

LEITFADEN

zur Montage von Flanschverbindungen
in verfahrenstechnischen Anlagen

März 2016

Verantwortliches Handeln

Der VCI unterstützt die weltweite Responsible-Care-Initiative.



Ersatz für Ausgabe Mai 2014

Die Erstausgabe dieses Dokuments 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
TU Dortmund
Wacker-Chemie AG

unter Federführung des KC Mechanik und Verfahrenstechnik der IGR e. V. 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.

Ansprechpartner:

Verband der Chemischen Industrie e. V.

Mainzer Landstraße 55, 60329 Frankfurt a. M.

Internet: <http://www.vci.de>

Dipl.-Ing. Thilo Höchst

Telefon +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 VCI oder seinen Erfüllungsgehilfen vorsätzlich oder grob fahrlässig verursacht wurden.

Inhalt

1	Anwendungsbereich	4
2	Normative Verweisungen	4
3	Begriffe	5
4	Anforderungen	6
4.1	Technische Anforderungen	6
4.2	Organisatorische Anforderungen	6
4.3	Gefährdungsbeurteilung	7
4.4	Montageklassen	7
4.5	Montagepersonal	8
4.6	Lagerung von Dichtungen	9
4.7	Einsatz von Unterlegscheiben	9
5	Montagevorgang	10
5.1	Oberflächenbeschaffenheit Flanschdichtflächen	10
5.2	Sichtprüfung vor der Montage	10
5.3	Schmierung und Schmierstoffe	11
5.4	Einbau und Zentrierung der Dichtung	13
5.5	Aufbringen der erforderlichen Anzugsmomente	14
5.6	Systematik für das Anziehen von Schrauben	16
5.7	Qualitätssicherung und Dokumentation der Montage	18
5.8	Druck- und Dichtheitsprüfung	20
6	Demontage	20
7	Anwendung der Richtlinie VDI 2290 auf bestehende Anlagen	21

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. an Pumpen, Verdichtern und Apparaten (z. B. ausgelegt nach DIN EN 13445) können weitere Anforderungen gelten.

Die Richtlinie VDI 2290 gilt für die Beurteilung der technischen Dichtheit von Flanschverbindungen für flüssige und gasförmige Medien, für die emissionsbegrenzende Anforderungen nach TA Luft festgelegt sind.

Mit der Anwendung dieses Dokuments sind die Anforderungen der VDI 2290 in Bezug auf das Managementsystem und die einzuhaltende Dichtheitsklasse von L0,01 erfüllt.

Der Einsatz von Flanschverbindungen ist notwendig, um z. B. die Montierbarkeit und die Bedienbarkeit im Betrieb zu gewährleisten. Dieses Dokument gilt für das Durchführen der Flanschmontage bei Umgebungstemperatur und im drucklosen Zustand.

Dieses Dokument gilt nicht für Flanschverbindungen an emaillierten Rohrleitungen, Glasrohrleitungen und Rohrleitungen aus Kunststoff und kunststoffausgekleidete Rohrleitungen sowie Flansche im Kraftnebenschluss (KNS).

Für Behälterstutzen mit Vorschweißflanschen nach DIN EN 1092-1 kann die Flanschverbindung zwischen Rohrleitung und Behälterstutzen einer Rohrleitung-Rohrleitung-Flanschverbindung gleich gesetzt werden. Armaturen oder Blockflansche mit Sacklöchern haben in der Regel eine geringere Festigkeit als die bei der Berechnung unterstellten Schrauben. Man muss daher entweder eine entsprechend größere Einschraubtiefe sicherstellen oder darf nicht die in der Richtlinie genannten Drehmomente benutzen!

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 2632 (ZR)	Vorschweissflansche - Nenndruck 10 (zurückgezogen, ersetzt durch DIN EN 1092-1 (2002-06))
DIN 2633 (ZR)	Vorschweissflansche - Nenndruck 16 (zurückgezogen, ersetzt durch DIN EN 1092-1 (2002-06))
DIN 2634 (ZR)	Vorschweissflansche - Nenndruck 25 (zurückgezogen, ersetzt durch DIN EN 1092-1 (2002-06))
DIN 2635 (ZR)	Vorschweissflansche - Nenndruck 40 zurückgezogen, ersetzt durch DIN EN 1092-1 (2002-06))

