

	Erdöl- und Erdgasindustrie Auslegung und Verlegung von Rohrleitungssystemen auf Offshore-Förderplattformen (ISO 13703:2000 + Cor. 1:2002) Deutsche und englische Fassung EN ISO 13703:2000 + AC:2002	DIN EN ISO 13703
--	---	------------------------------------

ICS 75.180.10

Petroleum and natural gas industries — Design and installation of piping systems on offshore production platforms (ISO 13703:2000 + Cor. 1:2002); German and English version EN ISO 13703:2000 + AC:2002

Industries du pétrole et du gaz naturel — Conception et installation de systèmes de tuyauterie sur les plates-formes de production en mer (ISO 13703:2000 + Cor. 1:2002); Version allemande et anglaise EN ISO 13703:2000 + AC:2002

Die Europäische Norm EN ISO 13703:2000 hat den Status einer Deutschen Norm.

Nationales Vorwort

Diese Europäische Norm wurde vom Technischen Komitee CEN/TC 12 „Materialien, Ausrüstungen und Offshore-Bauwerke für die Erdöl-, petrochemische und Erdgasindustrie“ (Sekretariat: Frankreich) erstellt. Es handelt sich dabei um die unveränderte Übernahme von ISO 13703:2000 einschließlich dem Technischen Corrigendum 1:2002, erarbeitet von ISO/TC 67 „Materials, equipment and offshore structures for petroleum, petrochemical and natural gas industries“; Subkomitee SC 6, „Processing equipment and systems“ (Sekretariat: Frankreich). Mit dem Technischen Corrigendum 1:2002 wird in A.3.2.4 die Formel A.8 berichtigt.

Fortsetzung 167 Seiten EN

Normenausschuss Erdöl- und Erdgasgewinnung (NÖG) im DIN Deutsches Institut für Normung e. V.
Normenausschuss Rohrleitungen und Dampfkesselanlagen (NARD) im DIN

— Leerseite —

Deutsche Fassung

**Erdöl- und Erdgasindustrie — Auslegung und Verlegung
von Rohrleitungssystemen auf Offshore-Förderplattformen
(ISO 13703:2000 + AC:2002)**

Petroleum and natural gas industries - Design and
installation of piping systems on offshore production
platforms (ISO 13703:2000 + AC:2002)

Industries du pétrole et du gaz naturel - Conception et
installation de systèmes de tuyauterie sur les plates-formes
de production en mer (ISO 13703:2000 + AC:2002)

Diese Europäische Norm wurde vom CEN am 9. Dezember 2000 angenommen.

Die CEN-Mitglieder sind gehalten, die CEN/CENELEC-Geschäftsordnung zu erfüllen, in der die Bedingungen festgelegt sind, unter denen dieser Europäischen Norm ohne jede Änderung der Status einer nationalen Norm zu geben ist. Auf dem letzten Stand befindliche Listen dieser nationalen Normen mit ihren bibliographischen Angaben sind beim Management-Zentrum oder bei jedem CEN-Mitglied auf Anfrage erhältlich.

Diese Europäische Norm besteht in drei offiziellen Fassungen (Deutsch, Englisch, Französisch). Eine Fassung in einer anderen Sprache, die von einem CEN-Mitglied in eigener Verantwortung durch Übersetzung in seine Landessprache gemacht und dem Management-Zentrum mitgeteilt worden ist, hat den gleichen Status wie die offiziellen Fassungen.

CEN-Mitglieder sind die nationalen Normungsinstitute von Belgien, Dänemark, Deutschland, Finnland, Frankreich, Griechenland, Irland, Island, Italien, Luxemburg, Niederlande, Norwegen, Österreich, Portugal, Schweden, Schweiz, Spanien, der Tschechischen Republik und dem Vereinigten Königreich.



EUROPÄISCHES KOMITEE FÜR NORMUNG
EUROPEAN COMMITTEE FOR STANDARDIZATION
COMITÉ EUROPÉEN DE NORMALISATION

Management-Zentrum: rue de Stassart, 36 B-1050 Brüssel

Inhalt

	Seite
Vorwort	3
Einleitung.....	3
1 Anwendungsbereich.....	4
2 Normative Verweisungen.....	4
3 Begriffe, Symbole und Abkürzungen.....	4
3.1 Begriffe	4
3.2 Symbole und Abkürzungen	7
4 Allgemeines	9
4.1 Werkstoffe	9
4.2 Technische Regel für druckbeaufschlagte Rohrleitungen.....	9
4.3 Abgrenzung zwischen Systemen mit unterschiedlichen Druckstufen	10
4.4 Korrosion	12
5 Auslegung der Rohrleitung	13
5.1 Werkstoffsorten des Rohres.....	13
5.2 Bemessungskriterien — Allgemeines	15
5.3 Bemessungsverfahren für Flüssigkeitsleitungen	16
5.4 Kriterien für die Bemessung von Gasleitungen (einphasig).....	23
5.5 Kriterien für die Bemessung von Gas-/Flüssigkeitsleitungen (zweiphasig)	27
5.6 Rohrwanddicken	30
5.7 Verbindungsanschlüsse	34
5.8 Ausdehnung und Flexibilität	35
5.9 Vorgaben für die Inbetriebnahme	36
6 Auswahl von Armaturen	36
6.1 Allgemeines.....	36
6.2 Armaturenbauarten.....	37
6.3 Feuerbeständigkeit von Armaturen	39
6.4 Bemessung der Armaturen.....	39
6.5 Druck/Temperatur-Zuordnungen der Armaturen	40
6.6 Armaturenwerkstoffe.....	40
7 Fittings und Flansche.....	41
7.1 Allgemeines	41
7.2 Anschweißfittings	42
7.3 Gewindeformstücke.....	42
7.4 Abzweiganschlüsse.....	42
7.5 Flansche	43
7.6 Herstellerspezifische Rohrverbinder	45
7.7 Besondere Anforderungen für den Betrieb unter Einwirkung von sulfidinduzierter Spannungsrisssbildung.....	45
7.8 Vermeidung von Erosion	45
8 Auslegungskriterien für spezielle Rohrleitungssysteme	45
8.1 Allgemeines	45
8.2 Zubehörteile für den Bohrlochkopf.....	46
8.3 Förderleitung und Zubehörteile für die Förderleitung	46
8.4 Produktions-Manifolds.....	50
8.5 Rohrleitungen für den Prozessbehälter	50
8.6 Versorgungssysteme	52
8.7 Systeme für Heizfluide und Glykol.....	53
8.8 Systeme für Druckentlastung und Entsorgung.....	53
8.9 Entleerungssysteme.....	55
8.10 Sattelrohrleitungen zwischen Plattformen.....	56
8.11 Steigleitungen	56
8.12 Ventile für die Probenentnahme.....	56

	Seite
9 Festlegungen für weitere relevante Aspekte	56
9.1 Allgemeines	56
9.2 Auslegung	56
9.3 Höhenunterschiede	56
9.4 Rohrleitungs-Abstützungen	57
9.5 Weitere Festlegungen im Hinblick auf Korrosion	57
9.6 Wärme- und Kälte­dämmung	59
9.7 Geräuschverhalten	61
9.8 Tabellen für Rohre, Armaturen und Fittings	62
9.9 Prüfung, Instandhaltung, Reparatur und Modifizierung	62
10 Einbau und Qualitätskontrolle	62
10.1 Allgemeines	62
10.2 Schweißen	62
10.3 Druckprüfung	63
10.4 Prüfbericht	64
Anhang A (informativ) Beispiele für Problemstellungen	65
Anhang B (informativ) Beispiele für Tabellen für Rohre, Armaturen und Fittings	76
Anhang C (informativ) Zulässige Ausführungen einer Stumpfschweißnaht bei ungleichen Wanddicken	79
Literaturhinweise	81

Vorwort

Dieses Dokument (ISO 13703:2000) wurde vom Technischen Komitee ISO/TC 67, "Materials, equipment an offshore structures for petroleum and naturel gas industries" in Zusammenarbeit mit dem Technischen Komitee CEN/TC 12 "Materials, equipment an offshore structures for petroleum and naturel gas industries" erarbeitet, dessen Sekretariat von AFNOR gehalten wird.

Dieses Europäische Dokument muss den Status einer nationalen Norm erhalten, entweder durch Veröffentlichung eines identischen Textes oder durch Anerkennung bis Juni 2001, und etwaige entgegenstehende nationale Normen müssen bis Juni 2001 zurückgezogen werden.

Entsprechend der CEN/CENELEC-Geschäftsordnung sind die nationalen Normungsinstitute der folgenden Länder gehalten, diese Europäische Norm zu übernehmen: Belgien, Dänemark, Deutschland, Finnland, Frankreich, Griechenland, Irland, Island, Italien, Luxemburg, Niederlande, Norwegen, Österreich, Portugal, Schweden, Schweiz, Spanien, die Tschechische Republik und das Vereinigte Königreich.

Anerkennungsnotiz

Der Text der Internationalen Norm ISO 13703:2000 wurde von CEN als Europäische Norm ohne irgendeine Abänderung genehmigt.

Einleitung

Diese Internationale Norm wurde auf der Grundlage der Norm API RP 14E, 5. Ausgabe, Oktober 1991, erstellt.

1 Anwendungsbereich

Diese Internationale Norm legt Mindestanforderungen fest und enthält einen Leitfaden für die Auslegung und Verlegung von neuen Rohrleitungssystemen auf Offshore-Förderplattformen für die Erdöl- und Erdgasindustrien. Die Norm gilt für Rohrleitungssysteme bis max. 60 000 kPa (ga) mit Temperaturgrenzwerten für die Werkstoffe in Übereinstimmung mit den Anforderungen in ASME B 31.3.

ANMERKUNG Für Anwendungsfälle außerhalb dieser Druck- und Temperaturbereiche kann diese Internationale Norm angewendet werden, jedoch sollte besonders auf die Werkstoffeigenschaften geachtet werden.

Anhang A enthält einige Lösungsbeispiele für Problemfälle bei der Auslegung von Rohrleitungen.

2 Normative Verweisungen

Diese Europäische Norm enthält durch datierte oder undatierte Verweisungen Festlegungen aus anderen Publikationen. Diese normativen Verweisungen sind an den jeweiligen Stellen im Text zitiert, und die Publikationen sind nachstehend aufgeführt. Bei datierten Verweisungen gehören spätere Änderungen oder Überarbeitungen nur zu dieser Europäischen Norm, falls sie durch Änderung oder Überarbeitung eingearbeitet sind. Bei undatierten Verweisungen gilt die letzte Ausgabe der in Bezug genommenen Publikation (einschließlich Änderungen).

ISO 13623, *Petroleum and natural gas industries — Pipeline transportation systems*.

API RP 520-2¹⁾, *Recommended practice for design and installation of pressure-relieving systems in refineries — Part 2*.

ASME²⁾, *Boiler and pressure vessel code: Section VIII: Pressure vessels, Division 1*.

ASME B 31.3, *Process piping*.

NACE MR0175³⁾, *Sulfide stress cracking resistant metallic materials for oil field equipment*.

NACE TM0177, *Laboratory testing of metals for resistance to specific forms of environmental cracking in H₂S environments*.

NACE TM0284, *Evaluation of pipeline and pressure vessel steels for resistance to hydrogen-induced cracking*.

3 Begriffe, Symbole und Abkürzungen

Für die Anwendung dieser Internationalen Norm gelten die folgenden Begriffe, Symbole und Abkürzungen.

3.1 Begriffe

3.1.1

Betrieb unter Einwirkung von chloridinduzierter Spannungsrisskorrosion

Betrieb, bei dem der Prozessstrom Wasser und Chloride in einer Konzentration und so hohen Temperatur enthält, dass bei empfindlichen Werkstoffen Spannungsrisskorrosion ausgelöst wird

ANMERKUNG Weitere vorhandene Komponenten, z. B. Sauerstoff (O₂) können an dieser chloridinduzierten Spannungsrisskorrosion beteiligt sein.

3.1.2

Düse/Drossel

Einrichtung, die den Zweck hat, den Durchfluss von Fluiden herabzusetzen

1) American Petroleum Institute, 1220 L Street, N.W., Washington, DC 20005-4070, U.S.A.

2) American Society of Mechanical Engineers, 345 East 47th Street, New York, N.Y. 10017, U.S.A.

3) National Association of Corrosion Engineers, P.O. Box 218340, Houston, Texas 77218-8340, U.S.A.



3.1.3

Erosionskorrosion

Abtragen eines Schutzfilmes aus Korrosionsprodukten durch die Einwirkung des Prozessstroms, wodurch Grundmetall freigelegt wird, der dann korrodiert

ANMERKUNG Unter diesen Bedingungen kann ein extrem hoher Masseverlust an Metall auftreten.

3.1.4

Schadgas

Gas, das bei Auflösung in Wasser oder anderen Flüssigkeiten eine Korrosion des Metalls bewirkt

ANMERKUNG Schadgase enthalten üblicherweise Schwefelwasserstoff (H_2S), Kohlendioxid (CO_2) und/oder Sauerstoff (O_2).

3.1.5

Betrieb unter Einwirkung von korrosivem Kohlenwasserstoff

Betrieb, bei dem der Prozessstrom Wasser oder Sole und Kohlendioxid (CO_2), Schwefelwasserstoff (H_2S) oder andere Korrosionsmittel in Konzentrationen enthält, die eine Korrosion des Metalls bewirken

3.1.6

Dehnungsausgleicher

Wellrohr-Kompensatoren, die so ausgelegt sind, dass sie Dehnungen und Schrumpfungen aufnehmen

3.1.7

Dehnungsbogen

Gestaltung der Rohrleitung, durch die Dehnungen und Schrumpfungen aufgenommen werden

3.1.8

Förderleitung

Rohrleitung für die Förderung von Bohrlochflüssigkeit vom Bohrlochkopf zum Manifold oder ersten Prozessbehälter

3.1.9

Fließregime

Strömungsbedingung eines mehrphasigen Prozessstroms

BEISPIEL Zähflüssiger Durchfluss, Nebel (Dunst), schichtenförmig.

3.1.10

Fluid

Gas, Dampf, Flüssigkeit oder deren Kombinationen

3.1.11

Sammler

Teil eines Manifolds, der das Fluid in ein bestimmtes Prozesssystem leitet

Siehe Bilder 5 und 6

3.1.12

Kohlenwasserstoff-Benetzbarkeit

Fähigkeit des Prozessstroms, auf Metalloberflächen einen Kohlenwasserstoff-Schutzfilm zu bilden

3.1.13

Manifold

Baugruppe, bestehend aus Rohren, Armaturen und Formstücken, durch die Fluide aus einer oder mehreren Quellen gezielt in unterschiedliche Prozesssysteme geleitet werden

3.1.14

Nippel

Teil eines Rohres mit Gewinde- oder Schweißmuffenende, mit einer Länge unter 300 mm, das als Zubehör verwendet wird

3.1.15

Rohr-Nennweite

Nennweite

NPS

DN

Größenbezeichnung in Inch, die für alle Bauteile eines Rohrleitungssystems gilt, die nicht durch den Außendurchmesser bestimmt werden

ANMERKUNG Die Rohr-Nennweite wird durch die Buchstaben NPS (Inch) bzw. DN (mm), gefolgt von einer Zahl, bestimmt. Sie ist eine geeignete runde Zahl, die als Bezugsgröße anzusehen ist und ist in der Regel nur näherungsweise auf die Fertigungsabmessungen bezogen.

3.1.16

Betrieb unter Einwirkung von nichtkorrosivem Kohlenwasserstoff

Betrieb, bei dem die Prozessstrombedingungen keinen bedeutenden Masseverlust an Metall, selektiv wirkenden Angriff, chlorid- oder sulfidinduzierte Spannungsrisskorrosion bewirken

3.1.17

Normalbedingungen

Absolutdruck 101, 325 kPa und Temperatur 0 °C

3.1.18

Plattform-Rohrleitung

jede Rohrleitung auf einer Plattform, die Fluid enthält oder durch die ein Fluid auf eine Plattform befördert wird

3.1.19

Druckstufe

Zahl, die sich auf den Druck bezieht, für den ein System geeignet ist

ANMERKUNG Die Zahl kann sich direkt auf den Nenn-Arbeitsdruck beziehen (z. B. ISO 10423 [1] Druckstufe 13,8 MPa und API-Druckstufe 2000 psi) oder einen mehr indirekten Zusammenhang haben (z. B. ASME Class 300).

3.1.20

Druckmesswertgeber

Gerät zur Feststellung eines vorgegebenen Druckes

3.1.21

Prozessbauteil

einzelnes Funktionsteil der Fördereinrichtung und zugehörige Rohrleitung

BEISPIEL Druckbehälter, Heizeinrichtung, Pumpe usw.

