesentlichen Randbedingungen sind in Anhang C dieses Dokuments zusammengestellt. Einzelfallberechnungen können zu anderen Anzugsmomenten führen.

Zur Vereinfachung wurde für eine Gruppe von Dichtungen, Nennweiten und PN-Stufen die Berechnung der Anzugsmomente so optimiert, dass für eine Schraubengröße in Abhängigkeit der Dichtungsgruppe nur ein Anzugsmoment vorgegeben werden kann.

Dichtungsgruppe A

Flachdichtung: PN 10 – PN 25 (ohne Innenbördel)
PN 40 (mit Innenbördel)

Wellringdichtungen sind hiermit abgedeckt.

Dichtungsgruppe B

Nut und Feder: PN 10 – PN 40
(mit Faserdichtungen und metallarmierten Grafitdichtungen)

Kammprofildichtung: PN 10 – PN 100

Spiraldichtung mit Grafit: PN 10 – PN 100

Tabelle 5 — Erforderliche Anzugsmomente für Flansche nach DIN EN 1092-1 und Schrauben aus 25CrMo4 / A2-70 oder vergleichbarer Festigkeit

Gewinde	Anzugsmoment [Nm] ^a		Anzugsverfahren
	Dichtungsgruppe A	Dichtungsgruppe B	
M12	50	50	Mit handbetätigtem Schraubenschlüssel ggf. mit geeigneter Verlängerung
M16	125 ^b	80	
M20	240 ^c	150	
M24	340	200	Mit Drehmomentschlüssel oder anderen drehmomentgesteuerten Verfahren
M27	500	250	
M30	700	300	
M33	900	500	
M36	1200	750	
M39	1400	900	
M45	2000	1200	
M52	3000	-	

^a Diese Anzugsmomente wurden von der Fa. BASF SE berechnet und müssen von einer kompetenten Stelle validiert werden
^b Empfohlene Hebellänge 300 mm
^c Empfohlene Hebellänge 550 mm

Auch für DIN-Flansche, deren Abmessungen mit DIN EN 1092-1 identisch sind, gelten für die in Tabelle 6 angegebenen Nennweiten und PN-Stufen die Anzugsmomente nach Tabelle 5.

Tabelle 6 — Nennweiten und PN-Stufen der bisherigen DIN-Flansche

Druckstufe	Norm	Nennweite
PN 10	DIN 2632	DN 500
PN 16	DIN 2633	DN 400
PN 25	DIN 2634	DN 400
PN 40	DIN 2635	DN 400
PN 63	DIN 2636	DN 400
PN 100	DIN 2637	DN 300

5.6 Systematik für das Anziehen von Schrauben

5.6.1 Allgemeines

Die Reihenfolge, mit der die Schrauben und Muttern angezogen werden, hat einen wesentlichen Einfluss auf die Kraftverteilung, die auf die Dichtung wirkt (Flächenpressung). Unsachgemäßes Anziehen führt zu einer hohen Streuung der Vorspannkkräfte und kann zu Unterschreitung der erforderlichen Mindestflächenpressung bis zur Undichtheit führen.

Nach dem Anziehen der Mutter sollten wenigstens zwei aber nicht mehr als fünf Gewindgänge am Schraubenende überstehen (siehe auch DIN 78). Sechskantschrauben und Gewindestangen sind so zu montieren, dass die Überstände auf beiden Seiten etwa gleich sind. Schraubenköpfe, Muttern und Unterlegscheiben müssen glatt aufliegen.

Die Schrauben sind von Hand vorzumontieren, dabei sind

- gehärtete Unterlegscheiben nach DIN EN ISO 7089 mindestens Härteklasse 200 HV unter die Muttern zu legen,
- die Schrauben so einzubauen, dass alle Schraubenköpfe auf einer Flanschseite angeordnet sind,
- bei Schraubverbindungen, bei denen der Schraubenkopf gedreht wird (Sackloch), die Unterlegscheibe unter den Schraubenkopf zu legen,
- bei horizontal angeordneten Flanschen die Schrauben von oben durchzustecken,
- schwergängige Schrauben durch leichtgängige zu ersetzen,

Der gleichzeitige Einsatz mehrerer Anzugswerkzeuge ist möglich, es ist dann sinngemäß zu verfahren.

Als Kurzanweisung für das Montagepersonal kann Anhang A zu diesem Dokument verwendet werden.