DIN 2636 (ZR)	Vorschweissflansche - Nenndruck 64 (zurückgezogen, ersetzt durch DIN EN 1092-1 (2002-06))
DIN 2637 (ZR)	Vorschweissflansche - Nenndruck 100 (zurückgezogen, ersetzt durch DIN EN 1092-1 (2002-06))
DIN 51818	Schmierstoffe; Konsistenz-Einteilung für Schmierfette; NLGI-Klassen
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 (zurückgezogener Entwurf, ersetzt durch DIN EN 1092-1 (2007-11))
DIN EN 1092-1	Flansche und ihre Verbindungen - Runde Flansche für Rohre, Armaturen, Formstücke und Zubehörteile, nach PN bezeichnet - Teil 1: Stahlflansche
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 Druckgeräte-richtlinie
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	Emissionsminderung - Kennwerte für dichte Flanschverbindungen
PAS 1057-6	Rohrklassen für verfahrenstechnische Anlagen; Teil 6: Sonderbauformen - Flansche für maschinelle Schweißverfahren

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 den mittleren verpressten Umfang der Dichtung geteilt wird.

4 Anforderungen

4.1 Technische Anforderungen

Eine Flanschverbindung besteht in der Regel aus den Komponenten Flansch, Schrauben, Muttern, Dichtung und ggf. Unterlegscheiben. 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. Ein rechnerischer Dichtheitsnachweis ist nur nach DIN EN 1591-1 oder Finite-Elemente-Methode möglich.

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

Werkzeuge müssen geeignet und kalibriert sein sowie fachgerecht gelagert werden.

4.2 Organisatorische Anforderungen

Betreiber und/oder Dienstleister haben innerhalb ihres internen Qualitätssicherungssystems die festgelegten Vorgehensweisen und die Qualitätssicherung zur Montage von Flanschverbindungen zu beschreiben (z. B. in Verfahrensanweisungen, internen Standards und Gefährdungsbeurteilungen (siehe dazu auch Abschnitt 4.3)).

Grundlegende organisatorische Anforderungen sind u. a.:

- Flanschverbindungen müssen grundsätzlich bestimmungsgerecht ausgelegt und berechnet werden (bei Rohrleitungen z. B. 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.
- Dem Montagepersonal ist das Anzugsverfahren und das Anzugsmoment bzw. die Vorspannkraft der Schrauben durch den Betreiber und/oder Dienstleister vorzugeben.
- Die ermittelte Montageklasse, d. h. der damit verbundene Umfang der Qualitätssicherung (Losgröße) ist vom Betreiber dem Dienstleister vorzugeben.
- Es sind Regelungen der Dokumentation der Montage zu beschreiben.

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 sowie
- 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 (Montageklassen). Zu berücksichtigen sind z. B.:

- 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-/ Verspannverfahrens notwendig?
- In welchem Umfang werden die Anzugsmomente bzw. die Vorspannungen der Flanschverbindungen einer Stichprobenprüfung unterzogen?
- 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)

Das Nachziehen von Schrauben nach der ersten Warmfahrt bedarf einer gesonderten Betrachtung.

4.4 Montageklassen

Die Flanschverbindungen werden in verschiedene Montageklassen gruppiert. Von der Montageklasse hängen die Maßnahmen zur Qualitätssicherung ab (siehe Tabelle 2). Daraus ergibt sich der Mindestaufwand für Prüfung und Dokumentation (siehe Tabelle 8).

Die Einstufung der Montageklasse ergibt sich aus der Zuordnung der Prüfung vor Inbetriebnahme (BetrSichV § 14).

Tabelle 2 — Mindesteinstufung der Rohrleitung in Montageklassen

Rohrleitung	Montageklasse		
	1	2	3
BetrSichV, Abschnitt 3, Prüfpflicht durch befähigte Person		X	
BetrSichV, Abschnitt 3, Prüfpflicht durch ZÜS			X
TA Luft Medien		X	
Sonstige Rohrleitungen	X		
Qualitätssicherungsmaßnahmen	Keine weiter- gehenden Prüfungen	Stichproben- kontrolle	Stichproben- kontrolle mit Gegenkontrolle

4.5 Montagepersonal

Die Montage der Flanschverbindungen darf nur von qualifiziertem Personal durchgeführt werden. Der Betreiber der Anlage ist bei eigenem Personal¹ verantwortlich für die Schulung und Unterweisung. Das ausführende Personal muss schriftlich benannt werden.

Wird ein Dienstleister mit der Flanschmontage beauftragt, ist dieser verantwortlich für die Qualifikation seines Personals und hat dem Auftraggeber dieses namentlich zu benennen. Der Dienstleister hat dem Betreiber auf Verlangen den Nachweis der Qualifikation seines Montagepersonals vorzulegen.