3.1.22

Steigleitung (Riser)

vertikal verlaufender Teil einer Rohrleitung (einschließlich Boden-Rohrbogen), der auf eine Plattform oder von dieser wegführt

3.1.23

Absperrventil

selbsttätig arbeitendes Ventil für die Abtrennung eines Prozessbauteils oder Prozesssystems

3.1.24

Betrieb unter Einwirkung von sulfidinduzierter Spannungsrisskorrosion

Betrieb, bei dem der Prozessstrom Wasser oder Sole enthält sowie Schwefelwasserstoff (H₂S) in einer Konzentration, die bei empfindlichen Werkstoffen sulfidinduzierte Spannungsrisskorrosion auslöst

3.1.25

Bohrlochkopf-Druck

maximaler Druck, der in einem Bohrlochkopf herrschen kann

3.2 Symbole und Abkürzungen

3.2.1 Symbole

A	engster Strömungsquerschnitt des Rohres, der bezogen auf den Volumenstrom erforderlich ist, in Quadratmillimeter je Kubikmeter je Stunde ($\text{mm}^2/\text{m}^3/\text{h}$);
B	mittlerer Wärmeausdehnungskoeffizient bei üblichen Arbeitstemperaturen, in Millimeter je Kelvin (mm/K);
C	empirische Konstante, dimensionslos;
C_e	Gesamtwert aus Korrosion, mechanischer Festigkeit und Gewindezuschlag, in Millimeter (mm);
C_v	Armaturenkoeffizient, dimensionslos;

ANMERKUNG 1 Dieser Wert entspricht der Durchflussmenge an Wasser in US gpm bei 60 °F, die erforderlich ist, um einen Druckabfall von 1 psi zu bewirken (US-Einheiten werden nur in diesem Fall verwendet, um die Übereinstimmung mit weiteren veröffentlichten Daten sicherzustellen).

D_i	Rohr-Innendurchmesser, in Meter (m);
D_o	Rohr-Außendurchmesser, in Millimeter (mm);
d_i	Rohr-Innendurchmesser, in Millimeter (mm);
d_g	relative Dichte von Gas (Luft = 1), dimensionslos;
d_L	relative Dichte von Flüssigkeit (Wasser = 1), dimensionslos;
E	Längsschweißnahtfaktor, dimensionslos;
E_m	Elastizitätsmodul von Rohrleitungswerkstoff im kaltbearbeiteten Zustand, in Newton je Quadratmillimeter (N/mm^2);
f	Reibungszahl nach Moody, dimensionslos;
g	Gravitationskonstante, in Meter je Sekunde im Quadrat (m/s^2);
h_a	Beschleunigungsdruckhöhe, in Meter (m) Flüssigkeit;
h_f	Reibungshöhe, in Meter (m) Flüssigkeit;
h_p	absolute Druckhöhe, in Meter (m) Flüssigkeit
h_{st}	statische Druckhöhe, in Meter (m) Flüssigkeit;
h_{vh}	dynamische Druckhöhe, in Meter (m) Flüssigkeit;
h_{vpa}	absoluter Dampfdruck, in Meter (m) Flüssigkeit;
h_W	Druckverlust, in Kilopascal (kPa);
K	Beschleunigungsfaktor, dimensionslos;
L	Fertigungslänge des Rohres, in Meter (m);
L_m	Rohrlänge, in Kilometer (km);
m	Fertigungstoleranz für die Wanddicke, in Prozent (%);

$NPSH_a$ größtmögliche Saughöhe (Haltedruckhöhe), in Meter (m) Flüssigkeit;

p Arbeitsdruck, in Kilopascal [kPa (abs)];

ANMERKUNG 2 Im Text auch als „Fließdruck“ bezeichnet.

p_i innerer Auslegungsdruck, in Kilopascal [kPa (ga)];

q_g Gasmassenstrom, in Kubikmeter je Stunde (m^3/h) unter Normalbedingungen;

q_L Flüssigkeitsmassenstrom, in Kubikmeter je Stunde (m^3/h);

q_m Gesamt-Massendurchsatz Flüssigkeit plus Dampf, in Kilogramm je Stunde (kg/h);

R Gas/Flüssigkeits-Volumenverhältnis, dimensionslos;

Re Reynoldszahl, dimensionslos;

R_p Pumpendrehzahl, in Umdrehungen je Minute (r/min);

S zulässige Spannung, in Newton je Quadratmillimeter (N/mm^2);

T Arbeitstemperatur, in Kelvin (K);

ANMERKUNG 3 Im Text auch als „Fließtemperatur“ bezeichnet.

t Auslegungsdicke, bezogen auf den Druck, in Millimeter (mm);

t_{nom} Mindest-Nennwanddicke des Rohres, in Millimeter (mm);

U Festpunktabstand (gerader Abstand zwischen Verankerungen), in Metern (m);

v_e Erosionsgeschwindigkeit des Fluids, in Meter je Sekunde (m/s);

v_g durchschnittliche Geschwindigkeit des Gases, in Meter je Sekunde (m/s);

ANMERKUNG 4 Im Text auch als „Gasgeschwindigkeit“ bezeichnet.

v_L durchschnittliche Geschwindigkeit der Flüssigkeit, in Meter je Sekunde (m/s);

y Gesamt-Dehnungsresultierende auf Grund von Verlagerungen, in Millimeter (mm);

Y Temperaturfaktor, dimensionslos;

Z Realgasfaktor, dimensionslos;

ΔL vom Rohr aufzunehmende Dehnung, in Millimeter (mm);

Δp Druckabfall, in Kilopascal (kPa);

ρ_g Gasdichte bei Arbeitsdruck und -temperatur, in Kilogramm je Kubikmeter (kg/m^3);

ρ_L Flüssigkeitsdichte bei Arbeitstemperatur, in Kilogramm je Kubikmeter (kg/m^3);

ρ_m Dichte des Gas-/Flüssigkeitsgemischs bei Arbeitsdruck und -temperatur, in Kilogramm je Kubikmeter (kg/m^3);

ΔT Temperaturänderung, in Kelvin (K);

μ_g Viskosität des Gases bei Fließdruck und -temperatur, in Pascal Sekunden (Pa s);

μ_L Viskosität der Flüssigkeit, in Pascal Sekunden (Pa s).

3.2.2 Abkürzungen

ERW	elektrisches Widerstandsschweißen
PWHT	Wärmenachbehandlung
RF	Dichtfläche mit Arbeitsleiste
RTJ	Ring-Joint-Dichtung
SAW	Unterpulverschweißen (UP)
SMYS	festgelegte Mindest-Streckgrenze

4 Allgemeines

4.1 Werkstoffe

Werkstoffe aus unlegiertem Stahl sind für viele auf Förderplattformen verwendeten Rohrleitungssysteme geeignet, obwohl nichtrostende Stähle und andere Werkstoffe ebenfalls häufig verwendet werden. Bei der Auswahl von Rohrleitungswerkstoffen sollten folgende Punkte beachtet werden:

- a) Art des Betriebs;
- b) Verträglichkeit mit anderen Werkstoffen;
- c) mechanische Festigkeit, Duktilität, Elastizität, Zähigkeit;
- d) Notwendigkeit besonderer Schweißverfahren oder anderer Verbindungstechniken;
- e) Notwendigkeit besonderer Inspektionen, Prüfungen oder Qualitätskontrollen;
- f) mögliche falsche Verwendung, bezogen auf den Anwendungsfall;
- g) durch Fluide und/oder Meeresumgebung bedingte Korrosion und Erosion;
- h) Notwendigkeit der Funktionssicherheit bei Feuer.

4.2 Technische Regel für druckbeaufschlagte Rohrleitungen

4.2.1 Auslegung und Verlegung von Rohrleitungen auf Plattformen müssen ASME B31.3 erfolgen unter Berücksichtigung der in dieser Internationalen Norm enthaltenen Änderungen. Steigleitungen, für die ASME B31.3 nicht gilt, sollten nach 4.2.2 bis 4.2.6 ausgelegt und verlegt werden.

4.2.2 Auslegung, Bau, Inspektion und Prüfung von Steigleitungen müssen nach ISO 13623 sowie den für den Anwendungsfall zutreffenden behördlichen Regeln und Vorschriften erfolgen, wobei die zulässige Spannung höchstens das 0,6fache der festgelegten Mindest-Streckgrenze betragen darf. Technische Regeln für die Auslegung der Rohrleitung können von Molchschleuse zu Molchschleuse angewendet werden, sofern sie nicht durch nationale Vorschriften ausgenommen sind.

4.2.3 Die Schweißnähte von Steigrohrleitungen sollten einer 100 % Durchstrahlungsprüfung unterzogen werden. Die zerstörungsfreie Prüfung von Rohrleitungen auf Plattformen nach ASME B31.3 sollte mindestens den Festlegungen in Tabelle 10 der vorliegenden Internationalen Norm entsprechen.

4.2.4 Kerbschlagbiegeversuche müssen nach den Festlegungen in ASME B31.3 durchgeführt werden. Bei der Auslegung von Hochdruck-Rohrleitungen (d. h. über ASME Class 2 500) sind besondere Aspekte zu beachten und es müssen die Anforderungen für Hochdruck-Rohrleitungen nach ASME B31.3 beachtet werden.

4.2.5 Armaturen, Formstücke und Flansche sollten nach internationalen und/oder nationalen Normen hergestellt werden. Druck/Temperatur-Zuordnungen und Werkstoffverträglichkeit sollten überprüft werden.

4.2.6 Bei der Festlegung des Übergangs zwischen Steigleitungen und Plattform-Rohrleitungen, für die diese Regeln gelten, setzen die erste Armatur am Eintritt und die letzte Armatur am Austritt, die den Durchfluss durch die Rohrleitung absperren, die Grenzen für den Anwendungsbereich dieser Internationalen Norm. Ausgenommen sind Wanddickenberechnungen von Steigleitungen und Werkstoffauswahl, die nach einer Rohrleitungs-Regel erfolgen können, um so einen konstanten Durchgang für Molchfahrten zu erreichen. In dieser Internationalen Norm empfohlene Verfahren können für die Auslegung von Steigleitungen zu Grunde gelegt werden, sofern Faktoren wie z. B. die Wassertiefe, Verstreubung von Plattformstützen, Bereiche mit möglicher Blasenbildung usw. berücksichtigt werden. In nationalen Vorschriften kann die durchgehende Anwendung der Rohrleitungs-Regel für die Molchfahrt zwischen Sende- und Empfangsstation verlangt werden.

4.2.7 Eine Rohrleitungs-Regel wird üblicherweise auch von der Steigleitung bis zur Molchschleuse unter Einschluss des Rohrnetzes und der ersten Armatur an jedem Abzweig der Steigleitung/Rohrleitung angewendet.

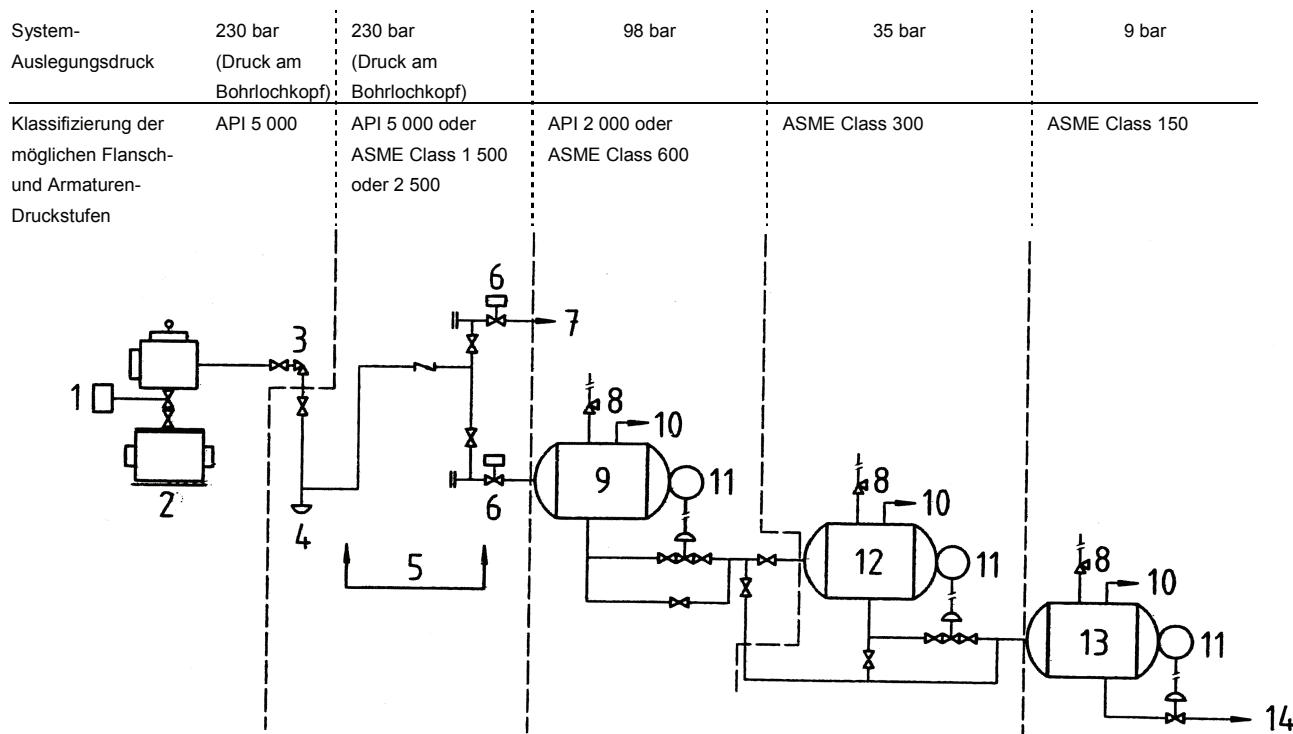
4.3 Abgrenzung zwischen Systemen mit unterschiedlichen Druckstufen

4.3.1 Üblicherweise wird der Druck, nachdem der Bohrlochstrom den Bohrlochkopf verlässt, stufenweise reduziert.

Nach der Druckabsenkung können Prozessbauteile mit niedrigeren Druckstufen verwendet werden. Ein typisches Beispiel ist in Bild 1 dargestellt.

4.3.2 Ein drucktragendes Prozessbauteil muss entweder so ausgelegt sein, dass es dem unter beliebigen Bedingungen möglicherweise auftretenden Druck standhält oder es muss durch eine Druckentlastungseinrichtung abgesichert sein. Eine Druckentlastungseinrichtung ist in diesem Fall ein Druck-Sicherheitsventil oder eine Berstscheibe. Im allgemeinen sollten bei der Feststellung, ob Druckentlastungseinrichtungen benötigt werden, Hochdruck-Absperrventile, Rückflußverhinderer, Regelventile oder weitere ähnliche Einrichtungen nicht für den Zweck vorgesehen werden, eine Drucküberschreitung der Prozessbauteile zu verhindern.

4.3.3 In Rohrleitungs- und Instrumentendiagrammen müssen die jeweiligen Grenzen der Druckstufe angegeben sein. Jedes Anlagenbauteil (Behälter, Flansche, Rohr bzw. Zubehörteile) muss so ausgelegt sein, dass es dem höchsten unter vorhersehbaren Bedingungen möglicherweise auftretenden Druck standhält oder es muss durch eine Druckentlastungseinrichtung abgesichert sein. Außergewöhnliche Druckbedingungen, z. B. beim Anfahren, Abfahren, Druckstöße usw. sind zu berücksichtigen.



ANMERKUNG 1 Die Auslegungstemperatur insgesamt beträgt 65 °C.

ANMERKUNG 2 Die erforderlichen Sensoren an den Absperrventilen sind nicht dargestellt.

ANMERKUNG 3 Förderleitung und Manifold sind für den Bohrlochkopfdruck ausgelegt.

ANMERKUNG 4 System-Auslegungsdrücke können auch durch andere Faktoren als die Flansch- und Armaturendruck-Stufen begrenzt werden (z. B. Rohrwanddicke, Auslegungsdruck des Abscheiders usw.).

ANMERKUNG 5 Vorgeschalte Absperrventile dürfen nur eingebaut werden, wenn noch zusätzliche Entlastungsventile eingebaut sind und es ist dann wichtig, dass alle Absperrventile verriegelt sind, um sicherzustellen, dass das druckbeaufschlagte System zu jeder Zeit geschützt ist.

Legende

- 1 Hauptabsperrschieber oben
- 2 Bohrlochkopf
- 3 Flügelklappe
- 4 T-Stück für Steigrohr
- 5 Manifold
- 6 Absperrventil
- 7 zu anderen Systemen
- 8 Drucksicherheitsventil
- 9 Hochdruckabscheider
- 10 Gas-Austrittsöffnung
- 11 Füllstandregler
- 12 Mitteldruckabscheider
- 13 Niederdruckabscheider
- 14 Handhabung, Lagerung oder Vertrieb

Bild 1 — Beispiel für ein Prozesssystem mit Angabe der Änderungen der Flansch- und Armaturen-Druckstufen

4.4 Korrosion

4.4.1 Allgemeines

Genauere Verfahrensweisen für die Korrosionsüberwachung von Rohrleitungssystemen auf Plattformen fallen nicht in den Anwendungsbereich dieser Internationalen Norm. Diese Verfahren sollten in der Regel von Spezialisten für die Korrosionsüberwachung entwickelt werden. Rohrleitungssysteme auf Plattformen sollten jedoch so ausgelegt sein, dass sie für die nachstehend beschriebenen Korrosionsüberwachungsverfahren geeignet und kompatibel sind. Empfehlungen für korrosionsbeständige Werkstoffe und Schutzverfahren sind in den einschlägigen Abschnitten dieser Internationalen Norm enthalten.