5.6.2 Anzugsverfahren 1

Die Schrauben sind

1. über Kreuz, wie in Bild 3 dargestellt, mit 30% des Sollanzugsmomentes anzuziehen,
2. analog zu 1. mit 60% des Sollanzugsmomentes anzuziehen,
3. analog zu 1. mit 100% des Sollanzugsmomentes anzuziehen und
4. nochmals mit vollem Sollanzugsmoment rundum nachzuziehen. Dieser Vorgang ist so oft zu wiederholen, bis sich die Muttern bei Aufbringen des vollen Anzugsmomentes nicht mehr weiterdrehen lassen.

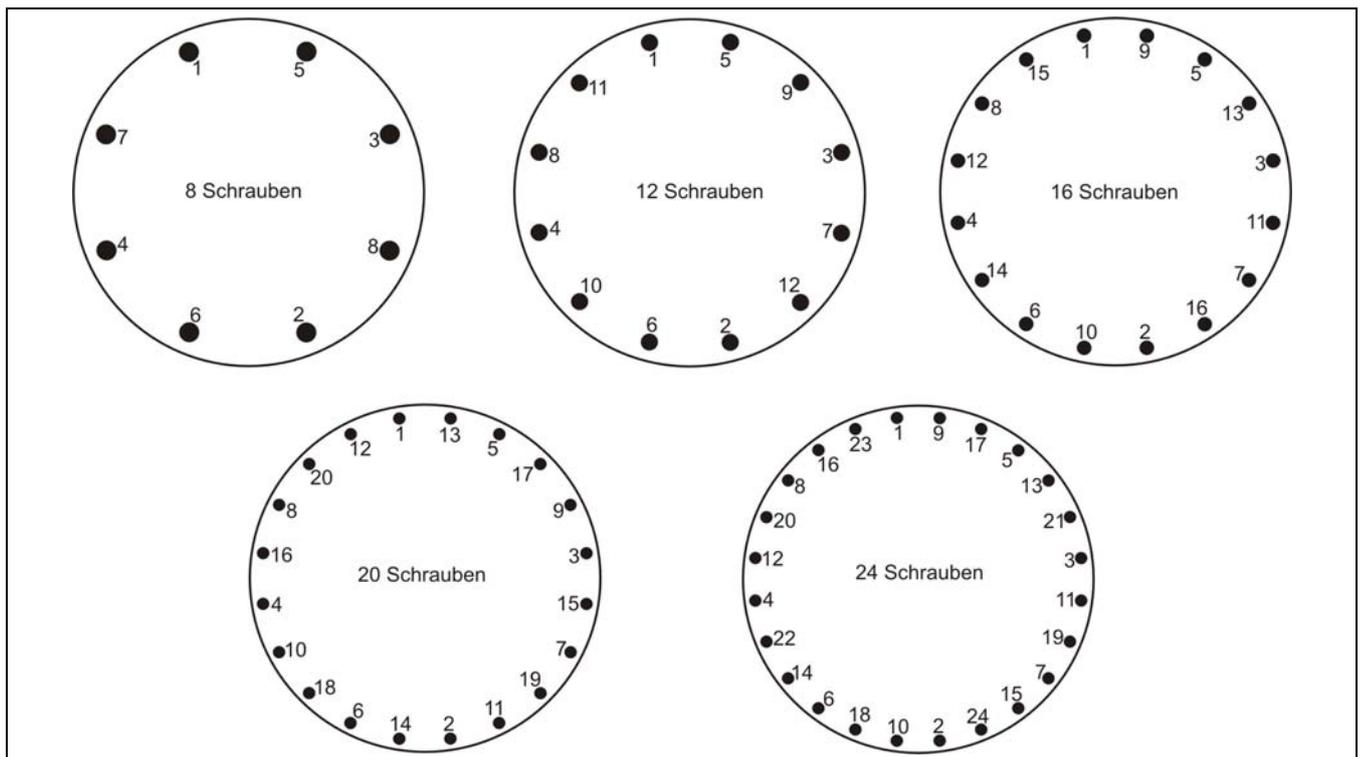


Bild 3 — Anzugsverfahren 1: Kreuzweises Anziehen der Schrauben

In Einzelfällen erfordert das "Setzen" der Dichtung (Anpassen an die Flanschdichtfläche) ein Nachziehen der Schrauben. Die Schrauben sind dann nach einigen Stunden bzw. nach der ersten thermischen Belastung bei Raumtemperatur und im drucklosen Zustand der Flanschverbindung nachzuziehen. Erfolgt das Nachziehen im Betrieb bei erhöhter Temperatur ist nach TRBS 2141 Teil 3 eine gesonderte Gefährdungsbeurteilung erforderlich.