Die Qualifizierung von Personal für die Montage von Flanschverbindungen kann z. B. in Anlehnung an die Richtlinie VDI 2290 erfolgen. Dort heißt es in Abschnitt 6²:

- Ein entsprechender Ausbildungsabschnitt zur sachgerechten Flanschverbindungsmontage in der beruflichen Ausbildung (des Arbeits-/Fachpersonals) mit qualifiziertem Abschluss sowie eine erfolgreiche regelmäßige Anwendung gelten als hinreichender Nachweis.
- Anderen Mitarbeitern ohne entsprechende fachspezifische Ausbildung, (z. B. Betriebspersonal,) die Flanschverbindungen montieren sollen, ist durch Schulungsmaßnahmen (theoretische und praktische) Sachkunde zu vermitteln. (Dies ist zu dokumentieren.)

¹ auch Personal nach Arbeitnehmerüberlassungsgesetz (AÜG)

² Die Texte in Klammern sind Ergänzungen zum Originaltext aus der Richtlinie VDI 2290.

4.6 Lagerung von Dichtungen

Dichtungen müssen generell so gelagert werden, dass eine Beschädigung durch äußeren Krafteinfluss ausgeschlossen werden kann. Bei der Lagerung von Dichtungen bzw. Dichtungsplatten ist generell darauf zu achten, dass diese spannungsfrei, d. h. flach liegend lagern.

Eine eindeutige Identifizierung der Dichtungen muss gewährleistet sein.

Als ideale Lagerbedingungen werden empfohlen:

- Raumtemperatur < 25 °C
- rel. Luftfeuchte 50 bis 60 %
- abgedunkelter Raum (Schutz gegen direkte Sonneneinstrahlung)

In Tabelle 3 ist die Lagerfähigkeit der verschiedenen Dichtungswerkstoffe zusammengefasst.

Tabelle 3 — Lagerfähigkeit von Dichtungswerkstoffen

Dichtung	Lagerfähigkeit
Faserstoffe und Elastomere	Faserdichtungen unterliegen auf Grund ihres Elastomeranteils einem Alterungsprozess. Unter optimalen Bedingungen ist eine Lagerzeit von ca. 4-5 Jahren möglich, längere Lagerzeiten bei höheren Temperaturen (> 30 °C) können schon nach 2 Jahren zu einer Qualitätsminderung führen. Sie dürfen keiner UV-Strahlung (Sonne) oder Wärme länger ausgesetzt werden.
Grafit	Grafitdichtungen sind eigentlich unbegrenzt lagerfähig. Als begrenzend kann sich hier nur die Haltbarkeit von Klebeverbindungen erweisen. Grafitdichtungen sind vor zu großer Feuchtigkeitsaufnahme zu schützen, dies gilt es besonders bei der Montage zu beachten – etwas Regen kann eine gute Grafitdichtung vertragen, lag sie jedoch z. B. in einer Pfütze, sollte diese Grafitdichtung nicht mehr verwendet werden.
PTFE	PTFE-Dichtungen sind eigentlich unbegrenzt lagerfähig. Als begrenzend kann sich hier nur die Haltbarkeit von Klebeverbindungen erweisen, z. B. bei PTFE-Dichtungen mit Klebeleiste.
Spiraldichtungen mit PTFE	Bei Spiraldichtungen sind bei sachgerechter Lagerung bis zu 5 Jahren keinerlei Qualitätseinbußen festzustellen. Durch Flugrost oder Ferritpartikel in den Lagerräumen können die Dichtungen jedoch beeinträchtigt werden. Setzen sich diese an den Dichtungen fest, so lösen sie Korrosion aus. Es sollte deshalb auf geeignete Lagerbedingungen geachtet und gegebenenfalls ein Inspektionszyklus festgelegt werden.

4.7 Einsatz von Unterlegscheiben

Die Vorteile beim Einsatz von gehärteten Unterlegscheiben (mindestens 200 HV) sind:

- definierte Reibfläche bei der Montage,
- definierte Rauigkeit bei der Berechnung und dadurch
- Reduzierung der Streuweiten des Anzugsmoments, wodurch rechnerisch eine größere Schraubenkraft erzielt werden kann.

Prinzipiell besteht die Möglichkeit der Kontaktkorrosion bei Austenit-Ferrit-Verbindungen. In DIN EN ISO 7089 sind Unterlegscheiben aus Stahl und nichtrostendem Stahl in der Härteklasse 200 HV beschrieben. Der Werkstoff der Unterlegscheibe sollte zum Werkstoff der Flanschverbindung passen. Bei der Kombination „Ferritscher Flansch / Austenitische Schraube“ sind austenitische Unterlegscheiben zu verwenden.