Die Korrosivität von Prozessströmen kann sich mit der Zeit verändern. Die Möglichkeit sich verändernder Bedingungen sollte im Entwurfsstadium berücksichtigt werden.

4.4.2 Abtragende Korrosion

Rohrleitungssysteme aus unlegierten Stählen auf Plattformen können unter bestimmten Prozessbedingungen korrodieren. Förderprozessströme, die Wasser, Sole, Kohlendioxid (CO₂), Schwefelwasserstoff (H₂S) oder Sauerstoff (O₂) oder deren Kombinationen enthalten, können auf die für Systembauteile verwendeten Werkstoffe eine korrodierende Wirkung haben. Die Art des Korrosionsangriffes (gleichmäßiger Materialverlust, Lochkorrosion, Erosionskorrosion usw.) sowie die jeweilige Korrosionsgeschwindigkeit können sich innerhalb des gleichen Systems sowie mit der Zeit verändern. Die Korrosivität eines Prozessstroms ist eine komplexe Funktion mit vielen Variablen, einschließlich:

- a) Gehalt an Kohlenwasserstoff, Wasser, Salz und korrosivem Gas;
- b) Kohlenwasserstoff-Benetzbarkeit;
- c) Fließgeschwindigkeit, Fließregime und Anordnung der Rohrleitung;
- d) Temperatur, Druck und pH;
- e) Gehalt an Feststoffen (Sand, Schlick, bakterieller Schlamm und Mikroorganismen, Korrosionsprodukte und Verzunderung).

Korrosivitätsprognosen sind qualitativer Natur und können für jedes System anders aussehen. Einige Angaben über die Aggressivität von Schadgasen in Förderströmen sind in Tabelle 1 enthalten.

Tabelle 1 stellt nur einen allgemeinen Leitfaden für Korrosionsschutzbetrachtungen dar und enthält keine bestimmten Prognosen für die Korrosivität. Die Korrosionshemmung ist ein wirksames Verfahren des Korrosionsschutzes, wenn Korrosionsbedingungen vorhersehbar oder zu erwarten sind (siehe 5.1.2).

Tabelle 1 — Qualitative Richtlinie für die abtragende Korrosion bei Stahl

Schadgas	Löslichkeits- verhältnis ^a × 10 ⁻⁶	Grenzwerte für Sole	
		Verhältnis der Korrosionsbeständigkeit × 10 ⁻⁶	Korrosionsverhältnis × 10 ⁻⁶
Sauerstoff (O ₂)	8	< 0,005	> 0,025
Kohlendioxid (CO ₂)	1 700	> 600	> 1 200
Schwefelwasserstoff (H ₂ S)	3 900	Siehe Anmerkung	Siehe Anmerkung

ANMERKUNG Diese Tabelle enthält keine Grenzwerte für die abtragende Korrosion durch Schwefelwasserstoff, da der Gehalt an Kohlendioxid und/oder Sauerstoff die Korrosionsgeschwindigkeit (Werkstoffabtrag) stark beeinflusst. Schwefelwasserstoff allein ist im allgemeinen weniger korrosiv als Kohlendioxid, da sich ein unlöslicher Eisensulfidfilm bildet, wodurch der Metallverlust durch Korrosion reduziert wird.

^a Löslichkeitsverhältnis zum Volumen. Löslichkeit bei 20 °C in destilliertem Wasser bei 1 atm. Partialdruck. Sauerstoff (O₂) ist bei 1 atm Luftdruck. Quelle: [3]

4.4.3 Chloridinduzierte Spannungsrissskorrosion

Die Auswirkungen von Spannungen und Chloriden sind besonders zu beachten, wenn Legierungsstähle und nicht-rostende Stähle gewählt werden, um Korrosion durch Schwefelwasserstoff und/oder Kohlendioxid zu verhindern. Prozessströme mit chloridhaltigem Wasser können bei empfindlichen Werkstoffen Rissbildung verursachen, insbesondere, wenn Sauerstoff enthalten ist und die Temperatur über 60 °C liegt. Hochlegierte Stähle und nichtrostende Stähle, z. B. die austenitischen nichtrostenden Stähle der AISI 300-Reihe, ausgehärtete nichtrostende Stähle, sowie „A-286“ (ASTM A 453) [2] Sorte 660) sollten nicht verwendet werden, sofern ihre Eignung für die vorgesehene Umgebung nicht ausreichend nachgewiesen wurde. Ebenso sollte eine mögliche Chloridkonzentration in bestimmten Bereichen in dem System berücksichtigt werden.

4.4.4 Sulfidinduzierte Spannungsrissskorrosion

Prozessströme, die Wasser und Schwefelwasserstoff enthalten, können bei empfindlichen Werkstoffen eine sulfidinduzierte Spannungsrissskorrosion verursachen. Dieser Vorgang wird durch eine komplexe Interaktion von Parametern ausgelöst, z. B. chemische Zusammensetzung des Werkstoffs, Härte und Mikrogefüge, Wärmebehandlungszustand sowie Faktoren wie pH, Schwefelwasserstoffkonzentration, Spannung und Temperatur. Werkstoffe, die bei Prozessströmen mit Schwefelwasserstoff verwendet werden, sollten unter Berücksichtigung ihrer Eignung für diese Bedingungen gewählt werden.

Die Prüfung dieser Werkstoffe sollte in Übereinstimmung mit NACE TM0177 erfolgen.

4.4.5 Anwendung der NACE MR0175

Werkstoffe, die auf Grund ihrer Beständigkeit gegen sulfidinduzierte Spannungsrisssbildung gewählt werden, sollten mit NACE MR0175 übereinstimmen. Korrosionsbeständige Legierungen, die in NACE MR0175 nicht aufgeführt sind, können eine solche Beständigkeit aufweisen und dürfen verwendet werden, sofern nachgewiesen werden kann, dass sie unter den geplanten Einsatzbedingungen (oder unter äquivalenten Laborbedingungen) beständig sind. Bei der Verwendung der in NACE MR0175 aufgeführten Werkstoffe sollte mit Vorsicht vorgegangen werden. Die angegebenen Werkstoffe können beständig sein gegen sulfidinduzierte Spannungsrisssbildung, eventuell jedoch nicht für den Betrieb unter Einwirkung von Spannungsrissskorrosionsrissen geeignet sein.

4.4.6 Wasserstoffinduzierte Rissbildung

Prozessströme, die Wasser und Schwefelwasserstoff enthalten, können bei empfindlichen Werkstoffen wasserstoffinduzierte Rissbildung (HIC) verursachen, insbesondere bei Fertigungen aus unlegiertem Stahlblech oder bei Rohren aus Blech. Bei diesen Werkstoffen ist eine HIC-Prüfung vorzusehen, die nach NACE TM0284 erfolgen sollte. Diesbezüglich sollte der Rat eines Fachmannes eingeholt werden.

5 Auslegung der Rohrleitung

5.1 Werkstoffsorten des Rohres

5.1.1 Betrieb unter Einwirkung von korrosionsbeständigen Kohlenwasserstoffen

Die beiden gebräuchlichsten Werkstoffsorten für Rohre aus unlegiertem Stahl sind ASTM A106 [4] Sorte B, API 5L [5] Sorte B und ISO 3183-1 [6]. Nahtlose Rohre werden im allgemeinen auf Grund ihrer einheitlichen Qualität bevorzugt. ASTM A106 wird nur als nahtloses Rohr hergestellt, während API 5L als nahtloses Rohr, ERW und SAW, erhältlich ist.

Falls die Verwendung der Sorte B eine sehr große Wanddicke erfordert, kann die Verwendung von Rohren mit einer höheren zulässigen Spannung, z. B. API 5L Sorte X52 verlangt werden; jedoch sind bei Verwendung von API 5L Sorte X46 oder höher besondere Schweißverfahren und eine genaue Überwachung notwendig. Es sollte beachtet werden, dass die Verwendung von Werkstoffen mit hoher Streckgrenze, z. B. 5LX-Sorten, nach ASME B31.3, nicht zu einer proportionalen Erhöhung der zulässigen Spannung führt.

Viele der in ASME B31.3 aufgeführten Rohrsorten sind für den Betrieb unter Einwirkung von korrosionsbeständigen Kohlenwasserstoffen geeignet. Die folgenden Rohrarten bzw. -sorten sind für den Betrieb mit Kohlenwasserstoff nach ASME B31.3 speziell ausgeschlossen:

- a) überlappt feuergeschweißt und stumpf feuergeschweißt;
- b) schmelzgeschweißt nach ASTM A134 [7] und ASTM A139 [8];
- c) spiralgeschweißt, ausgenommen API 5L.

5.1.2 Betrieb unter Einwirkung von korrosivem Kohlenwasserstoff

Bei der Auslegung für den Betrieb unter Einwirkung von korrosivem Kohlenwasserstoff sollten eine oder mehrere der folgenden Korrosionsschutzverfahren vorgesehen werden:

- a) chemische Behandlung;
- b) korrosionsbeständige Legierungen;
- c) Schutzschichten (siehe 9.5.2).

Dabei ist die chemische Behandlung des mit unlegierten Stählen in Berührung kommenden Fluids das allgemein übliche Verfahren. Korrosionsbeständige Stähle, die sich bei ähnlichen Anwendungsfällen (oder den entsprechenden Laborprüfungen) als geeignet erwiesen haben, können verwendet werden, wobei jedoch die Schweißverfahren sorgfältig zu beachten sind. Ferner muss die Möglichkeit von sulfid- oder chloridinduzierter Spannungsrisskorrosion beachtet werden (siehe 4.4.3 und 4.4.4). Es sollten geeignete Vorkehrungen für die Korrosionsüberwachung (Arbeitsproben, Prüfköpfe, Fertigungseinheiten usw.) und die chemische Behandlung getroffen werden.

Da sich durch das Schweißen die Korrosionsbeständigkeit von ansonsten beständigen Werkstoffen beträchtlich ändern kann, muss bei der Festlegung der Schweißverfahren besonders sorgfältig vorgegangen werden.

5.1.3 Betrieb unter Einwirkung von sulfidinduzierter Spannungsrisskorrosion

Die folgenden Richtlinien sollten bei der Auswahl des Rohres beachtet werden, wenn mit sulfidinduzierten Spannungsrissen zu rechnen ist.

- a) Es sollten nur nahtlose Rohre verwendet werden, außer es wurden bei der Herstellung von widerstands- oder unterpulvergeschweißten Rohren für diesen Bereich anwendbare Spezifikationen und Qualitätsprüfungen zu Grunde gelegt.
- b) Unlegierte und legierte Stähle sowie andere Werkstoffe, die die Anforderungen nach NACE MR0175 an die Eigenschaften, Härte, Wärmebehandlung sowie weitere Anforderungen erfüllen, dürfen für den Betrieb unter Einwirkung von sulfidinduzierter Spannungsrisskorrosion verwendet werden.

Die am häufigsten verwendeten Rohrsorten, die den vorgenannten Richtlinien entsprechen, sind ASTM A106 Sorte B, ASTM A333 [9] Sorte 6 und API 5L, Sorte B, nahtlos. Die API 5LX-Sorten können ebenfalls verwendet werden, jedoch stellt hier das Schweißen spezielle Probleme dar.

5.1.4 Sprödbbruchfestigkeit

Um eine ausreichende Sprödbbruchfestigkeit sicherzustellen, muss die gewählte Werkstoffsorte des Rohres bei der jeweiligen Auslegungsdicke und Auslegungstemperatur die erforderliche Kerbschlagzähigkeit aufweisen.

Rohre (Werkstoffe) aus unlegiertem Stahl, die keinem Kerbschlagbiegeversuch unterzogen wurden, sollten für Betriebseinsätze unter 0 °C zumindest im normalgeglühten Zustand geliefert werden und geschweißte Bauteile können in Abhängigkeit von der Mindest-Betriebstemperatur gemäß Auslegung und Dicke der Schweißnaht eine Wärmenachbehandlung (PWHT) erfordern.

ACHTUNG — Die Wärmenachbehandlung kann die mechanischen Eigenschaften von API 5L Rohrsorten vermindern.

ASTM A333 Sorte 6 ist ein kerbschlaggeprüfter unlegierter Stahl für kaltgehenden Betrieb und sollte bis -46 °C ausreichende Kerbschlagzähigkeit aufweisen. Eine Wärmenachbehandlung kann für bestimmte Kombinationen von Mindest-Auslegungstemperaturen und Schweißnahtdicken erforderlich sein.

5.1.5 Versorgungsbetrieb

Im Versorgungsbetrieb werden im allgemeinen andere Werkstoffe als unlegierter Stahl verwendet. Wird jedoch Stahlrohr einer Sorte verwendet, die für den Betrieb mit Kohlenwasserstoffen nach 5.1.1 nicht zulässig ist, sollte ein deutliches Kennzeichnungssystem festgelegt werden, um zu verhindern, dass dieses Rohr unbeabsichtigt im Kohlenwasserstoffbetrieb verwendet wird.

5.1.6 Steigrohrleitungen (Mess- und Hydraulik-/Luft-Systeme)

In chloridhaltigen Umgebungen und für alle Betriebe mit Kohlenwasserstoff und Luft sollten Steigrohrleitungen aus lösungsgeglühtem austenitischem nichtrostendem Stahl (AISI 316 oder AISI 316L), nahtlos oder widerstandsgeschweißt, verwendet werden.

5.2 Bemessungskriterien — Allgemeines

5.2.1 Bei der Festlegung des für Rohrleitungssysteme auf Plattformen zu verwendenden Rohrdurchmessers sollten sowohl die Strömungsgeschwindigkeit als auch der Druckabfall berücksichtigt werden. In 5.3, 5.4 und 5.5 sind Gleichungen für die Berechnung der Rohrdurchmesser (und Diagramme für die schnelle Näherung von Rohrdurchmessern) für Flüssigkeitsleitungen, Einphasen-Gasleitungen bzw. Zweiphasen-Gas/Flüssigkeitsleitungen enthalten. Diese Gleichungen können für die vorläufige Größenbemessung eingesetzt werden und für Leitungen, bei denen ein Druckabfall nicht kritisch ist. Für kritische Leitungen müssen genauere Berechnungen durchgeführt werden. Viele Firmen benutzen zur Vereinfachung der Rohrleitungsbemessung auch Computerprogramme, die oft die Colebrook-Gleichung zu Grunde legen; weitere Angaben siehe [10].

5.2.2 Bei der Festlegung der Leitungsgrößen sollten die verschiedenen Bedingungen berücksichtigt werden, die den größten Leitungsdurchmesser erfordern sowie die anfänglichen Durchflussmengen. Dies können höhere Flüssigkeitsdurchflussmengen bzw. niedrigere Gasdrücke sein, die einige Zeit nach dem Anfahren der Einrichtung vorherrschen können. Es ist oft ratsam, dem vorhersehbaren üblichen Durchfluss einen Ausgleichsfaktor zwischen 20 % und 50 % zuzurechnen, außer die zu erwartenden Druckstöße wurden durch Impulsdruckmessungen in ähnlichen Systemen oder durch spezifische Berechnung des Flüssigkeitsschlages genauer bestimmt. Tabelle 2 enthält einige typische Druckausgleichsfaktoren, die eingesetzt werden können, sofern genauere Angaben nicht vorliegen.

In Leitungen mit großem Durchmesser für den Transport von Fluiden in der Flüssigkeit-Dampf-Phase zwischen Plattformen über Steigleitungssysteme sind Druckausgleichsfaktoren von über 200 % auf Grund des zähen Durchflusses bekannt. Programme für den zähen Flüssigkeits-Dampf-Durchfluss stehen in der Regel zur Verfügung und können für die Bewertung des zähen Durchflusses zu Grunde gelegt werden.

Tabelle 2 — Typische Druckausgleichsfaktoren

Betrieb	Druckausgleichsfaktor
Betriebs-Einrichtung für den Transport der Primärförderung von der eigenen Plattform	20 %
Betriebseinrichtung für den Transport der Primärförderung von einer anderen Plattform oder einem unter Wasser in weniger als 45 m (150 Fuß) entfernten Bohrloch	30 %
Betriebseinrichtung für den Transport der Primärförderung von einer anderen Plattform oder einem unter Wasser in mehr als 45 mm (150 Fuß) entfernten Bohrloch	40 %
Betriebseinrichtung für den Transport der Gasliftförderung von der eigenen Plattform	40 %
Betriebseinrichtung für den Transport der Gasliftförderung von einer anderen Plattform oder einem entfernten Bohrloch	50 %

5.2.3 Bei der Ermittlung des Druckabfalls in einer Leitung sollte der Einfluss von Armaturen und Formstücken berücksichtigt werden. Dazu können die Angaben des Herstellers oder die in Tabelle 3 angegebenen entsprechenden Längen eingesetzt werden.