5.6.3 Anzugsverfahren 2

Alternativ kann folgendes Anzugsverfahren angewendet werden:

Die Schrauben sind

1. wie in Bild 4 dargestellt (4 Schrauben) mit 20% des Sollanzugsmomentes anzuziehen,
2. analog zu 1. mit 60% des Sollanzugsmomentes anzuziehen,
3. analog zu 1. mit 110% des Sollanzugsmomentes anzuziehen und
4. umlaufendes Anziehen aller restlichen Schrauben mit 110%.
5. Wiederholen des umlaufenden Nachziehens mit 110%.

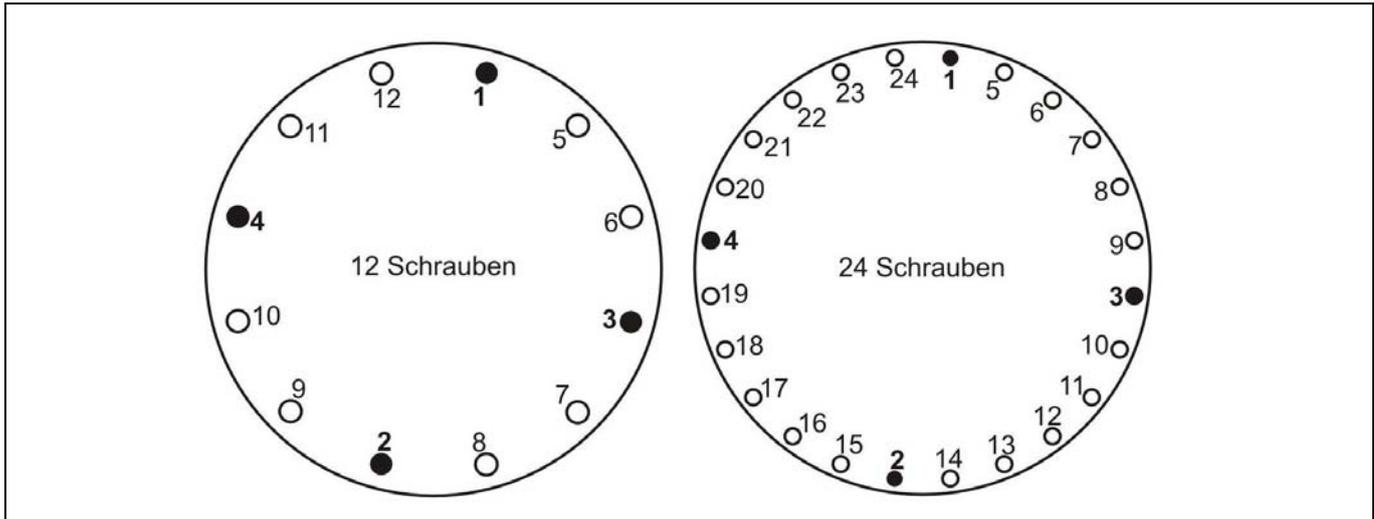


Bild 4 — Anzugsverfahren 2: Alternatives Anzugsverfahren

5.7 Qualitätssicherung und Dokumentation der Flanschmontage

5.7.1 Qualitätssicherung

Aus der Montageklasse ergibt sich, welche Maßnahmen zur Qualitätssicherung einschließlich der zugehörigen Dokumentation erforderlich sind, siehe Tabelle 7.

Das Los, auf dessen Basis die Stichprobenkontrolle zusammengestellt wird, ist sinnvoll festzulegen, z. B. Anlagenbezogen, je Auftragsumfang oder personenbezogen.

Der Mindest-Prüfumfang ist in Anhang B dieses Dokuments zusammengestellt, dieser kann auch zur Dokumentation der Prüfung der Flanschmontage bei Neuanlagen verwendet werden.

Die Prüfung muss vor der Dichtheitsprüfung erfolgen und vor der Druckprüfung, falls diese im fertig montierten Zustand erfolgt.