5 Montagevorgang

5.1 Oberflächenbeschaffenheit Flanschdichtflächen

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

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

Hinweis: Reste von Korrosionsschutzmitteln auf der Flanschdichtfläche (bei neuen Flanschen) beeinflussen sowohl die Leckage der Flanschverbindung als auch das Entfernen der Dichtungsreste bei einem nachfolgenden Dichtungswechsel negativ.

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 ggf. 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. Die Verwendung von Haftmitteln und Montagepasten ist 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 4 beschrieben. Die Herstellervorgaben sind einzuhalten.

Tabelle 4 — 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 Schmierstoffen zu behandeln³. Optimale Schmierung ist dann gegeben, wenn alle Gleitflächen wie das Gewinde, die Mutterauflagefläche und ggf. bei bewegtem Schraubenkopf auch die Kopfauflagefläche 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 Dünnschicht, 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.

³ 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.

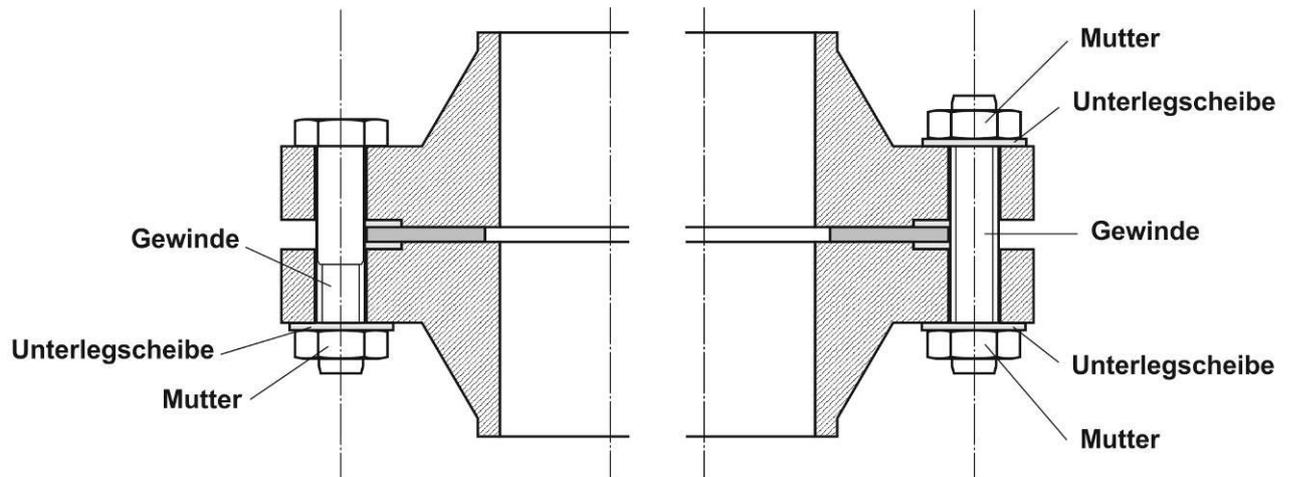


Bild 1 — Zu schmierende Elemente bei einer Flanschverbindung
(links Ausführung mit Schraube, rechts Ausführung mit Gewindestange)

Unterliegen die Schrauben Betriebstemperaturen von $> 250\text{ °C}$, so sind hitzebeständige Schmierstoffe zu verwenden.

Schmierstoffe sind sachgerecht zu lagern.

Ein Schmierstoff ist geeignet, wenn

1. er die richtige Schmierfähigkeit besitzt (Konsistenzklasse, NLGI-Klasse nach DIN 51818),
2. er mit den Werkstoffen und Betriebsmedien verträglich ist und
3. die empfohlenen Anwendungstemperaturen im Bereich der Betriebstemperaturen liegen.

Weiterhin ist ggf. eine FDA-Zulassung notwendig (H1-Schmierstoff). Diese Information ist nicht immer im Sicherheitsdatenblatt des Schmierstoffs aufgeführt, sondern befindet sich häufig in den Technischen Datenblättern oder Katalogen der Hersteller.

Tabelle 5 liefert eine beispielhafte Übersicht über gängige Schmierstoffe. Die Liste ist nicht als abschließend zu verstehen.