5.2.4 Die errechneten Leitungsdurchmesser müssen eventuell den gebräuchlichen technischen Regeln angepasst werden.

5.3 Bemessungsverfahren für Flüssigkeitsleitungen

5.3.1 Allgemeines

Leitungen für Einphasen-Flüssigkeiten sollten hauptsächlich auf der Grundlage der Strömungsgeschwindigkeit bemessen werden. Bei Leitungen, die einphasige Flüssigkeiten durch Differenzdruck von einem Druckbehälter in einen anderen Druckbehälter transportieren, sollte die Strömungsgeschwindigkeit bei maximalem Durchfluss höchstens 5 m/s betragen, um ein zu rasches Verdampfen vor dem Regelventil möglichst zu vermeiden. Es ist zu beachten, dass bei Verwendung „weicherer“ Werkstoffe, z. B. Kupfer-Nickel, niedrigere Grenzwerte für die Geschwindigkeit gelten. Die Strömungsgeschwindigkeit sollte, falls durchführbar, nicht unter 1 m/s liegen, um Ablagerungen von Sand und anderen Feststoffen möglichst gering zu halten. Bei diesen Strömungsgeschwindigkeiten ist der Gesamt-Druckabfall in der Rohrleitung in der Regel klein. Am häufigsten erfolgt der Druckabfall in Flüssigkeitsleitungen zwischen zwei Druckbehältern im Flüssigkeits-Ablassventil und/oder der Düse.

Tabelle 3 — Äquivalente Länge von Armaturen und Formstücken mit 100 % Öffnungsquerschnitt

Maße in Meter

NPS	DN	Durchgangsventil oder Kugelrück- schlag-ventil	Eck- ventil	Rück- schlag klappe	Kegel- hahn, Schieber oder Kugel- hahn	L-Stück 45°		L-Stück mit kurzem Radius		L-Stück mit langem Radius		Abzweig des T-Stücks		Durchgang des T-Stücks		Querschnittsvergrößerung					Querschnittsverminderung						
						Schweiß- naht	Ge- winde	Schweiß- naht	Ge- winde	Schweiß- naht	Ge- winde	Schweiß- naht	Ge- winde	Schweiß- naht	Ge- winde	Plötzliche Vergrößerung			Standard- Reduzierstück		Plötzliche Verminderung			Standard- Reduzierstück			
																	Äquivalente Länge bezogen auf den kleinen Durchmesser										
																	d/D = 1/4	d/D = 1/2	d/D = 3/4	d/D = 1/2	d/D = 3/4	d/D = 1/4	d/D = 1/2	d/D = 3/4	d/D = 1/2	d/D = 3/4	
1½	40	16,8	7,92	3,96	0,305	0,305	0,610	0,914	1,52	0,610	0,914	2,49	2,74	0,610	0,914	1,52	0,914	0,305	1,22	0,305	0,914	0,610	0,305	10,305			
2	50	21,3	10,1	5,18	0,610	0,610	0,914	1,22	1,52	0,610	1,22	3,05	3,35	0,914	1,22	2,13	1,22	0,305	1,52	0,305	0,914	0,914	0,305	10,305			
2½	65	24,4	12,2	6,10	0,610	0,610		1,52		0,914		3,66		0,914		2,44	1,52	0,610	1,83	0,610	1,11	0,914	0,610	20,610			
3	80	30,5	15,2	7,62	0,610	0,610		1,83		1,22		4,17		1,22		3,05	1,83	0,610	2,44	0,610	1,52	1,22	0,610	20,610			
4	100	39,6	19,8	9,75	0,914	0,914		2,13		1,52		5,79		1,52		3,66	2,44	0,914	3,05	0,914	1,83	1,52	0,914	3,914	0,305		
6	150	61,0	30,5	14,6	1,22	1,22		3,35		2,44		8,53		2,44		5,49	3,66	1,22	4,27	1,22	2,74	2,13	1,22	1,22			
8	200	79,2	38,1	19,5	1,83	1,83		4,57		2,74		11,3		2,74		7,62	4,88	1,52	5,79	1,52	3,66	2,74	1,52	1,52	0,610		
10	250	101	48,8	24,4	2,13	2,13		5,49		3,66		14,3		3,66		9,45	6,10	2,13	7,32	2,13	4,57	3,66	1,83	1,83	0,610		
12	300	122	57,9	29,0	2,74	2,74		6,71		4,27		16,8		4,27		11,3	7,32	2,44	9,53	2,49	5,49	4,27	2,13	2,13	0,610		
14	350	137	64,0	32,0	3,05	3,05		7,92		4,88		18,9		4,88		12,8	7,92	2,74			6,10	4,88	2,44				
16	400	152	73,2	36,6	3,35	3,35		8,84		5,49		21,9		5,49		14,3	9,14	3,05			3,32	5,49	2,74				
18	450	168	85,3	42,7	3,66	3,66		10,1		6,10		25,0		6,10		16,2	10,7	3,35			7,92	6,10	3,05				
20	500	198	91,4	42,7	4,27	4,27		11,0		7,01		27,4		7,01		18,3	11,6	3,96			9,14	7,01	3,35				
22	550	210	102	51,8	4,57	4,57		12,2		7,62		30,5		7,62		19,8	12,8	4,27			9,75	7,62	3,66				
24	600	229	113	56,4	4,88	4,88		13,4		8,23		33,5		8,23		21,3	14,0	4,57			10,7	8,23	3,96				
30	750				6,40	6,40		16,8		12,2		42,7		12,2													
36	900				7,62	7,62		20,1		14,3		51,8		14,3													
42	1 050				9,14	9,14		23,5		16,8		61,0		16,8													
48	1 200				10,7	10,7		26,8		19,8		67,1		19,8													
54	1 350				12,2	12,2		30,2		21,3		76,2		21,3													
60	1 500				13,7	13,7		33,5		24,4		79,2		24,4													

ANMERKUNG 1 Quelle: GPSA Data Book, Revision 1987, [11].

ANMERKUNG 2 d ist der Innendurchmesser der kleinen Austrittsöffnung. D ist der Innendurchmesser der größeren Austrittsöffnung.

5.3.1.1 Strömungsgeschwindigkeiten in Flüssigkeitsleitungen können Bild 2 entnommen oder nach der folgenden Gleichung berechnet werden:

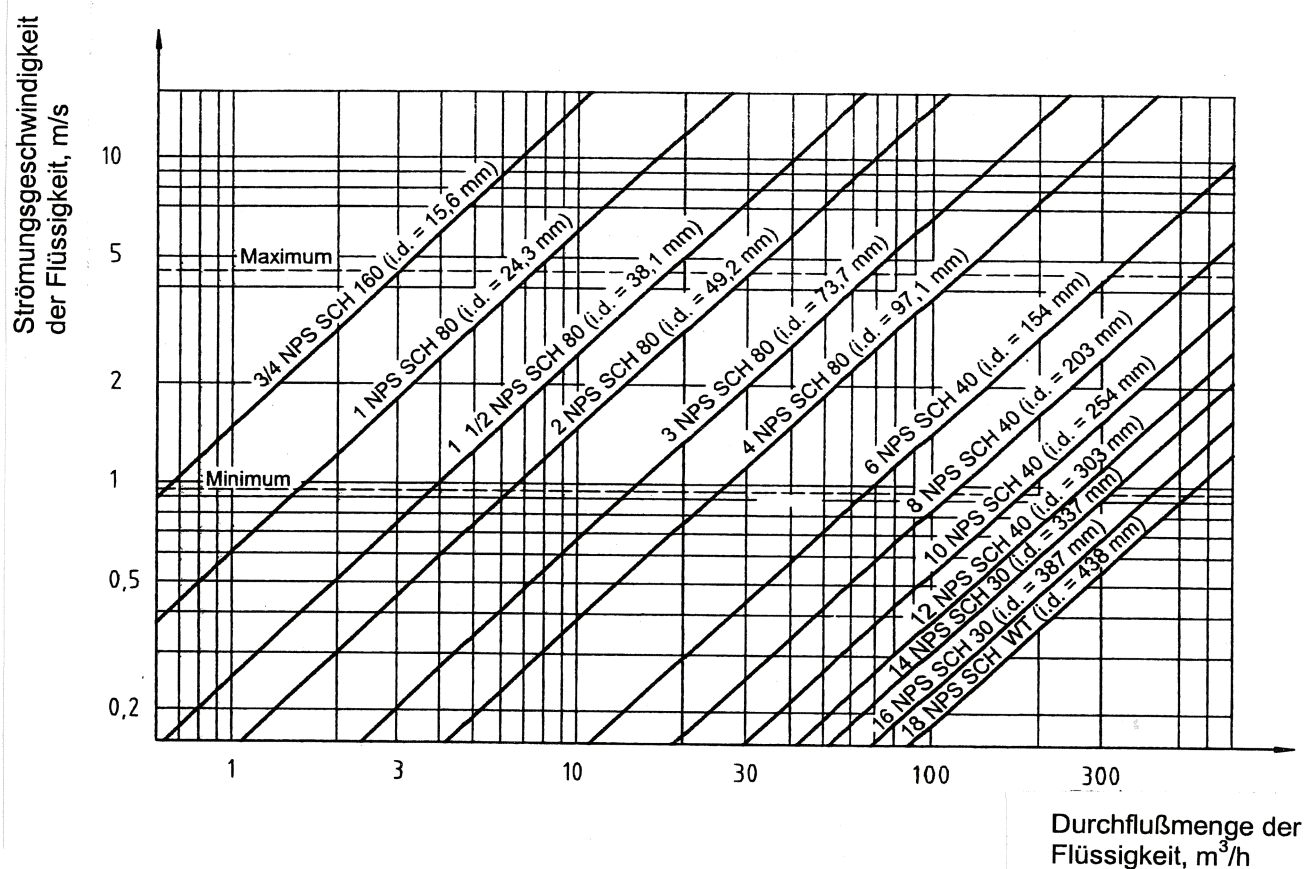
$$v_L = \frac{353,7 \cdot q_L}{d_i^2} \quad (1)$$

Dabei ist

v_L die Strömungsgeschwindigkeit der Flüssigkeit, in Meter je Sekunde (m/s);

q_L die Durchflussmenge der Flüssigkeit, in Kubikmeter je Stunde (m³/h);

d_i der Rohr-Innendurchmesser, in Millimeter (mm).



ANMERKUNG Diese Kurven wurden nach Gleichung (2) ermittelt.

Bild 2 — Strömungsgeschwindigkeit in Flüssigkeitsleitungen

5.3.1.2 Der Druckabfall je 100 m Rohrlänge für Leitungen für einphasige Flüssigkeiten kann nach folgender Gleichung (Fanning) errechnet werden:

$$\Delta p = \frac{6 \cdot 270 \times 10^6 \cdot f \cdot q_L^2 \cdot d_L}{d_i^5} \quad (2)$$

Dabei ist

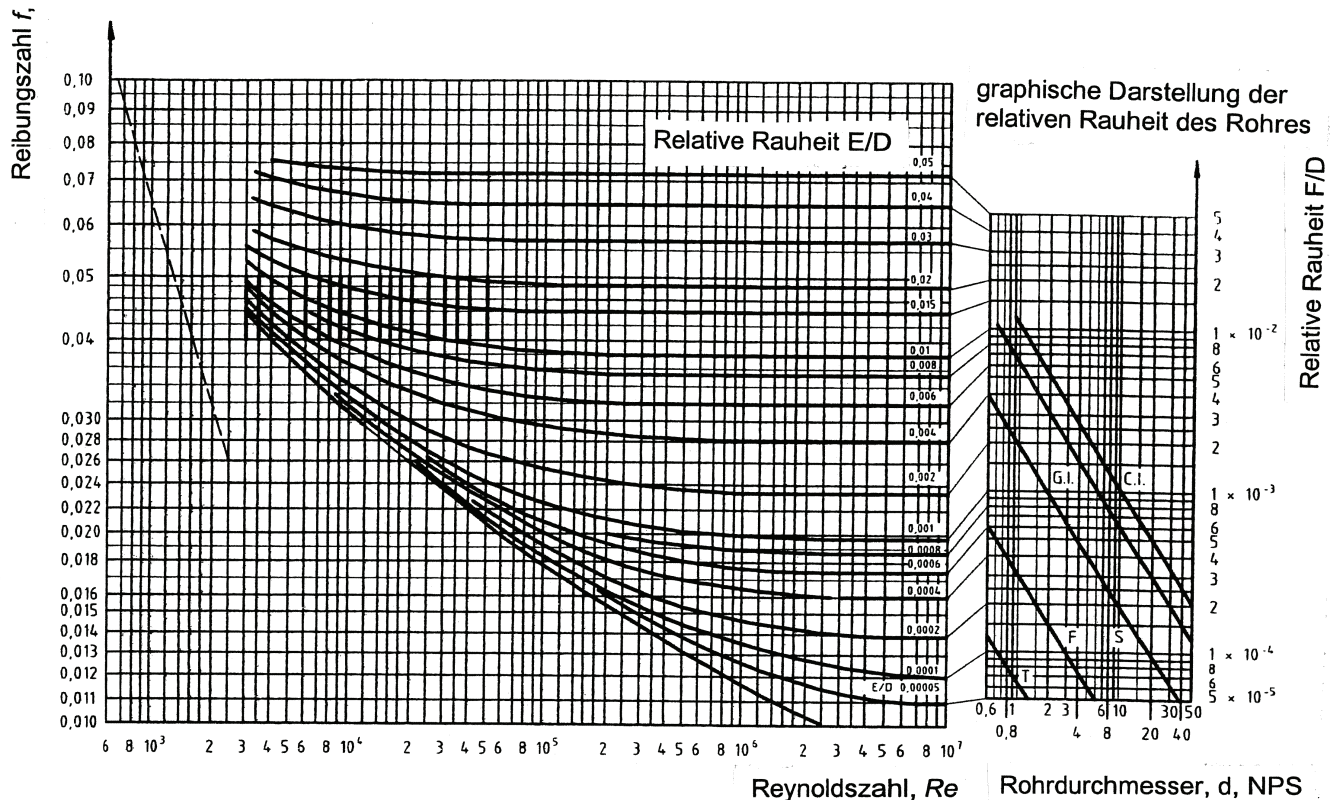
- Δ_p der Druckabfall je 100 m Rohr, in Kilopascal (kPa);
- f die Reibungszahl nach Moody, dimensionslos;
- q_L die Durchflussmenge der Flüssigkeit, in Kubikmeter je Stunde (m³/h);
- d_L die relative Dichte der Flüssigkeit (Wasser = 1), dimensionslos;
- d_i der Rohr-Innendurchmesser, in Millimeter (mm).

5.3.1.3 Die Reibungszahl nach Moody, f , ist abhängig von der Reynoldszahl und der Oberflächenrauheit des Rohres. Das modifizierte Moody-Diagramm, Bild 3, kann zur Bestimmung der Reibungszahl herangezogen werden, sowie die Reynoldszahl bekannt ist. Die Reynoldszahl wird nach folgender Gleichung ermittelt:

$$R_e = \frac{p_L D_i v_L}{\mu_L}$$

Dabei ist

- Re die Reynoldszahl, dimensionslos;
- p_L die Dichte der Flüssigkeit, in Kilogramm je Kubikmeter (kg/m³);
- D_i der Rohr-Innendurchmesser, in Meter (m);
- v_L die Durchflussmenge der Flüssigkeit, in Meter je Sekunde (m/s);
- μ_L die Viskosität der Flüssigkeit, in Pascal-Sekunden (Pa · s), oder
die Menge in Zentipoise, dividiert durch 1 000, oder
die Menge in Zentistokes × relative Dichte, dividiert durch 1 000.



Legende

- C. I. Gusseisen, rein
- F Glasfaserepoxyd
- G. I. verzinktes Blech
- S Stahlrohr, handelsübliche Reinheit (auch für Zement, Asbest oder Zementauskleidung)
- T gezogenes Rohr

Bild 3 — Graphische Darstellung der Reibungszahl (modifiziertes Moody-Diagramm)

5.3.2 Pumpe/Rohrleitung

5.3.2.1 Rohrleitungssysteme mit Kolbenpumpen-, Rotationspumpen- und Kreiselpumpenansaugleitungen sollten so ausgelegt sein, dass die verfügbare Haltedruckhöhe (NPSH_a) am Pumpen-Eintrittsflansch den erforderlichen NPSH-Wert der Pumpe überschreitet. Zusätzlich sollten bei Ansaugleitungen in Kolbenpumpen Vorkehrungen getroffen werden, um Pulsationen möglichst zu vermeiden. Für zufrieden stellende Pumpenarbeitsgänge ist es erforderlich, dass insbesondere keine stoßartige Verdampfung der Flüssigkeit beim Eintritt in das Pumpengehäuse oder den Pumpenzylinder erfolgt.