Tabelle 7 — Maßnahmen zur Qualitätssicherung

Montageklasse	Qualitätssicherungsmaßnahmen
1	Keine weitergehenden Prüfungen
2	Stichprobenkontrolle <ul style="list-style-type: none"> – Durch Montagepersonal (durch einen zweiten Monteur) – Umfang: 2 % der Flanschverbindungen – Bei Abweichungen vom vorgegebenen Drehmomentbereich ist der Prüfumfang zu erweitern – Dokumentation
3	Stichprobenkontrolle <ul style="list-style-type: none"> – Durch Montagepersonal (durch einen zweiten Monteur) – Umfang: 10 % der Flanschverbindungen – Bei Abweichungen vom vorgegebenen Drehmomentbereich ist der Prüfumfang zu erweitern – Dokumentation Gegenkontrolle <ul style="list-style-type: none"> – Durch unabhängige Person – Umfang: 2 % der Flanschverbindungen – Dokumentation – Bei Abweichungen vom vorgegebenen Drehmomentbereich ist der Prüfumfang zu erweitern.

Die Drehmomente für die Prüfung sind Anhang B dieses Dokuments zu entnehmen.

Versuche haben gezeigt, dass der Einfluss der Haftreibung auf das Schraubenanzugsmoment kurz nach der Montage (noch kein Anstrich, keine Korrosion) gering ist. Für die Prüfung wird der Drehmomentschlüssel auf das Prüfdrehmoment eingestellt und lässt sich die Mutter nicht weiter drehen ist das erforderliche Anzugsmoment aufgebracht.

5.7.2 Dokumentation

Die Art und der Umfang der Dokumentation müssen konsistent zum jeweiligen betrieblichen Managementsystem sein. Die folgende Aufzählung ist beispielhaft.

- Neuanlage:
 - Planungsdocumentation,
 - Isometrien,
 - Werkstattzeichnungen,
 - Spezifikationen,
 - schematische Skizzen.
- Revision oder kleinere Reparaturen:
 - Arbeitskarten,
 - Reparaturspezifikationen.
- Anlagenspezifisches Öffnen und Schließen von Flanschverbindungen:
 - Schichtbuch,
 - Reparaturbuch.

Bei außergewöhnlichen Montagesituationen sind diese gesondert festzulegen. Eine individuelle Kennzeichnung von Flanschverbindungen kann erforderlich sein.

5.8 Dichtheitsprüfung

Falls eine Dichtheitsprüfung vorgesehen ist, muss diese nach der Qualitätssicherung durchgeführt werden.

6 Demontage

Vor Beginn der Demontage einer Flanschverbindung ist die Freigabe von dem Betrieb einzuholen. Es muss sichergestellt sein, dass die Anlage drucklos und gespült ist. Die Sicherheitsrichtlinien des jeweiligen Standorts sind zu berücksichtigen.

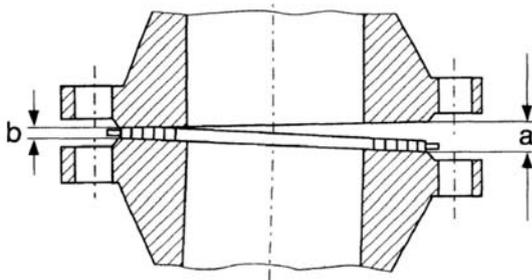
- Ein- oder Anbauteile, die nicht separat gehalten werden, müssen vor dem Lösen der Flanschverbindung gesichert werden.
- Das Lösen der Schrauben bzw. Muttern beginnt an der körperabgewandten Seite.
- Schrauben bzw. Muttern kreuzweise lösen. Steht eine Leitung unter mechanischer Spannung, ist mit einem Ausschlagen der Leitung zu rechnen.

Beim Austausch von Dichtungen muss darauf geachtet werden, dass die alte Dichtung vollständig von der Flanschdichtfläche entfernt wird, ohne dass die Flanschdichtfläche beschädigt wird.

Diese Datei ist vorbereitet, um als Broschüre ausdrucken zu werden.

Vorgehensweise: Doppelseitig drucken, an der gepunkteten Linie ausschneiden und an der gestrichelten Linie falten.

**Klaffung von Flanschen und Richtwerte für
zulässige Klaffung = a - b**



DN	a - b [mm]
10-25	0,4
32-150	0,6
200-300	0,8
350-500	1,0

Nach:
AK der chemischen Industrie; Leitfaden zur Montage von Flanschverbindungen
in verfahrenstechnischen Anlagen

Aufzubringende Anzugsmomente

Gewinde	Anzugsmoment [Nm]	Anzugsmoment [Nm]	Flachdichtung*: PN10+PN25 (ohne Innenbördel) PN40 (Innenbördel)
			Nut und Feder: PN10-PN40 Kammprofil-, Spiraldichtung: PN10-PN100
			Anzugsverfahren
M12	50	50	Mit handbetätigten Schraubenschlüssel ggf. mit geeigneter Verlängerung
M16	125**	80	
M20	240***	150	
M24	340	200	Drehmomentschlüssel oder anderen dreh- momentgesteuerten Verfahren
M27	500	250	
M30	700	300	
M33	900	500	
M36	1200	750	
M39	1400	900	
M45	2000	1200	
M52	3000		