Tabelle 5 — Beispiele für Schmierstoffe

Schmierstoffe	Firma	Temp. [°C] ^a
725 NICKEL ANTI-SEIZE COMPOUND ^d	A. W. Chesterton Co	bis 1425
785	A. W. Chesterton Co	-34 bis +1204
Chesterton-Gleitpaste 78 ^d	A. W. Chesterton Co	-23 bis +538
Molykote 1000 ^d	Dow Corning GmbH	-30 bis +650
Molykote P-74 Paste	Dow Corning GmbH	-40 bis +1500
Klüberpaste HEL 46-450 ^d	Klüber Lubrication München KG	-40 bis +1000
Wolfrakote Top-Paste	Klüber Lubrication München KG	-25 bis +1000
OKS 235	OKS Spezialschmierstoffe GmbH	-40 bis +1100
OKS 250	OKS Spezialschmierstoffe GmbH	-40 bis +1400
High-Tech-Paste ASW 040 P ^d	PH Industrie-Hydraulik GmbH & Co. KG	-40 bis +1400
Mi-Setral – 9C Schraubenpaste (Kupferpaste) ^d	Setral Chemie GmbH	bis 1180
Für Sauerstoffanwendungen		
Klüberalfa YV 93-302, 60 g	Klüber Lubrication München KG	-60 bis + 60 ^c
Oxigenoex FF450	Klüber Lubrication München KG	-60 bis +60 ^b
FDA-zugelassene Schmierstoffe		
785 FG	A. W. Chesterton Co	-34 bis +1204
VA-Schmierstoffe		
PASTE HT-600	Gelubol GmbH	bis + 650° C
WEICON Anti-Seize "High-Tech"	WEICON GmbH & Co. KG	-40 bis + 1400
^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		

5.4 Einbau und Zentrierung der Dichtung

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

Empfehlung: Verwendung von Zentrierbolzen aus Kunststoff, damit Klaffung bzw. Versatz nicht beigehebelt werden kann.

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

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

Besondere Bedeutung hat die Klaffung bei sehr starren Rohrleitungen (z. B. beheizte / gekühlte Mantelleitungen, dickwandige 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 Nenndrehmomentes 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.

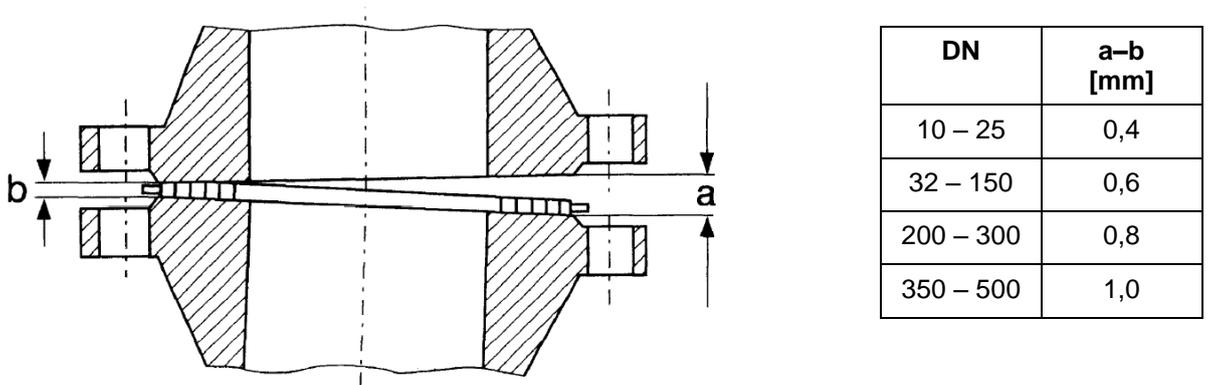


Bild 2 — Klaffung von Flanschen und Richtwerte für zulässige Klaffung = a-b

5.5 Aufbringen der erforderlichen Anzugsmomente

Um die Dichtheitsklasse von L0,01 zu erreichen, wurden nach DIN EN 1591-1 Anzugsmomente ermittelt (siehe Tabelle 6). 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. In den überwiegenden Fällen sind die zulässigen Spannungen für mindestens ein Bauteil der Flanschverbindung ausgeschöpft. Die mit dieser Vorgehensweise erreichte Vereinfachung zur Anwendung in der Praxis kompensiert die wenigen Fälle der nicht maximal ausgelasteten Spannungen.

Dichtungsgruppe A

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

Wellringdichtungen bis PN 40 sind hiermit abgedeckt.