5.3.2.2 In einer Kreisel- oder Rotationspumpe muss der Flüssigkeitsdruck am Ansaugflansch hoch genug sein, um den Druckabfall zwischen Flansch und Eintritt in die Laufschaufel (oder Rotor) zu überwinden und den Druck auf die Flüssigkeit oberhalb ihres Dampfdruckes zu halten, da ansonsten Kavitation auftritt. In einem Kolbenaggregat muss der Druck am Ansaugflansch die gleiche Anforderung erfüllen, jedoch ist der erforderliche NPSH-Wert der Pumpe auf Grund des Druckabfalls in den Armaturen und des durch Pulsationen im Durchfluss verursachten Druckabfalls typischerweise höher als bei einer Kreiselpumpe. Gleichmaßen ist die verfügbare Haltedruckhöhe auf der Saugseite der Pumpe für die durch die pulsierende Strömung verursachte Beschleunigung in der Saugleitung sowie für Reibung, Geschwindigkeit und statische Förderhöhe maßgebend.

5.3.2.3 Die erforderliche verfügbare Druckdifferenz des Dampfdruckes des Pumpmediums kann als verfügbare Haltedruckhöhe (NPSH_a) festgelegt werden, d. h. die Gesamtdruckhöhe in Meter (abs.) an der Ansaugdüse abzüglich des Dampfdruckes der Flüssigkeit in Meter (abs.). Die verfügbare Haltedruckhöhe sollte immer mindestens der erforderlichen Haltedruckhöhe der Pumpe entsprechen. Der verfügbare NPSH-Wert für die meisten Anwendungsfälle kann mit Gleichung (4) errechnet werden. Es ist allgemein üblich, einen Sicherheitsfaktor von 1,1 auf den errechneten NPSH-Wert aufzuschlagen.

$$NPSH_a = h_p - h_{vpa} + h_{st} - h_f - h_{vh} - h_a \quad (4)$$

Dabei ist

- h_p die absolute Druckhöhe auf Grund von atmosphärischem oder anderem Druck auf die angesaugte Flüssigkeitsoberfläche, in Meter (m) Flüssigkeit;
- h_{vpa} der absolute Dampfdruck der Flüssigkeit bei Ansaugtemperatur, in Meter (m) Flüssigkeit;
- h_{st} die statische Förderhöhe (Druckhöhe), positiv oder negativ, auf Grund des Flüssigkeitsstandes über oder unter der Bezugslinie (Achsmittle der Pumpe), in Meter (m) Flüssigkeit;
- h_{vh} der Staudruck (dynamische Druckhöhe), $v_L^2/2g$, in Meter (m) Flüssigkeit;
- h_a die Beschleunigungsdruckhöhe, in Meter (m) Flüssigkeit;
- v_L die Geschwindigkeit der Flüssigkeit in der Rohrleitung, in Meter je Sekunde (m/s);
- g die Gravitationskonstante (üblicherweise $9,81 \text{ m/s}^2$).

5.3.2.4 Bei einer Kreisel- oder Rotationspumpe ist die Beschleunigungsdruckhöhe, h_a , gleich Null. Bei Kolbenpumpen ist die Beschleunigungsdruckhöhe kritisch und kann nach folgender Gleichung bestimmt werden:

$$h_a = \frac{L_{vL} \cdot R_p \cdot C}{K \cdot g}$$

Dabei ist

- h_a die Beschleunigungsdruckhöhe, in Meter (m) Flüssigkeit;
- L die Länge der Saugleitung (tatsächliche Länge, nicht die äquivalente Länge), in Meter (m);
- v_L die mittlere Geschwindigkeit der Flüssigkeit in der Saugleitung, in Meter je Sekunde (m/s);
- R_p die Pumpen-Drehzahl, in Umdrehungen je Minute (r/min);
- C die empirische Konstante für die Pumpen-Bauart:

$C = 0,200$ für doppelt wirkende Simplex-Pumpen;
 $C = 0,200$ für einfachwirkende Duplex-Pumpen;
 $C = 0,115$ für doppelt wirkende Duplex-Pumpen;
 $C = 0,066$ für einfach- oder doppelt wirkende Triplex-Pumpen;
 $C = 0,040$ für einfach- oder doppelt wirkende Quintuplex-Pumpen;
 $C = 0,028$ für einfach- oder doppelt wirkende Septuplex-Pumpen;

ANMERKUNG Bei unüblichen Verhältnissen zwischen der Länge der Pleuelstange und dem Radius der Kurbel weicht die Konstante C von diesen Werten ab.

K der Realgasfaktor der Flüssigkeit als Reziprokwert des theoretischen Beschleunigungsdruckhöhenanteils, der festzulegen ist, um merkliche Störungen in der Saugleitung zu vermeiden.

$K = 1,4$ für Flüssigkeit mit kaum Kompressibilität (luftfreies Wasser);
 $K = 1,5$ für Amin, Glycol, Wasser;
 $K = 2,0$ für die meisten Kohlenwasserstoffe;
 $K = 2,5$ für relativ kompressible Flüssigkeiten (heißes Öl oder Ethan);

g = die Gravitationskonstante (üblicherweise $9,81 \text{ m/s}^2$).

Es sollte beachtet werden, dass es keine allgemeine Akzeptanz für Gleichung (5) oder die Auswirkung der Beschleunigungsdruckhöhe (weitere Angaben siehe [12], [13] und [14] gibt. Jedoch wird Gleichung (5) als eine konservative Grundlage angesehen, mit der ausreichende Festlegungen für die Beschleunigungsdruckhöhe sichergestellt sind.

5.3.2.5 Wird an einer allgemeinen Versorgungsleitung mehr als eine Kolbenpumpe gleichzeitig betrieben, sind alle Kurbelwellen manchmal phasengleich und, bezogen auf das Versorgungssystem, wirken die Pumpengruppen als eine Pumpe dieses Typs mit einer Leistung, die der aller kombinierten Pumpen entspricht. In diesem Fall würde die maximale momentane Geschwindigkeit in der Versorgungsleitung der Geschwindigkeit entsprechen, die eine Pumpe mit einer Leistung gleich der aller kombinierten Pumpen erreicht.

5.3.2.6 Gilt die Beschleunigungsdruckhöhe als zu hoch, sollten folgende Punkte beachtet werden.

- a) Saugleitung verkürzen. Die Beschleunigungsdruckhöhe ist direkt proportional zur Leitungslänge, L .
- b) Eine größere Saugleitung verwenden, um die Geschwindigkeit zu reduzieren. Dies ist sehr hilfreich, da sich die Geschwindigkeit umgekehrt proportional zum Quadrat des Rohrinneindurchmessers ändert. Die Beschleunigungsdruckhöhe ist direkt proportional zur Geschwindigkeit des Fluids, v_L .
- c) Die erforderliche Pumpendrehzahl durch Verwendung eines größeren Kolbens oder Plungerkolbens reduzieren, falls dies nach den Leistungsdaten der Pumpe zulässig ist. Die erforderliche Drehzahl ist umgekehrt proportional zum Quadrat des Kolbendurchmessers. Die Beschleunigungsdruckhöhe ist direkt proportional zur Pumpendrehzahl, R_p .
- d) Die Verwendung einer Pumpe mit mehreren Plungerkolben vorsehen. Z. B.:
 $C = 0,040$ für eine Quintuplex-Pumpe. Dies liegt etwa 40 % unter dem Wert einer Triplex-Pumpe;
 $C = 0,066$ für eine Triplex-Pumpe. Die Beschleunigungsdruckhöhe ist direkt proportional zu C .
- e) Die Verwendung eines Schwingungsdämpfers vorsehen, falls vorgenannte Maßnahmen nicht möglich sind. Die Ergebnisse, die mit einem Schwingungsdämpfer im Ansaugsystem erreicht werden können, richten sich nach Größe, Art, Anordnung und Druckbeaufschlagung. Mit einem guten, zweckmäßig angeordneten Schwingungsdämpfer kann bei entsprechender Beibehaltung der Befüllung die in der Gleichung der Beschleunigungsdruckhöhe eingesetzte Länge L des Rohres auf einen Wert des 5 bis 15fachen Rohr-Nenndurchmessers reduziert werden. Schwingungsdämpfer sollten möglichst nahe an der Saugseite der Pumpe angeordnet sein.
- f) An der Saugseite der Kolbenpumpe eine zusätzliche Kreislumpe (zur Druckerhöhung) verwenden.

5.3.2.7 Die folgenden Richtlinien können für die Auslegung der Saugleitungen hilfreich sein:

- a) die Saugleitungen können eine oder zwei Rohrnennweiten größer sein als der Eintrittsanschluss der Pumpe;
- b) Saugleitungen sollten kurz mit möglichst wenigen Rohrkrümmern und -formstücken sein und kontinuierlich zur Ansaugdüse der Pumpe verlaufen;
- c) nahe der Pumpe sollten exzentrische Reduzierstücke mit der flachen Seite nach oben verwendet werden, um das Leitungsniveau aufrechtzuerhalten. Dadurch können sich in der Saugleitung keine Luftblasen bilden. Falls sich möglicherweise Schlamm ansammeln kann, sind Maßnahmen zur Entfernung vorzusehen;
- d) bei Kolbenpumpen möglichst nahe an der Austrittsseite der Pumpe einen geeigneten Schwingungsdämpfer vorsehen (oder Vorkehrungen für den späteren Einbau eines Dämpfers treffen);
- e) bei Anlagen mit mehreren Pumpen die Hauptförderleitung so bemessen, dass die Geschwindigkeit möglichst der Geschwindigkeit in den Nebenleitungen zu den einzelnen Pumpen entspricht. Dadurch werden Geschwindigkeitsänderungen vermieden und Auswirkungen durch die Beschleunigungsdruckhöhe äußerst gering gehalten.

5.3.2.8 Druckrohrleitungen für Kolbenpumpen, Kreislumpen und Rotationspumpen sollten nach wirtschaftlichen Gesichtspunkten bemessen werden. Druckrohrleitungen für Kolbenpumpen sollten außerdem so bemessen werden, dass Schwingungen möglichst vermieden werden. Schwingungen in Druckrohrleitungen von Kolben-

pumpen stehen auch in Zusammenhang mit der Beschleunigungsdruckhöhe, sind jedoch komplexer als Schwingungen in Saugleitungen.

Die folgenden Richtlinien können für die Auslegung der Druckrohrleitungen hilfreich sein:

- a) die Druckrohrleitung sollte möglichst kurz sein und gerade verlaufen;
- b) die Druckrohrleitung kann eine oder zwei Rohrnennweiten größer sein als der Austrittsanschluss der Pumpe;
- c) die Geschwindigkeit in der Druckrohrleitung sollte die 3fache Geschwindigkeit in der Saugleitung nicht überschreiten. Diese Geschwindigkeit führt in der Regel zu einer wirtschaftlichen Leitungsgröße aller Pumpen und hält Schwingungen in Kolbenpumpen möglichst gering;
- d) bei Kolbenpumpen möglichst nahe an der Austrittsseite der Pumpe einen geeigneten Schwingungsdämpfer vorsehen (oder Vorkehrungen für den späteren Einbau eines Dämpfers treffen).

5.3.2.9 Tabelle 4 kann für die Festlegung der vorläufigen Nennweiten der Saug- und Druckrohrleitungen zu Grunde gelegt werden.

Tabelle 4 — Typische Strömungsgeschwindigkeiten

Pumpenbauart	Ansaug- geschwindigkeit m/s	Auslauf- geschwindigkeit m/s
Kolbenpumpe		
Drehzahlen bis 250 r/min	0,6	1,8
Drehzahlen von 251 r/min bis 330 r/min	0,45	1,4
Drehzahlen über 330 r/min	0,3	1,0
Kreiselpumpe	0,6 bis 1	1,8 bis 2,7

5.4 Kriterien für die Bemessung von Gasleitungen (einphasig)

5.4.1 Bemessung — Allgemeines

Leitungen für einphasiges Gas sollten so bemessen sein, dass der erzeugte Enddruck hoch genug ist, um die Anforderungen des nächstliegenden Geräteteils zu erfüllen. Übermäßige Geräusche können sich durch Querschnittsverengungen, z. B. Regelventile, Drosselblenden usw. oder durch Geschwindigkeiten über 25 m/s ergeben; jedoch sollte die Geschwindigkeit von 25 m/s nicht als absolutes Kriterium angesehen werden. Höhere Geschwindigkeiten sind zulässig, wenn der Verlauf der Rohrleitung sowie die Wahl und Anordnung der Ventile so erfolgen, dass Geräusche möglichst vermieden oder gedämmt werden.

Bei der Auslegung aller Rohrleitungssysteme, bei denen voraussichtlich Korrosionsinhibitoren eingesetzt werden, müssen zusätzliche Wanddicken und/oder die Verringerung der Geschwindigkeit auf weniger als 15 m/s vorgesehen werden, um ein Ablösen des Korrosionsinhibitors von der Rohrwand zu vermindern. Für solche Systeme sollte ein Verfahren zur Überwachung der Wanddicke eingesetzt werden.

5.4.2 Allgemeiner Druckabfall

$$p_1^2 - p_2^2 = 6 \times 10^4 \left(\frac{S_g \cdot q_g^2 \cdot Z \cdot T_1 \cdot f \cdot L}{d_i^5} \right) \quad (6)$$

Dabei ist

p_1 der Eintrittsdruck, in Kilopascal [kPa (abs)];

- p_2 der Austrittsdruck, in Kilopascal [kPa (abs)];
- d_g die relative Dichte des Gases (Luft = 1,0), dimensionslos;
- q_g der Gasdurchfluss, in Kubikmeter je Stunde (m³/h) bei Normalbedingungen;
- Z der Realgasfaktor (weitere Angaben siehe [11]);
- T_1 die Strömungstemperatur, in Kelvin (K);
- f die Reibungszahl nach Moody, dimensionslos (siehe Bild 3);
- d_i der Rohr-Innendurchmesser, in Millimeter (mm);
- L die Länge, in Meter (m).

Durch Umstellung der Gleichung (6) ergibt sich für q_g :

$$q_g = 0,00408 \left[\frac{d_i^5 (p_1^2 - p_2^2)}{Z \cdot T_1 \cdot f \cdot L \cdot d_g} \right]^{1/2} \quad (7)$$

Bei Gleichung (6) kann eine Näherung vorgenommen werden, wenn die Druckänderung weniger als 10 % des Eintrittsdruckes beträgt. In diesem Fall kann von folgender Annahme ausgegangen werden:

$$p_1^2 - p_2^2 \cong 2 p_1 (p_1 - p_2) \quad (8)$$

Durch Substitution in Gleichung (6) ergibt sich:

$$\Delta p = 300 \frac{d_g \cdot q_g^2 \cdot Z \cdot T_1 \cdot f \cdot L}{p_1 \cdot d_i^5} \quad (9)$$

5.4.3 Empirischer Druckabfall

5.4.3.1 Gleichungsannahmen

Es wurden mehrere empirische Gleichungen entwickelt, um die Auflösung im Hinblick auf die Reibungszahl nach Moody zu vermeiden. Alle Gleichungen richten sich nach der allgemeinen Durchfluss-Gleichung mit unterschiedlichen Annahmen, bezogen auf die Reynolds-Zahl. Die am häufigsten verwendete empirische Gleichung für den Druckabfall des Gasdurchflusses in Rohrleitungen von Fördereinrichtungen ist die nachstehend beschriebene Weymouth-Gleichung.

5.4.3.2 Weymouth-Gleichung

Diese Gleichung basiert auf Messungen der Druckluft in Rohren zwischen 20 mm und 300 mm im Bereich des Moody-Diagramms, in dem die Reibungszahlkurven horizontal verlaufen (i.e. hohe Reynoldszahl). In diesem Bereich ist die Moody-Reibungszahl unabhängig von der Reynoldszahl und richtet sich nach der relativen Rauheit.

Die Weymouth-Gleichung kann wie folgt ausgedrückt werden:

$$q_g = 0,0131 d_i^{2,67} \left[\frac{p_1^2 - p_2^2}{L \cdot d_g \cdot Z \cdot T_1} \right]^{1/2} \quad (10)$$

Dabei ist:

- q_g der Durchfluss, in Kubikmeter je Stunde (m³/h) bei Normalbedingungen;

- d_i der Rohr-Innendurchmesser, in Millimeter (mm);
- p_1 der Druck an Position 1, in Kilopascal [kPa (abs)];
- p_2 der Druck an Position 2, in Kilopascal [kPa (abs)];
- L die Länge des Rohres, in Meter (m);
- d_g die relative Dichte des Gases (Luft = 1,0), dimensionslos
- T_1 die Temperatur des Gases am Eintritt, in Kelvin (K);
- Z der Realgasfaktor (weiter Angaben siehe [11]).

Bei der Ableitung dieser Gleichung müssen, so weit zweckmäßig, die eingesetzten Annahmen zugrundegelegt werden. Kurze Rohrlängen mit hohen Druckverlusten sind für turbulente Strömung (hohe Reynoldzahlen) geeignet und demzufolge sind die Annahmen nach der Weymouth-Gleichung zweckmäßig. Erfahrungen in der Industrie zeigen, dass die Weymouth-Gleichung für die meisten Rohrleitungen innerhalb der Fördereinrichtung geeignet ist. Jedoch ist die in der Weymouth-Gleichung verwendete Reibungszahl im allgemeinen zu klein für Leitungen mit großem Durchmesser bzw. niedriger Geschwindigkeit, bei denen das Fließregime zutreffender durch die Steigung im Moody-Diagramm gekennzeichnet wird.