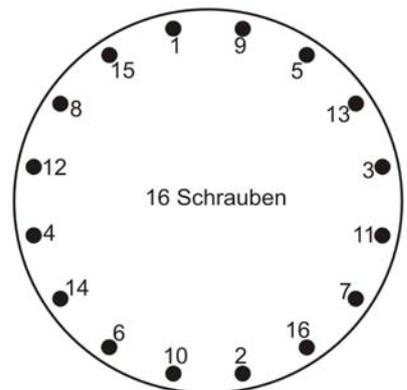
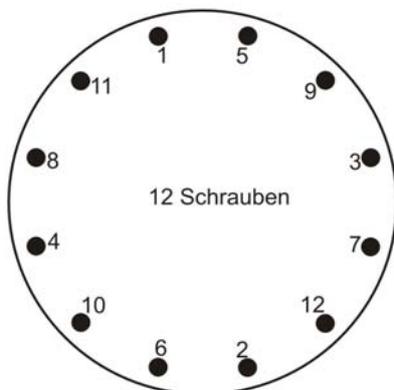
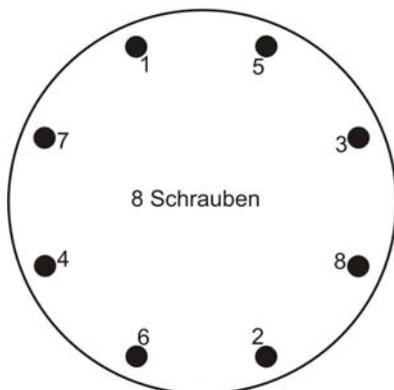
* Wellringdichtungen sind hiermit abgedeckt.

** Empfohlene Hebellänge 300 mm

*** Empfohlene Hebellänge 550 mm

Montageanleitung für Anzugsverfahren 1

Kreuzweises Anziehen der Schrauben

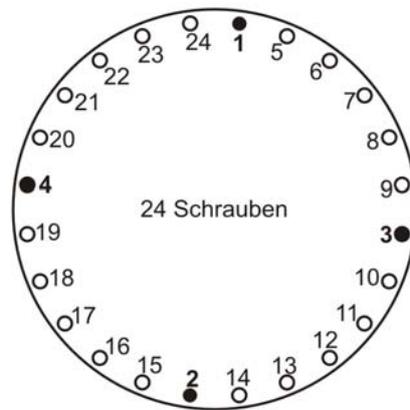
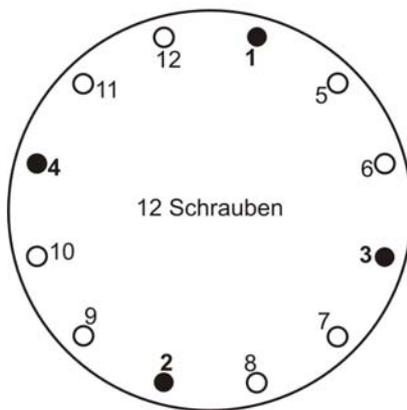


Anzugsreihenfolge:

- über Kreuz mit 30% des Sollanzugsmomentes anzuziehen,
- über Kreuz mit 60% des Sollanzugsmomentes anzuziehen,
- mit vollem Anzugsmoment über Kreuz anzuziehen und
- nochmals mit vollem Anzugsmoment rundum nachzuziehen. Dieser Vorgang ist so oft zu wiederholen, bis sich die Muttern bei Aufbringen des vollen Anzugsmomentes nicht mehr weiterdrehen lassen.