Flachdichtungen mit Innenbördel für PN 10 – PN 25 sind ebenfalls abgedeckt, sofern die erforderlichen Kennwerte eingehalten werden. Im Normalfall sind die Leckagekurven gebördelter Dichtungen schlechter als die von ungebördelten, so dass in der Praxis das Problem besteht, ausreichend gute Kennwerte bei gebördelten Dichtungen zu finden.

Dichtungsgruppe B

Dichtung für Nut und Feder-Flansche (mit Faserdichtungen und metall-
 armierten Grafitdichtungen): PN 10 bis PN 40

Kammprofilichtung: PN 10 bis PN 100

Spiraldichtung mit Grafit: PN 10 bis PN 100

Tabelle 6 — Erforderliche Anzugsmomente für die Montage für Flansche nach DIN EN 1092-1 Typ 11 und Verbindungselemente (z. B. Schrauben, Gewindestange) 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 von mitarbeitenden Firmen stichpunktartig bestätigt.
^b Empfohlene Hebellänge 300 mm
^c Empfohlene Hebellänge 550 mm

Hinweis: Flansche aus austenitischem Stahl und Ferrit nach DIN EN 1092-1 sind maßgleich.

5.5.1 p/T-Rating und Festigkeit

Das p/T-Rating geht in die Berechnung der Anzugsmomente mit ein. Insbesondere oberhalb von DN 150 ist der Flansch häufig das limitierende Bauteil.

Bei den Berechnungen wurde in Bezug auf die Festigkeit der Flanschwerkstoff P245GH zugrunde gelegt. Damit sind auch höherfeste Werkstoffe abgedeckt.

Bei der Berechnung der Anzugsmomente wurden die höchst möglichen Temperaturen zugrunde gelegt. Üblicherweise sind die Temperaturen durch die maximal zulässige Temperatur der Werkstoffe bzw. der Dichtungen begrenzt. Damit ist man bei Tieftemperaturen auf jeden Fall auf der sicheren Seite.

Bei austenitischem Stahl geht man davon aus, dass sich die Festigkeit bei tiefen Temperaturen nicht ändert, so dass die Berechnungen Temperaturen bis -200 °C abdecken.

Die Kombination aus den Werkstoffen Flansch-Schraube-Dichtung muss für die jeweilige Temperatur geeignet sein.

5.5.2 Einsatz von DIN-Flanschen

Auch für DIN-Flansche, deren Abmessungen mit DIN EN 1092-1 identisch sind, gelten für die in Tabelle 7 angegebenen Nennweiten und PN-Stufen die Anzugsmomente nach Tabelle 6.

Tabelle 7 — 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

Die geringere Flanschblattstärke bei DIN-Flanschen < DN 50 gegenüber EN-Flanschen hat keinen Einfluss auf die Anzugsmomente.

Austenitische Vorschweißflansche für Maschinenschweißung nach PAS 1057-6 mit verminderten s-Maß (Ansatzwandstärke) sind durch die DIN-Flansche abgedeckt.

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 Vorspannkräfte und kann zu Unterschreitung der erforderlichen Mindestflächenpressung bis zur Undichtheit führen.

Nach dem Anziehen der Mutter sollten wenigstens zwei aber nicht mehr als fünf Gewindegänge am Schraubenende überstehen (siehe auch DIN 78). 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 Unterlegscheiben unter die Schraubenköpfe zu legen,
- bei horizontal angeordneten Flanschen die Schrauben von oben durchzustecken,
- schwergängige Schrauben durch leichtgängige zu ersetzen.

Der gleichzeitige Einsatz mehrerer Anzugswerkzeuge ist möglich.

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 umlaufend nachzuziehen. Dieser Vorgang ist so oft zu wiederholen, bis sich die Muttern bei Aufbringen des vollen Anzugsmomentes nicht mehr weiterdrehen lassen.