5.4.3.3 Panhandle-Gleichung

Diese Gleichung geht von der Annahme aus, dass die Reibungszahl durch eine geradlinige negative Richtungskonstante im gemäßigten Reynold-Zahlenbereich des Moody-Diagramms dargestellt werden kann.

Die Panhandle-Gleichung kann wie folgt geschrieben werden:

$$q_g = 0,00115 \times E \left[\frac{p_1^2 - p_2^2}{d_g^{0,961} Z \cdot T_1 \cdot L_m} \right]^{0,51} d_i^{2,53} \quad (11)$$

Dabei ist

- p_1 der Eintrittsdruck, in Kilopascal [kPa (abs)];
- p_2 der Austrittsdruck, in Kilopascal [kPa (abs)];
- d_g die relative Dichte des Gases (Luft = 1,0), dimensionslos;
- Z der Realgasfaktor (weitere Angaben siehe [11]);
- q_g der Gasdurchfluss, in Kubikmeter je Stunde (m³/h) bei Normalbedingungen;
- T_1 die Strömungstemperatur, in Kelvin (K);
- L_m die Länge, in Kilometer (km);
- d_i der Rohr-Innendurchmesser, in Millimeter (mm);
- E der Wirkungsgrad:
- $E = 1,0$ bei ganz neuen Rohren;
- $E = 0,95$ bei guten Betriebsbedingungen;
- $E = 0,92$ bei durchschnittlichen Betriebsbedingungen;
- $E = 0,85$ bei ungünstigen Betriebsbedingungen.

In der Praxis wird die Panhandle-Gleichung häufig für lange Rohrleitungen (üblicherweise in der Größenordnung von Kilometern anstatt in Metern gerechnet), mit großem Durchmesser [über DN 250 (10 NPS)] verwendet, bei denen die Reynolds-Zahl auf dem geradlinigen Teil des Moody-Diagrammes liegt. Es ist zu erkennen, dass weder

die Weymouth-Gleichung noch die Panhandle-Gleichung eine „konservative“ Annahme darstellt. Wird von der Weymouth-Gleichung ausgegangen und hat die Strömung eine moderate Reynolds-Zahl, dann wird die tatsächliche Reibungszahl höher als angenommen sein (der Steigungsanteil ist höher als der horizontale Teil der Moody-Kurve) und der tatsächliche Druckabfall wird höher als errechnet ausfallen.

Wird die Panhandle-Gleichung angewendet und hat die Strömung eine hohe tatsächliche Reynolds-Zahl, dann wird die tatsächliche Reibungszahl höher sein als der angenommene Wert (die Gleichung geht von der Annahme aus, dass die Reibungszahl mit steigender Reynolds-Zahl unter den horizontalen Teil der Kurve abfällt) und der tatsächliche Druckverlust wird höher als errechnet ausfallen.

5.4.3.4 Spitzglass-Gleichung

Diese Gleichung wird für Rohrleitungen verwendet, die bei nahezu bei Atmosphärendruck betrieben werden. Sie wird abgeleitet, indem in Gleichung (7) folgende Annahmen eingesetzt werden:

- a) $f = \left(1 + \frac{91,4}{d_i} + 1,18 \times 10^{-3} d_i \right) \left(\frac{1}{100} \right)$
- b) $T = 289 \text{ K}$
- c) $p_1 = 103,4 \text{ kPa}$
- d) $Z = 1,0$ für Idealgas
- e) $\Delta p < 10 \text{ \%}$ von p_1

Mit diesen Annahmen und der Angabe des Druckabfalls in Pascal, kann die Spitzglass-Gleichung wie folgt geschrieben werden:

$$q_g = 0,00108 \left[\frac{h_w \cdot d_i^5}{d_g L \left(1 + \frac{91,4}{d_i} + (1,18 \times 10^{-3}) d_i \right)} \right]^{1/2} \quad (12)$$

Dabei ist

- h_w der Druckverlust, in Pascal (Pa);
- d_g die relative Dichte des Gases (Luft = 1,0), dimensionslos;
- q_g der Gasdurchfluss, in Kubikmeter je Stunde (m^3/h) bei Normalbedingungen;
- L die Länge, in Meter (m);
- d_i der Rohr-Innendurchmesser, in Millimeter (mm).

5.4.4 Gleichung für die Gasgeschwindigkeit

Die Gasgeschwindigkeiten können mit der folgenden abgeleiteten Gleichung errechnet werden:

$$v_g = \frac{131 Z \cdot q_g \cdot T}{d_i^2 \cdot p} \quad (13)$$

Dabei ist

- v_g die Gasgeschwindigkeit, in Meter je Sekunde (m/s);
- d_i der Rohr-Innendurchmesser, in Millimeter (mm);

- q_g der Gasdurchfluss, in Kubikmeter je Stunde (m^3/h) bei Normalbedingungen;
- T die Arbeitstemperatur, in Kelvin (K);
- p der Arbeitsdruck, in Kilopascal [kPa (abs)];
- Z der Realgasfaktor (weitere Angaben siehe [11]).

5.4.5 Rohrleitungen für Verdichter

Rohrleitungen für Kolbenverdichter und Kreiselverdichter sollten so bemessen sein, dass Pulsationen, Schwingungen und Geräusche möglichst gering gehalten werden. Die Wahl der zulässigen Geschwindigkeiten erfordert eine technische Überprüfung jedes einzelnen Anwendungsfalles.

ANMERKUNG 1 Werden für alte Rohre Gleichungen für den Gasdurchfluss verwendet, können Verzunderung, Korrosion, Flüssigkeiten, Paraffin usw. beträchtlichen Einfluss auf die Durchflussleistung haben.

ANMERKUNG 2 Zu weiteren empirischen Gleichungen siehe nähere Angaben unter [11].

5.5 Kriterien für die Bemessung von Gas-/Flüssigkeitsleitungen (zweiphasig)

5.5.1 Erosionsgeschwindigkeit

Förderleitungen, Manifolds, Sammelleitungen und andere Leitungen für den Transport von Gas und Flüssigkeit in zweiphasigem Durchfluss sollten hauptsächlich auf der Grundlage der Strömungsgeschwindigkeit bemessen werden. Die Erfahrung hat gezeigt, dass es durch Auftreten von Erosionskorrosion zu einem Wanddickenverlust kommt. Dieser Vorgang wird beschleunigt durch hohe Geschwindigkeiten des Fluids, das Vorhandensein von Sand und korrosiven Schmutzstoffen, z. B. CO_2 und H_2S sowie Formstücken, wie Rohrkrümmer, die die Durchflussstrecke behindern.

Für die Bestimmung einer „Erosionsgeschwindigkeit“ kann nach folgendem Verfahren vorgegangen werden, wenn über die erosiven/korrosiven Eigenschaften des Fluids keine speziellen Angaben vorliegen. Die Erosionsgeschwindigkeit basiert auf einem vereinfachten Modell ohne Berücksichtigung der Förderung von Sand und anderer Faktoren (z. B. CO_2 -, H_2S - und Chloridgehalt).

ANMERKUNG Das in 5.5.1 dargestellte Verfahren verwendet eine empirische Formel, es ist vereinfacht und ergibt in der Regel einen konservativen Geschwindigkeitsgrenzwert. Die Erfahrung zeigt jedoch, dass dieser Grenzwert für viele Bedingungen zu konservativ sein kann. Erosion und die damit verbundene Erosionskorrosion sind komplexe Probleme mit vielen Variablen, einschließlich Strömungsgeometrie, Werkstoffart, Eigenschaften der Feststoffe, Geschwindigkeiten von Gas und Flüssigkeit, Viskosität des Fluids, Dichte und Korrosivität des Fluids. In letzter Zeit wurde eine Reihe von computergestützten Modellen unter Berücksichtigung dieser Variablen erarbeitet. Diese können als Alternative zu dem hier dargelegten Verfahren verwendet werden.

Die Geschwindigkeit, ab der Erosion eintreten kann, kann durch folgende empirische Gleichung ermittelt werden:

$$v_e = \frac{c}{\rho_m} \quad (14)$$

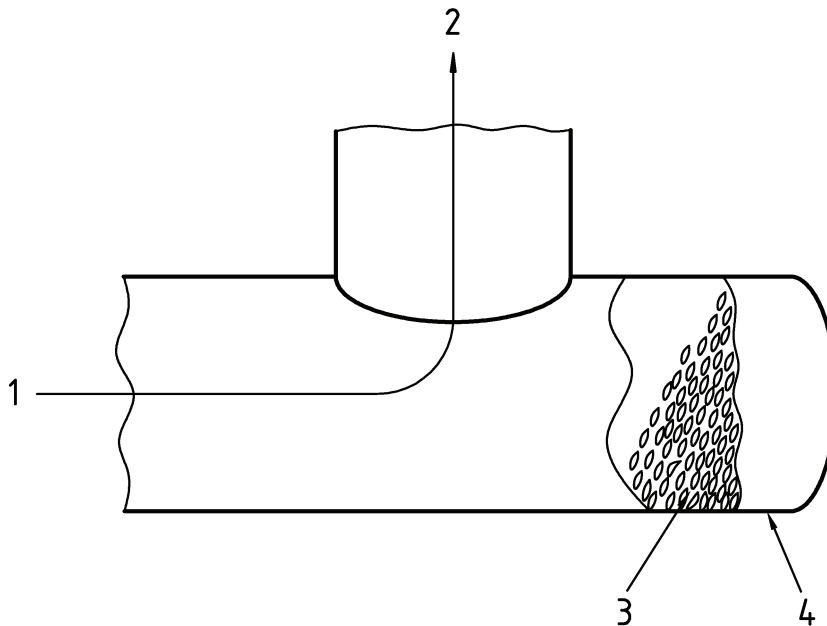
Dabei ist

- v_e die Erosionsgeschwindigkeit des Fluids, in Meter je Sekunde (m/s);
- c die empirische Konstante;
- ρ_m die Dichte des Gas-/Flüssigkeits-Gemisches bei Fließdruck und –temperatur, in Kilogramm je Kubikmeter (kg/m^3).

Die gegenwärtigen Erfahrungen in der Industrie zeigen, dass bei Fluiden, die frei von Feststoffen sind, Werte von $c = 122$ für Dauerbetrieb und $c = 152$ für nicht kontinuierlichen Betrieb konservativ sind. Für Fluide ohne Feststoffe, bei denen keine Korrosion zu erwarten ist oder bei denen die Korrosion durch Korrosionsinhibitoren oder durch Verwendung von korrosionsbeständigen Legierungen kontrolliert wird, können für Dauerbetrieb Werte für c zwischen 180 und 245 eingesetzt werden und Werte bis 300 haben sich für den nicht kontinuierlichen Betrieb als

erfolgreich erwiesen. Wird die Förderung von Feststoffen erwartet, dann sollten die Fluid-Geschwindigkeiten erheblich reduziert werden. Für c können andere Werte verwendet werden, wenn durch spezielle Untersuchungen des Anwendungsfalles ihre Eignung nachgewiesen wurde.

Wenn Feststoffe und/oder korrosive Schmutzstoffe vorhanden sind oder wenn c -Werte über 122 für den Dauerbetrieb eingesetzt werden, sollten regelmäßige Überprüfungen der Rohrwanddicke vorgesehen werden. Bei der Auslegung aller Rohrleitungssysteme, bei denen mit Feststoffen zu rechnen ist, sollte der Einbau von Sandsonden, T-Stücken mit Abdeckkappe oder Auffangeinrichtung, siehe Bild 4, vorgesehen werden sowie eine Mindestlänge von 1 m gerader Rohrleitung hinter den Düsenabgängen.



Legende

- 1 Eintritt
- 2 Austritt
- 3 Feststoffansammlung
- 4 Schweißkappe oder Blindflansch

Bild 4 — T-Stück mit Auffangeinrichtung

5.5.2 Dichte

Die Dichte des Gas-/Flüssigkeits-Gemisches kann nach folgender abgeleiteter Gleichung errechnet werden:

$$\rho_m = \frac{28\,833 \, d_L \cdot p + 37,22 \, R \cdot d_g \cdot p}{28,82 \, p + 10,68 \, R \cdot T \cdot Z} \quad (15)$$

Dabei ist

p der Arbeitsdruck, in Kilopascal [kPa (abs)];

d_L die relative Dichte der Flüssigkeit (Wasser = 1, für Kohlenwasserstoff-Wasser-Gemische einen Durchschnittswert einsetzen) bei Standardbedingungen, dimensionslos;

R das Gas-/Flüssigkeits-Verhältnis bei Normalbedingungen;

T die Arbeitstemperatur, in Kelvin (K);

d_g die relative Dichte des Gases (Luft = 1), dimensionslos;

Z der Realgasfaktor, dimensionslos.

Wenn v_e bekannt ist, kann der engste Strömungsquerschnitt, der erforderlich ist, um Erosion durch das Fluid zu vermeiden, nach folgender abgeleiteter Gleichung ermittelt werden:

$$A = \frac{277,6 + (103 Z \cdot R \cdot T / p)}{v_e} \quad (16)$$

Dabei ist

A der erforderliche engste Strömungsquerschnitt des Rohres je Volumeneinheit Durchfluss, in Quadratmillimeter je Kubikmeter je Stunde ($\text{mm}^2/\text{m}^3/\text{h}$).

5.5.3 Mindest-Geschwindigkeit

Falls möglich, sollte die Mindest-Geschwindigkeit in Zwei-Phasen-Leitungen etwa 3 m/s betragen, um Beeinträchtigungen der Trenneinrichtung möglichst gering zu halten. Dies ist insbesondere bei langen Leitungen mit Höhenveränderungen wichtig.

5.5.4 Druckabfall

Der Druckabfall in einem Stahl-Rohrleitungssystem für Zwei-Phasen-Strömung kann mit einer vereinfachten Darcy-Gleichung nach [11] (Revision 1981) wie folgt ermittelt werden:

$$\Delta p = \frac{6\,253\,000 \, q_m^2 \cdot f}{d_i^5 \cdot \rho_m} \quad (17)$$

Dabei ist:

Δp der Druckabfall je 100 m Rohr, in Kilopascal (kPa);

d_i der Rohr-Innendurchmesser, in Millimeter (mm);

f die Reibungszahl nach Moody, dimensionslos;

ρ_m die Dichte von Gas/Flüssigkeit bei Fließdruck und -temperatur, errechnet nach Gleichung (15), in Kilogramm je Kubikmeter (kg/m^3);

q_m ist der Gesamt-Massendurchfluss von Flüssigkeit und Dampf, in Kilogramm je Stunde (kg/h).

Die Anwendung dieser Gleichung sollte auf Grund der Ungenauigkeiten, die mit Veränderungen der Dichte auftreten, auf einen Druckabfall von 10 % begrenzt werden.

Wird die Reibungszahl nach Moody als Durchschnittswert von 0,015 angenommen, wird diese Gleichung zu:

$$\Delta p = \frac{93\,795 \, q_m^2}{d_i^5 \cdot \rho_m}$$

q_m kann nach folgender abgeleiteter Gleichung errechnet werden:

$$W = 1,29 \, q_g d_g + 1\,000 \, q_L d_L \quad (18)$$

Dabei ist

q_g der Gasdurchfluss, in Kubikmeter je Stunde (m^3/h) bei Normalbedingungen;

d_g die relative Dichte des Gases (Luft = 1), dimensionslos;

q_L der Flüssigkeits-Durchfluss, in Kubikmeter je Stunde (m^3/h);

d_L die relative Dichte der Flüssigkeit (Wasser = 1), dimensionslos.

ANMERKUNG Diese Berechnung des Druckabfalls beruht nur auf geschätzten Werten.

5.6 Rohrwanddicken

5.6.1 Die für einen bestimmten Rohrleitungsbetrieb erforderliche Rohrwanddicke ist in erster Linie vom innen-seitigen Arbeitsdruck, der Temperatur und zulässigen Umfangsspannung des gewählten Werkstoffes abhängig. Die Normen, nach denen Rohre hergestellt werden, erlauben Wanddickenänderungen unter Nennwanddicke. In der Regel ist es wünschenswert, für Rohre aus unlegiertem Stahl einen Mindestzuschlag für Korrosion/mechanische Festigkeit von 1,25 mm aufzunehmen. Wenn die Korrosionsgeschwindigkeit vorhersehbar ist, sollte ein errechneter Korrosionszuschlag eingesetzt werden.

5.6.2 Die für einen bestimmten Anwendungsfall erforderliche Auslegungsdicke, bezogen auf den Druck, kann nach folgender Gleichung errechnet werden und muss mit ASME B31.3 übereinstimmen:

$$t = \frac{p_i \cdot D_o}{20 (100 S \cdot E + 0,1 p_i \cdot Y)} \quad (19)$$

Dabei ist

t die Auslegungsdicke, bezogen auf den Druck, in Millimeter (mm);

ANMERKUNG t ist die Mindest-Wanddicke ohne Zuschläge für Korrosion/mechanische Festigkeit, Gewinde und Hersteller-toleranz (siehe 5.6.3).

p_i der Auslegungs-Innendruck, in Kilopascal [kPa (ga)];

D_o der Rohr-Außendurchmesser, in Millimeter (mm);

E der Schweißnahtfaktor für die Längsschweißnaht (E muss ASME B31.3 entsprechen);

$E = 1,00$ für nahtloses Rohr;

$E = 0,85$ für elektrisch widerstandsgeschweißtes Rohr;

Y der Temperaturfaktor (0,4 für austenitische und andere duktile Werkstoffe bei höchstens 482 °C), wenn $t < D_o/6$.