Montageanleitung für Anzugsverfahren 2

Alternatives Anzugsverfahren



Anzugsreihenfolge:

- 4 Schrauben mit 20% des Sollanzugs-
momentes anzuziehen
- mit 60% des Sollanzugsmomentes
anzuziehen
- mit 110 % des Sollanzugsmomentes
anzuziehen
- umlaufendes Anziehen aller restlichen
Schrauben mit 110%
- Wiederholen des umlaufenden Nach-
ziehens mit 110%

Betreiber/Firma: Standort:
 Betriebs-Nr.: Betrieb / Gebäude:
 RI-Fließbild-Nr. / Stand: Rohrleitungsnummer:
 Einstufung in Montageklasse: 1 2 3
 Monteur der Flanschverbindung und Montagefirma:

Nr.	Mindestprüfungsumfang	
1	Bauteile gemäß Spezifikation verwendet	
	Flansch (Werkstoff, PN-Stufe)	
	Schrauben und Muttern (Werkstoff)	
	Dichtung	
2	Unterlegscheibe vorhanden	
3	Schrauben und Muttern geschmiert	
4	Mindestgewindeüberstand vorhanden	
5	Mindest-Drehmomente von ... Nm erfüllt	

Geprüft durch:

Name
Unterschrift
Organisation
Datum

Drehmomente für die Prüfung

Gewinde	Mindestdrehmoment [Nm]						
	Dichtungsgruppe A				Dichtungsgruppe Typ B		
Dichtung	PTFE-Dichtung mit 10% Microglaskugeln	PTFE-Dichtung mit 40% Quarzanteil	Aramidfaser mit Spezial NBR mit und ohne Bördel	metallarmierte Grafitdichtung mit und ohne Bördel	Spiraldichtung mit Grafit	Kammprofil-dichtung	Faserdichtung- und metall-armierte Grafitdichtung für Nut und Feder
M12	35	40	40	40	40	40	40
M16	90	100	100	100	65	65	65
M20	170	190	190	190	120	120	120
M24	270	290	300	300	180	180	180
M27	400	420	450	450	220	220	220
M30	560	590	630	630	270	270	270
M33	720	760	810	810	450	450	450
M36	960	1020	1080	1080	670	670	670
M39	1120	1190	1260	1260	810	810	810
M45	1600	1700	1800	1800	1080	1080	1080
M52	2400	2550	2700	2700	-	-	-

C.1 Allgemeines

- Flanschwerkstoff P245GH Reibwert 0,13
- Sechskantschrauben 25CrMo4 bis M20: Streuung 0,25 / ab M24: Streuung 0,15 ab M24)
- 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. Bei Rohrleitungen für die die mit den vereinfachten Verfahren erforderlichen Stützweiten und Schenkellängen nicht nachgewiesen werden können, sind rohrstatische Berechnen erforderlich. Sollten sich hierbei höhere Zusatzlasten ergeben, sind Einzelfallbetrachtungen notwendig.

- Verwendung von gehärteten Unterlegscheiben (zur Reduzierung der Reibung und zur Verringerung der Streuung beim Anziehen)
- Schmierung mit MoS2 oder gleichwertig
- 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.
- 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.
- Toleranzen und Korrosionszuschlag wurden nicht berücksichtigt
- Der E-Modul der Dichtung muss bei einer Flächenpressung von 60 MPa und Raumtemperatur mindestens 1000 MPa betragen.
- Kammprofilabdichtung / Spiraldichtung (gleiche Anforderungen wie sonstige Flachdichtungen)
- Anstelle von Spießblecheinlagen können bei Grafit alternativ auch Klettblech-, Streckmetall- oder Glattblecheinlagen und Metallfolien eingesetzt werden.

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.

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

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

P245GH						
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

Tabelle C.1 — p/t-Ratings von Standardwerkstoffen nach DIN EN 1092-1 Entwurf 2005 (Fortsetzung)

1.4541						
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						
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						
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						
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

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

C.2 Einschränkungen des Anwendungsbereiches bei einzelnen Dichtungen und Nennweiten

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

Tabelle C.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
	Metallarmierte Grafitdichtung	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

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

C.2.1 Dichtungsgruppe A: Flachdichtungen

Tabelle C.3 — Berechnungsnachweise für PN–DN–Stufen, Flachdichtungen

DN	PN 10		PN 16		PN 25		PN 40		PN 63		PN 100	
	Schrauben		Schrauben		Schrauben		Schrauben		Schrauben		Schrauben	
	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

C.2.2 Dichtungsgruppe B: Kammprofil- und Spiraldichtungen

Tabelle C.4 — Berechnungsnachweise für PN–DN–Stufen, schmale Dichtungen

DN	PN 10		PN 16		PN 25		PN 40		PN 63		PN 100	
	Schrauben		Schrauben		Schrauben		Schrauben		Schrauben		Schrauben	
	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				

C.2.3 Dichtungsgruppe B: Nut-Feder-Flansche, Flachdichtungen**Tabelle C.5 — Berechnungsnachweise für PN-DN-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										
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				