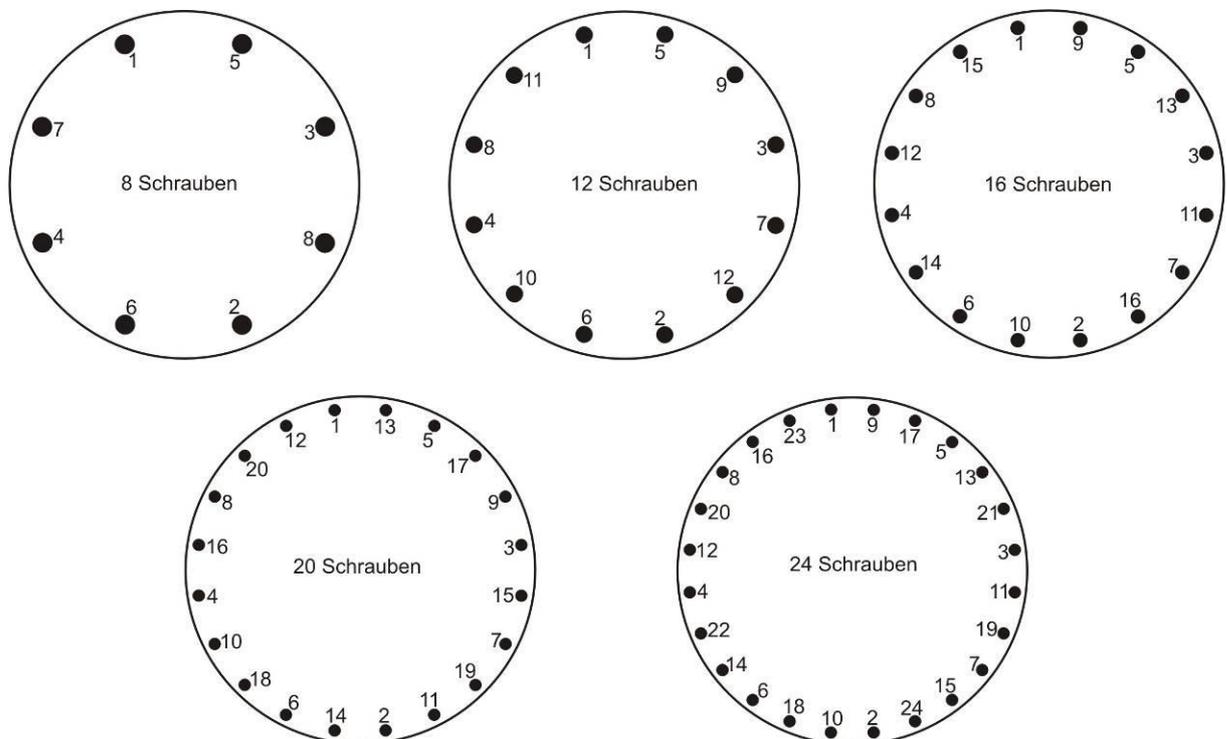


Bild 3 — Anzugsverfahren 1: Kreuzweises Anziehen der Schrauben

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

Ab DN 200⁴ kann alternativ folgendes Anzugsverfahren angewendet werden:

1. Wie in Bild 4 dargestellt 4 Schrauben mit 20 % des Sollanzugsmomentes anziehen,
2. analog zu 1. mit 60 % des Sollanzugsmomentes anziehen,
3. analog zu 1. mit 105 % des Sollanzugsmomentes anziehen und
4. umlaufendes Anziehen aller restlichen Schrauben mit 105 %.
5. Wiederholen des umlaufenden Nachziehens mit 105 %.

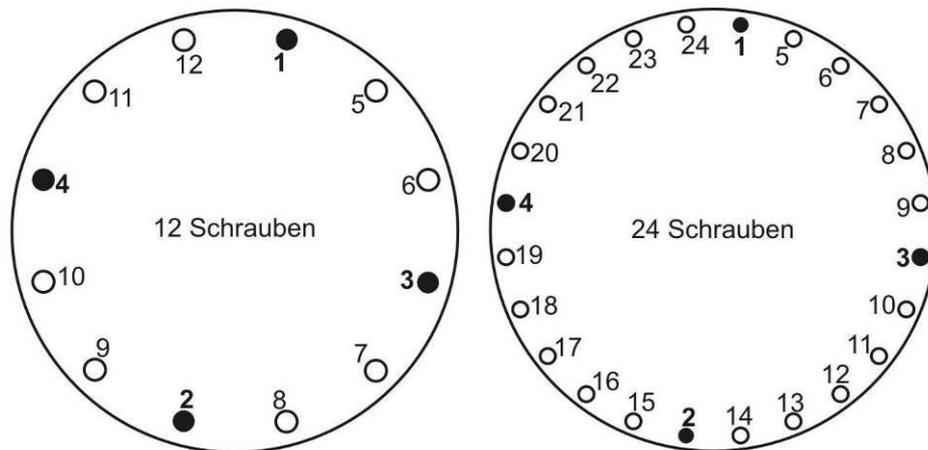


Bild 4 — Anzugsverfahren 2: Alternatives Anzugsverfahren

5.7 Qualitätssicherung und Dokumentation der Montage

5.7.1 Qualitätssicherung

Aus der Montageklasse ergibt sich, welche Maßnahmen zur Qualitätssicherung einschließlich der zugehörigen Dokumentation erforderlich sind, siehe Tabelle 8.