(Y muss den Anforderungen nach ASME B31.3 für die Auslegung von geradem Rohr unter Innendruck entsprechen);

S die zulässige Spannung nach ASME B31.3, in Newton je Quadratmillimeter (N/mm²).

5.6.3 Die erforderliche Mindest-Rohrnennwanddicke kann nach folgender Gleichung errechnet werden:

$$t_{\text{nom}} \geq \frac{t + C_e}{1 - (m / 100)} \quad (20)$$

Dabei ist

t die Auslegungsdicke, bezogen auf den Druck, in Millimeter (mm);

C_e die Summe von Zuschlägen für Korrosion, mechanische Festigkeit und Gewinde, in Millimeter (mm);

m die negative Wanddickentoleranz des Herstellers, in Prozent (%).

5.6.4 Folgende Richtlinien gelten für Korrosionszuschläge:

Niedrige/mittlere Belastung = 1,0 mm, 1,25 mm oder 1,5 mm

mittlere/hohe Belastung = 3,0 mm

5.6.5 Die maximal zulässigen Arbeitsdrücke für die meisten Nennwanddicken bei Nennweiten DN 50 (2 NPS) bis DN 600 (24 NPS) sind für nahtloses Rohr, ASTM A106 Sorte B, in Tabelle 5 enthalten mit einem Zuschlag von 1,27 mm für Korrosion/mechanische Festigkeit und einer negativen Toleranz von 12,5 % für die werksseitige Wanddicke. Die in Tabelle 5 enthaltenen maximalen Arbeitsdrücke wurden nach den Gleichungen (19) und (20) für Werte $t < D_o/6$ errechnet. Zur Verdeutlichung wird die Gleichung (20) mit der Nennwanddicke (t_{nom}) nach Tabelle 5

für die Errechnung der auf den Druck bezogenen Auslegungsdicke (t) verwendet; dieser Wert wird in Gleichung (19) für die Errechnung des innenseitigen Auslegungsdruckes (p_i) eingesetzt, d. h. des maximal zulässigen Arbeitsdruckes. Für Werte $t > D_o/6$ ist die Lamé-Gleichung nach ASME B31.3 anzuwenden. In Tabelle 5 werden nur Innendruck und Temperatur berücksichtigt. Diese Wanddicken müssen möglicherweise bei außergewöhnlichen mechanischen oder temperaturbedingten Spannungen erhöht werden. Der maximal zulässige Arbeitsdruck von Rohrleitungen aus nichtrostendem Stahl kann mit Gleichung (19) mit einem Zuschlag von Null für Korrosion/mechanische Festigkeit errechnet werden.

5.6.6 Dünnwandiges Rohr mit kleinem Durchmesser ist anfällig für Schäden durch Vibration und/oder Korrosion. Bei Betrieb unter Einwirkung von Kohlenwasserstoff sollten Stutzen bis DN 20 ($\frac{3}{4}$ NPS) mindestens der Kennziffer 80 entsprechen. Nippel mit Vollgewinde sollten nicht verwendet werden.

5.6.7 Bei dünnwandigen Rohrleitungen, z. B. aus nichtrostendem Stahl, die im Betrieb Schwingungen ausgesetzt sind, sind besondere Vorkehrungen zu treffen, um Ermüdungsschäden zu vermeiden.

**Tabelle 5 — Maximal zulässige Arbeitsdrücke für Rohrleitungen auf Plattformen,
nahtloses Rohr ASTM A 106 Sorte B (Spannungswerte nach ASME B31.3)**

NPS	Außen- durch- messer	Nenn- wand- dicke	Nenn- gewicht	Gewichts- klasse	Kenn- ziffer Nr.	Temperaturbereich °C					
						- 29 bis 204 ^a	205 bis 260	261 bis 315	316 bis 343		
						Maximal zulässiger Arbeitsdruck kPa (ga)					
Inch	mm	mm	kg/m								
2	60,3	5,54	7,48	XS	80	17 166	16 221	14 848	14 586		
		8,74	11,10	—	160	31 848	30 097	27 545	27 069		
		11,07	13,45	XXS	—	43 345	40 959	37 490	36 841		
2,5	73,0	7,01	11,41	XS	80	19 407	18 345	16 786	16 497		
		9,53	14,90	—	160	28 924	27 331	25 021	24 586		
		14,02	20,41	XXS	—	47 241	44 641	40 862	40 152		
		19,05	25,33	—	—	67 393	69 486	59 483	58 455		
		3	88,9	7,62	15,25	XS	80	17 607	16 634	15 228	14 996
				11,13	21,30	—	160	28 434	26 869	24 593	24 166
15,24	27,65			XXS	—	42 000	39 690	36 331	35 697		
4	114,3	6,02	16,07	STD	40	9 924	9 379	8 586	8 434		
		8,56	22,31	XS	80	15 697	14 834	13 579	13 338		
		11,13	28,30	—	120	21 717	20 524	18 786	18 455		
		13,49	33,53	—	160	27 441	25 931	23 738	23 324		
		17,12	41,02	XXS	—	36 600	34 579	31 662	31 110		
		6	168,3	7,11	28,26	STD	40	8 317	7 855	7 193	7 069
10,97	42,56			XS	80	14 221	1 344	12 303	12 090		
14,27	54,20			—	120	19 428	18 366	16 807	16 517		
		18,26	67,55	—	160	25 862	24 503	22 428	22 041		
		21,95 ^b	79,18	XXS	—	32 138	30 372	27 800	23 717		
		8	219,1	7,04	36,76	—	30	6 262	5 917	5 421	5 324
8,18	42,53			STD	40	7 572	7 159	6 552	6 441		
10,31	53,07			—	60	10 048	9 497	8 690	8 538		
		12,70	64,63	XS	80	12 855	12 152	11 117	10 924		
		15,09	75,79	—	100	15 710	14 848	13 586	13 351		
		18,26	90,43	—	120	19 572	18 497	16 931	16 641		
		20,62 ^b	100,88	—	140	22 503	21 269	19 469	19 131		
		22,22 ^b	107,87	XXS	—	24 517	23 166	21 207	20 841		
		23,01 ^b	111,18	—	160	25 517	24 110	22 069	21 690		
10	273,0	6,35	41,77	—	20	4 386	4 145	3 793	3 731		
		7,09	46,47	—	—	5 055	4 779	4 372	4 297		
		7,80	51,00	—	30	5 703	5 386	4 931	4 848		
		9,27	60,29	STD	40	7 055	6 669	6 103	5 993		
		12,70	81,54	XS	60	10 241	9 675	8 855	8 703		
		15,09	95,84	—	80	12 490	11 807	10 807	10 621		
		18,26	114,74	—	100	15 531	14 676	13 434	13 200		
		21,44 ^b	132,85	—	120	18 621	17 600	16 110	15 828		
		25,40 ^b	154,96	XXS	140	22 559	21 317	19 510	19 172		
		28,58 ^b	172,11	—	160	25 772	23 452	22 290	21 903		
		12	323,8	6,35	49,72	—	20	3 690	3 490	3 193	3 138
				8,38	65,20	—	30	5 241	4 959	4 538	4 455
9,52	73,82			STD	—	6 124	5 786	5 297	5 207		
		10,31	79,74	—	40	6 731	6 366	5 828	5 724		
		12,70	97,44	XS	—	8 593	8 117	7 434	7 303		
		14,27	108,96	—	60	9 828	9 290	8 503	8 359		
		17,48	132,01	—	80	12 372	11 690	10 703	10 517		
		21,44 ^b	159,66	—	100	15 572	14 710	13 469	13 234		
		25,40 ^b	186,75	XXS	120	18 828	17 786	16 283	16 000		
		28,58 ^b	207,87	—	140	21 476	20 297	18 579	18 255		
		33,32 ^b	238,60	—	160	25 517	24 110	22 069	21 690		

Tabelle 5 (fortgesetzt)

NPS	Außen- durch- messer	Nenn- wand- dicke	Nenn- gewicht	Gewichts- klasse	Kenn- ziffer Nr.	Temperaturbereich °C			
						- 29 bis 204 ^a	205 bis 260	261 bis 315	316 bis 343
						Maximal zulässiger Arbeitsdruck kPa (ga)			
14	355,6	6,34	54,68	—	10	3 359	3 172	2 903	2 855
		7,92	67,94	—	20	4 448	4 207	3 848	3 786
		9,52	81,28	STD	30	5 566	5 262	4 814	4 731
		11,13	94,49	—	40	6 697	6 324	5 793	5 690
		12,70	107,38	XS	—	7 807	7 379	6 752	6 634
		15,09	126,51	—	60	9 510	8 986	8 228	8 083
		19,05	158,08	—	80	12 372	11 697	10 703	10 517
		23,83 ^b	194,90	—	100	15 890	15 014	13 745	13 503
		27,79 ^b	224,36	—	120	18 855	17 821	16 310	16 028
		31,75 ^b	253,31	—	140	21 869	20 669	18 917	18 593
		35,71 ^b	281,49	—	160	24 938	23 566	21 572	21 200
16	406,4	6,35	62,63	—	10	2 931	2 772	2 538	2 497
		7,92	77,86	—	20	3 890	3 676	3 366	3 303
		9,52	93,21	STD	30	4 862	4 593	4 207	4 131
		12,70	123,29	XS	40	6 814	6 441	5 897	5 793
		16,66	160,72	—	60	9 276	8 766	8 028	7 883
		21,41 ^b	203,88	—	80	12 276	11 600	10 621	10 434
		26,19 ^b	245,55	—	100	15 345	14 503	13 276	13 041
		30,94 ^b	287,21	—	120	18 448	17 434	15 959	15 683
		36,50 ^b	333,35	—	140	22 152	20 938	19 165	18 834
18	457,2	6,35	70,59	—	10	2 607	2 462	2 255	2 214
		7,92	87,79	—	20	3 455	3 262	2 986	2 931
		9,52	105,14	STD	—	4 317	4 076	3 731	3 669
		11,13	122,36	XS	30	5 186	4 897	4 483	4 407
		12,70	139,19	—	—	6 041	5 710	5 228	5 138
		14,27	155,91	—	40	6 903	6 524	5 972	5 869
		18,24	197,93	—	60	9 097	8 593	7 869	7 731
		23,80 ^b	254,48	—	80	12 214	11 545	10 566	10 386
		29,36 ^b	309,54	—	100	15 393	14 545	13 317	13 083
		34,11 ^b	355,67	—	120	18 152	17 152	15 703	15 428
20	508	6,35	78,56	—	10	2 343	2 214	2 027	1 991
		9,52	117,03	STD	20	3 876	3 683	3 353	3 295
		12,70	155,13	XS	30	5 428	5 129	4 695	4 613
		15,06	183,08	—	40	6 588	6 226	5 699	5 600
		20,62	247,84	—	60	9 353	8 838	8 090	7 950
		26,19	311,19	—	80	12 166	11 497	10 524	10 341
		32,54	381,55	—	100	15 429	14 580	13 346	13 115
		38,10	441,52	—	120	18 335	17 327	15 860	15 585
24	609,6	6,35	94,47	—	10	1 950	1 843	1 687	1 658
		9,52	140,89	STD	20	3 224	3 047	2 789	2 740
		12,70	186,95	XS	—	4 511	4 263	3 902	3 834
		14,27	209,51	—	30	5 150	4 867	4 455	4 378
		17,48	255,25	—	40	6 464	6 109	5 591	5 494
		24,61	355,04	—	60	9 418	8 900	8 147	8 005
		30,96	441,80	—	80	12 091	11 426	10 590	10 277
		38,88	547,23	—	100	15 482	14 630	13 392	13 160
		46,02	639,62	—	120	18 595	17 572	16 084	15 805

^a Sprödbbruchfestigkeit siehe 5.1.4^b Bei Wanddicken über 19 mm müssen alle Schweißnähte spannungsarmgeglüht sein.

ANMERKUNG Einschließlich Zuschläge von 1,25 mm für Korrosion/mechanische Festigkeit und Abweichungen von 12,5 % unter Nennwanddicke (Herstellertoleranz) von Rohren und Rohrformstücken.

5.7 Verbindungsanschlüsse

5.7.1 Rohr-Anschlussarten

Zu den allgemein üblichen Rohrverbindungen gehören Stumpfschweißverbindungen, Einsteckschweißmuffenverbindungen, sowie mit Gewinde und Rohrverbinder. Im nachfolgenden ist angegeben, welche Anschlussarten für die jeweiligen Anwendungsfälle verwendet werden sollten.

5.7.2 Rohrleitungen für den Betrieb unter Einwirkung von Kohlenwasserstoff

Für die Verbindungsherstellung sollten Stumpfschweißnähte gewählt werden.

Rohrleitungen $\geq$ DN 50 (2 NPS) müssen stumpfgeschweißt sein.

Rohrleitungen $\leq$ DN 40 (1 ½ NPS) dürfen mit Einsteck-Schweißmuffen verbunden werden.

Einsteck-Schweißmuffenverbindungen sollten nicht verwendet werden, wenn:

- a) die Gefahr schwerer Spaltkorrosion besteht, oder
- b) übermäßige mechanische Schwingungen auftreten.

Alle Nennweiten von Rohrleitungen der Druckstufen ab ASME Class 600 sollten Stumpfschweißverbindungen haben.

Überschiebflansche dürfen nur im nicht-zyklischen stoßfreien Betrieb bis ASME Class 600 verwendet werden.

5.7.3 Versorgungsleitungen (außer Dampfbetrieb)

Druckbeaufschlagte Versorgungsleitungen $\geq$ DN 80 (3 NPS) sollten Stumpfschweißverbindungen haben.

5.7.4 Rohrleitungssysteme mit Gewindeverbindungen

Schraubverbindungen von Rohren und Rohrformstücken weisen eine geringere Festigkeit auf als Stumpfschweiß- und Einsteckschweißmuffenverbindungen und sind nur zu verwenden, wenn:

- a) das Fluid nicht brennbar, nicht toxisch, nicht gefährlich und nicht erosiv ist;
- b) die Belastung nicht zyklisch ist und keine übermäßigen mechanischen Schwingungen auftreten;
- c) der Auslegungsdruck weniger als 2 000 kPa (ga) beträgt;
- d) die Auslegungstemperatur zwischen -29 °C und 200 °C liegt.

Unter Umständen können die vorgenannten Leitlinien nicht immer beachtet werden, insbesondere bei Anschlüssen an Geräte oder Messeinrichtungen. In diesen Fällen muss eine Risikobewertung des Verbindungsverfahrens hinsichtlich der Gefahren für Geräte und Personal durchgeführt werden. Gewinde sollten kegelig, konzentrisch mit dem Rohr, glatt geschnitten und gratfrei sein. Die Innenseite des Rohres sollte bei allen bei der Montage geschnittenen Gewinde ausgeräumt sein.

Insbesondere ist auf die Anordnung von Rohrleitungen mit Schraubverbindungen zu achten, bei denen sichergestellt sein muss, dass die Verbindungen nicht überlastet werden oder sich im Betrieb lösen.

Weitere Angaben zur Gewindeherstellung siehe ISO 10422 [15] bzw. ASME B.1.20.1 [16], Angaben zu Gewindeverbindungen können ISO 13678 [17] entnommen werden.

5.8 Ausdehnung und Flexibilität

5.8.1 Rohrleitungssysteme können vielen unterschiedlichen Belastungen ausgesetzt sein. Im allgemeinen sind durch folgende Faktoren verursachte Spannungen bei der Flexibilitätsanalyse eines Rohrleitungssystems wichtig:

- a) Druck und Druckänderungen;
- b) Masse von Rohren, Rohrformstücken, Armaturen, Fluiden und Isolierung;
- c) Wärmedehnung oder Wärmeschrumpfung auf Grund von Prozessbedingungen, Temperaturwechsel, Entlüften und Änderungen von Umgebungsbedingungen;
- d) äußere Belastungen und dynamische Einflüsse, z. B. Wasserschläge, Wind, Ausströmreaktionskräfte, Schwingung, Erdbeben. In bestimmten Fällen kann es erforderlich sein, Absicherungen gegen Überdruck durch Druckwellen vorzusehen;
- e) Reaktionskräfte und Bewegungen an den Anschlussstellen und sonstige Ausdehnungsbehinderungen in der Rohrleitung.

Rohrleitungssysteme müssen ausreichend Elastizität aufweisen, um sicherzustellen, dass keine Undichtheit, Verformung, Versagen oder Überbelastung von Armaturen und angeschlossenen dehnungsempfindlichen Anlagenteilen wie Behälter, Verdichter und Turbinen auftreten.