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 zusammengestellt, dieser Anhang kann auch zur Dokumentation der Prüfung der Flanschmontage bei Neuanlagen verwendet werden.

⁴ In diesen Fällen sind im Einbauzustand weder Schrauben noch Flansche voll ausgenutzt, deswegen wird durch das erhöhte Drehmoment die zulässige Spannung bei keinem Bauteil überschritten.

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

Tabelle 8 — Maßnahmen zur Qualitätssicherung je Montageklasse

Montage- klasse	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 zu entnehmen. Aufgrund des Setzverhaltens der Dichtung sollte die Prüfung des Drehmomentes frühestens 4 Stunden nach der Montage erfolgen. Zur Ermittlung der Prüf-Drehmomente wird das Anzugsmoment mit dem P_{QR} -Wert⁵ der Dichtung bei dem Q_A -Wert von 30 MPa bei Raumtemperatur multipliziert unter Berücksichtigung der Streuung beim Anziehen der Schrauben. Wird die Flanschverbindung unmittelbar nach der Montage überprüft, sind als Prüf-Drehmomente die Anzugsmomente⁶ zugrunde zu legen.

Die Prüfung des Anzugsmoments erfolgt da, wo die Schraubenverbindung angezogen wurde. Üblicherweise wird die Mutter angezogen. Aus diesem Grund wird hier auch die Unterlegscheibe unterlegt. Für die Prüfung wird der Drehmomentschlüssel auf das Prüfdrehmoment eingestellt und lässt sich die Mutter nicht weiter drehen, ist das erforderliche Anzugsmoment aufgebracht.

⁵ Kennwerte für die Dichtung sind zu finden in DIN EN 1591-2, den Dichtungsdatenblättern der Hersteller oder auf www.gasketdata.org.

⁶ Hinweis: Versuche haben gezeigt, dass der Einfluss der Haftreibung auf das Schraubenanzugsmoment kurz nach der Montage (noch kein Anstrich, keine Korrosion) gering ist.

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.

Für die Dokumentation der Montage ist z. B. die Herstellerbescheinigung inklusive Benennung der beteiligten Monteure ausreichend. Es ist nicht notwendig, dass die jeweilige Flanschverbindung einem bestimmten Monteur zuzuordnen ist. Damit wäre es zur Dokumentation der Montage ausreichend, wenn z. B. das an der Montage beteiligte Personal auf den Herstellungs- und Prüfbescheinigungen für Rohrleitungen benannt würde.

Zur Dokumentation der Prüfung der Flanschverbindung kann Anhang B verwendet werden. Eine individuelle Kennzeichnung von Flanschverbindungen kann sinnvoll sein.

5.8 Druck- und Dichtheitsprüfung

Druckprüfung (nach BetrSichV: Festigkeitsprüfung) und Dichtheitsprüfungen (nach BetrSichV: äußere Prüfung) sind nach der Qualitätssicherung der Montage durchzuführen.

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 in mindestens zwei Durchgängen 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.

7 Anwendung der Richtlinie VDI 2290 auf bestehende Anlagen

Die Rechtsgrundlage der Richtlinie VDI 2290 wird durch die Genehmigungsbehörde gegeben. Die Behörde kann die Einhaltung der Richtlinie VDI 2290 bei Genehmigung von Neuanlagen und ggf. im Rahmen einer behördlichen Prüfung fordern.

Auch wenn die Genehmigungsbehörde die Einhaltung der Richtlinie VDI 2290 bei bestehenden Anlagen noch nicht fordert, sollten bereits jetzt bei Installation, Wartungs- und Reparaturarbeiten im Bestand, die Anforderungen der Richtlinie VDI 2290 berücksichtigt werden.

Frühere Ausgaben

August 2011; Januar 2013; Mai 2014

Änderungen

Gegenüber der letzten Ausgabe wurden folgende Änderungen vorgenommen

- a) Normative Verweisungen aktualisiert
- b) Redaktionell überarbeitet
- c) Abschnitt 5.3 und Tabelle 5 ergänzt
- d) Neuer Abschnitt 4.7: Einsatz von Unterlegscheiben
- e) Neuer Abschnitt 5.5.1: p/T-Rating und Festigkeit
- f) Neuer Abschnitt 7: Anwendung der Richtlinie VDI 2290 auf bestehende Anlagen
- g) Bild 1 geändert