Elastizitäts- und Spannungsanalysen des Rohrleitungssystems sollten durchgeführt werden, um die Anforderungen nach ASME B31.3 zu erfüllen.

5.8.2 Falls die folgenden Anforderungen nach ASME B31.3 nicht erfüllt werden, sollte eine formelle Spannungsanalyse durchgeführt werden.

Für ein Rohrleitungssystem mit einheitlicher Nennweite, nicht mehr als zwei Halterungsstellen, ohne dazwischenliegende Teile, die die Ausdehnung beschränken, gelten die Einschränkungen der empirischen Gleichung (21).

$$\frac{D_o \cdot y}{(L - U)^2} \leq 208,3 \quad (21)$$

Dabei ist

D_o der Rohr-Außendurchmesser, in Millimeter (mm);

y die Resultierende der vom Rohrleitungssystem aufzunehmenden Gesamt-Dehnungen auf Grund von Verlagerungen, in Millimeter;

L die gestreckte Rohrlänge, in Meter (m);

U der Festpunktabstand (gerade Linie zwischen den Verankerungen), in Meter (m).

Es liegt kein allgemein gültiger Nachweis vor, dass diese Gleichung genaue oder durchgehend konservative Lösungen ergibt. Sie ist nicht auf Systeme anwendbar, die unter übermäßigen zyklischen Belastungen betrieben werden. Die Gleichung sollte mit Vorsicht angewendet werden bei Anordnungen mit U-Bögen unterschiedlicher Schenkellänge ($L/U > 2,5$) oder fast geraden „sägezahnförmigen“ Rohrstrecken oder bei dünnwandigen Rohren mit großem Durchmesser (Vergleichsspannungsbeiwert $i > 5$ und sollte den Spannungserhöhungsfaktoren nach ASME B31.3 entsprechen), oder wenn von außen verursachte Verlagerungen (nicht in Richtung der Verbindungs-Festpunkte) einen großen Teil der gesamten Verlagerung ausmachen. Es ist nicht sichergestellt, dass die Endreaktionskräfte so niedrig sind, dass sie in den zulässigen Bereich fallen, auch wenn für das Rohrleitungssystem die Einschränkungen der Gleichung (21) gelten.

5.8.3 ASME B31.3 verlangt keine formelle Spannungsanalyse in Systemen, die eine der folgenden Anforderungen erfüllen:

- a) die Systeme sind Duplikate zufrieden stellend betriebener Anlagen oder Austauschanlagen von Systemen mit zufrieden stellendem Betriebsablauf;
- b) die Systeme können bei einem Vergleich mit vorher analysierten Systemen als angemessen bewertet werden.

5.8.4 Rohrbewegungen können durch Dehnungsbögen (einschließlich Leitungsbögen sowie U-, L- und Z-Rohrkonstruktionen), Gelenkkompensatoren oder Balgkompensatoren aufgenommen werden. Wo durchführbar, sollten Dehnungsbögen verwendet werden. Sind Dehnungsbögen nicht möglich, sollten Gelenkkompensatoren verwendet werden. Gelenkkompensatoren können undicht werden und müssen ordnungsgemäß gewartet werden. Bei Balgkompensatoren kann falscher Einbau zu Versagen führen, diese sollten deshalb vermieden werden. Jedoch werden Balgkompensatoren häufig in Entlüftungssystemen und anderen Niederdruck-Versorgungssystemen eingesetzt.

5.9 Vorgaben für die Inbetriebnahme

In allen Pumpen- und Verdichter-Saugleitungen sollten zeitweilig während des Anfahrens kegelförmige Siebeinrichtungen vorgesehen werden. Die Siebe sollten (mit ihrer Kegelspitze in Richtung Zulaufseite) möglichst nahe an den Eintrittsflanschen angeordnet sein, damit sie später leichter entfernt werden können. In manchen Fällen sind zur Entfernung der Siebeinrichtungen eine Reihe abschraubbarer Flansche erforderlich. Die Siebeinrichtungen sollten während des Anfahrens überwacht werden und entfernt werden, wenn sich keine Ablagerungen mehr ansammeln. Bei der Auswahl und Verwendung der Siebeinrichtung sollte mit Sorgfalt vorgegangen werden, um Probleme mit der Haltedruckhöhe (NPSH) zu vermeiden. Es sollte darauf geachtet werden, dass für die hydrostatische Prüfung, für das Entlüften, Entleeren und Ausblasen kleine Armaturen erforderlich sind.

6 Auswahl von Armaturen

6.1 Allgemeines

6.1.1 In Fördereinrichtungen auf Plattformen werden bereits Kugel- und Kegelhähne, Schieber, Klappen, Durchgangsventile, Membranventile, Nadelventile und Rückschlagventile eingesetzt.

Kurze Anmerkungen zu den Vorteilen, Nachteilen und Konstruktionsmerkmalen des jeweiligen Armaturentyps sind nachstehend enthalten. Auf dieser Grundlage sind in den folgenden Abschnitten spezielle Empfehlungen für die Anwendung bestimmter Armaturenbauarten enthalten. Armaturenkataloge enthalten grundlegende Konstruktionsmerkmale, Werkstoffe, Zeichnungen und Abbildungen der unterschiedlichen Armaturenbauarten. Die Armaturen sollten mit den jeweiligen nationalen und internationalen Armaturen-Normen übereinstimmen.

6.1.2 Handbetätigte Kugel- und Kegelhähne sollten im allgemeinen mit manuellen Antriebsvorrichtungen wie folgt zu versehen sein:

ASME Class 150 bis Class 400	ab DN 250 (10 NPS);
ASME Class 600 und Class 900	ab DN 250 (6 NPS);
ab ASME Class 1 500	ab DN 100 (4 NPS).

Übermäßig lange Hebel (> 750 mm) sollten auf Grund der begrenzten Platzverhältnisse im Offshorebereich vermieden werden.

6.1.3 Die folgenden Armaturen sollten im allgemeinen mit Kraftantrieben ausgerüstet sein:

- a) alle Absperrarmaturen;
- b) Eintritts- und Austrittsarmaturen von Kreiselverdichtern. Diese Armaturen sollten bei einem Abschalten des Hauptantriebs selbsttätig schließen;
- c) Umleitventile, Abblaseventile und andere selbsttätige Ventile;

d) Armaturen der folgenden Nennweiten, falls sie häufig betätigt werden:

ASME Class 150	ab DN 400 (16 NPS);
ASME Class 300 und Class 400	ab DN 300 (12 NPS);
ASME Class 600 und Class 900	ab DN 250 (10 NPS);
ab ASME Class 1 500	ab DN 200 (8 NPS).

6.2 Armaturenbauarten

6.2.1 Kugelhähne

Kugelhähne sind für die meisten Fälle bei Betrieb mit Kohlenwasserstoff oder in Versorgungsleitungen mit manueller Ein-/Aus-Regelung geeignet, bei denen die Arbeitstemperaturen zwischen -29 °C und 200 °C liegen. Die Verwendung von Kugelhähnen mit Weichstoffdichtung bei über 100 °C sollte sorgfältig überlegt werden, da einige der Werkstoffe Temperaturbegrenzungen unterliegen. Für den Betrieb bei großer Korrosionsanfälligkeit oder hohen Temperaturen sollten metallisch dichtende Kugelhähne vorgesehen werden, jedoch sollte beachtet werden, dass sich das Betriebsdrehmoment erhöht.

- Kugelhähne gibt es sowohl mit schwimmender Kugel als auch mit zapfengelagerter Kugel. Kugelhähne mit schwimmender Kugel entwickeln hohe Betriebsdrehmomente und Sitzbelastungen und sind deshalb für hohe Drücke und große Durchmesser nicht geeignet.
- Kugelhähne sind im allgemeinen für Strömungsreduzierungen durch teilweises Schließen (Drosseln) nicht geeignet, da Ventilsitz und Dichtungsflächen in der Teiloffenstellung durch die Prozessfluide abrasionsgefährdet sind.
- In kritischem Betrieb sollte darauf geachtet werden, dass die Kugelhähne mit Dichtmittel-Einspritzfittings sowohl für die Kugelsitze als auch für die Spindel ausgerüstet sind, da in manchen Fällen Dichtmittel zur Verhinderung kleinerer Undichtheiten oder zur Reduzierung der Betriebsdrehmomente erforderlich ist. Wird ein Gehäuse mit Hohlraum-Entlüftung verlangt, sollte unabhängig von den Dichtmittel-Einspritzfittings eine Gehäuse-Entlüftungsbohrung vorgesehen sein.

6.2.2 Schieber

Schieber sind für die meisten Fälle bei schwingungsfreiem Betrieb mit Kohlenwasserstoff oder in Versorgungsleitungen mit Ein-/Aus-Regelung für alle Temperaturbereiche geeignet. Kommt es im Betrieb zu Schwingungen, können sich Schieber aus ihrer normalen Stellung öffnen oder schließen, wenn die Spindeldichtung nicht sorgfältig angepasst ist. Schieber haben bessere Drehmomenteigenschaften als Kugel- oder Kegelhähne, sind jedoch größer und können nicht um 90° geschwenkt werden.

- Bei Nennweiten ab DN 50 (2 NPS) sollten handbetätigte Schieber mit elastischen Platten ausgerüstet oder als Durchgangs-Schieber ausgeführt sein. Keilschieber haben in der Regel keine Absicherung gegen Überdruck im Gehäuse-Innenraum.
- Schieber mit ungeschützten steigenden Spindeln sollten nicht verwendet werden, da es durch die Meeresumgebung zu Korrosionen der freiliegenden Spindeln und Gewinden kommen kann, die Armaturen dadurch schwergängig und die Spindeldichtungen beschädigt werden.
- Schieber können mit einfachen Zweirichtungsantrieben (Druck-Zug) betätigt werden, für die Absperrung bei einer Notabschaltung sollte jedoch ein bei Druckzunahme schließender Plattenschieber verwendet werden. Alle beweglichen Teile von Schiebern mit Kraftantrieb sollten gekammert sein, um Verschmutzungen durch Farbe oder Korrosionsprodukte auszuschließen.
- Schieber sollten nicht zur Strömungsreduzierung durch teilweises Schließen (Drosseln) verwendet werden. Durch das Drosseln, insbesondere bei Sand enthaltenden Fluiden, können die Dichtflächen beschädigt werden.
- Die Arbeitstemperatur von Schiebern mit Weichstoffdichtung kann auf Grund des Dichtungswerkstoffes eingeschränkt sein.

6.2.3 Kegelhähne

Kegelhähne sind für die gleichen Anwendungsfälle wie Kugelhähne geeignet (siehe 6.2.1) und unterliegen ähnlichen Temperaturbegrenzungen. Kegelhähne sind als Schwenkarmatur erhältlich, entweder in schmierbarer oder nicht schmierbarer Ausführung. Schmierbare Kegelhähne müssen nach einem regelmäßigen Plan geschmiert werden, um eine zufrieden stellende Abdichtung und leichte Gängigkeit beizubehalten, wobei die Häufigkeit der Schmierung von der Art des Betriebes abhängt. Das Schmieren erleichtert die Freisetzung von blockierten Ventilen. Bei der nicht schmierbaren Ausführung erfolgt die Abdichtung durch einen weichen Werkstoff, ausgenommen sind druckausgeglichene Ganzmetall-Ausführungen. Diese erfordern keine häufige Schmierung bei der Instandhaltung, jedoch kann ihre Freisetzung nach längerem Verbleib in einer Stellung schwieriger sein. In der Regel wird die bevorzugte Ausführung in Abhängigkeit der Bedingungen des jeweiligen Anwendungsfalles auf Grund dieser Eigenschaften gewählt.

6.2.4 Klappen

Klappen mit elastischer Auskleidung sind für größere Strömungsreduzierungen und Niederdruck im nicht gefährlichen Betrieb ohne Kohlenwasserstoff geeignet. Sie sind nicht geeignet als Haupt-Absperrventile für Behälter, Tanks usw. Für Temperaturen über 65 °C oder Druckstufen über ASME Class 150 oder für Kohlenwasserstoff oder gefährliche Fluide sollte eine Klappenbauart ohne Auskleidung mit großer Leistungsfähigkeit verwendet werden. Da bei niedrigen Drehmomenten die Klappen offen vibrieren dürfen, sollten Griffe mit Feststellvorrichtungen festgelegt werden.

6.2.5 Durchgangsventile

Wird eine genaue Überwachung der Strömungsreduzierung gefordert (z. B. bei Umleitbetrieb um Regelventile oder bei kleinen Entlüftungsöffnungen), sind Durchgangsventile am geeignetsten.

6.2.6 Membranventile

Bei dieser Ventilkonstruktion ist eine Membran aus Elastomer mit der Ventilspindel verbunden. Das Schließen erfolgt, indem die Membran gegen eine Metallplatte gedrückt wird, die Teil des Ventilgehäuses ist.

Membranventile werden hauptsächlich im Niederdruckbetrieb mit Wasser [bis höchstens 1 400 kPa (ga)] verwendet. Sie sind besonders geeignet für Systeme, die beträchtliche Mengen Sand oder andere Feststoffe enthalten.

6.2.7 Nadelventile

Nadelventile sind im Grunde Durchgangsventile in Kleinstausführung. Sie werden häufig für Absperrventile an Messeinrichtungen oder Druckmessern verwendet, zur Reduzierung von kleinen Mengen Luft, Gas oder hydraulischen Fluiden aus Messgeräten sowie zur Reduzierung von Druckschwankungen in Messleitungen. Die kleinen Durchgänge durch Nadelventile sind schnell verstopft; dies sollte bei ihrer Verwendung berücksichtigt werden.

6.2.8 Rückflußverhinderer

Rückflußverhinderer werden in einer Vielzahl von Ausführungen hergestellt, einschließlich Rückschlagklappen, Rückschlagventile, Kugelrückschlagventile, Kolben-Rückschlagventile, gedämpfte Rückschlagventile für Verdichterbetrieb und Doppelflügel-Rückschlagklappen. Von diesen Ausführungen ist eine voll öffnende Rückschlagklappe für die meisten schwingungsfreien Anwendungsfälle geeignet. Rückschlagklappen können in vertikalen Rohrsträngen (mit Fließrichtung nach oben) nur dann verwendet werden, wenn eine Anschlagvorrichtung enthalten ist, die verhindert, dass die Rückschlagklappe jenseits des oberen Totpunktes öffnet. Rückschlagklappen dürfen nicht abwärts gerichtet in einem vertikalen Rohrstrang verwendet werden. Bei Verwendung bei pulsierender Strömung oder niedrigen Strömungsgeschwindigkeiten neigen Rückschlagklappen zum Flattern oder Klappern und die Dichtungsflächen werden eventuell beschädigt. Um eine längere Lebensdauer zu erreichen, kann die Klappe mit Stellt verkleidet werden. Um Undichtheiten des Ventilsitzes so gering wie möglich zu halten, sollte eine elastische Dichtung verwendet werden. Ventilsitze sollten ausbaubar sein, da dadurch die Reparatur des Ventils sowie auch der Austausch der elastischen Dichtung im Ventilkörper erleichtert wird. Bei Rückschlagklappen sollte das Oberteil eingeschraubt oder geflanscht sein, um die Prüfung oder Reparatur von Klappen und Sitzen zu erleichtern. Damit eine Hochdruck-Rückschlagklappe innerhalb des Rohrsystems repariert werden kann, liegt die Mindest-Nennweite häufig in der Größenordnung von DN 65 (2,5 NPS) bzw. DN 80 (3 NPS).

- Rückschlagklappen in Einklemmbauweise (Platz sparend) werden zwischen Flanschen eingebaut. Diese Bauart öffnet in der Regel nicht vollständig und muss für Reparaturen aus der Leitung ausgebaut werden.
- Die Doppelflügel-Rückschlagklappe in Einklemmbauweise wird üblicherweise im Offshore-Bereich verwendet, da sie wenig Raum in Anspruch nimmt und ein geringes Gewicht hat. Durch Dauerbelastung kann jedoch die Feder versagen, deshalb sollten Doppelflügel-Rückschlagklappen nicht bei Betrieb mit schwellender Belastung verwendet werden; in diesen Fällen sollten gedämpfte Rückschlagventile oder Rückschlagklappen vorgesehen werden.
- Rückschlagventile sollten nur in kleinen Hochdruckleitungen bis DN 40 (1,5 NPS) für den Transport von sauberen Fluiden verwendet werden. Sie können für die Verwendung in horizontalen oder vertikalen Leitungen ausgelegt werden, sind jedoch nicht austauschbar. Da der Betrieb von Rückschlagventilen in der Regel von der Schwerkraft abhängig ist, kann Fouling durch Paraffin oder Schmutzstoffe auftreten.
- Kugelrückschlagventile sind den Rückschlagventilen sehr ähnlich. Da die Kugel durch den Druck des Fluids angehoben wird, neigt das Kugelrückschlagventil nicht wie die Rückschlagklappe zum Zuklappen. Diese Bauart sollte deshalb in den Nennweiten bis DN 50 (2 NPS) für den sauberen Betrieb mit häufiger Strömungsumkehr gewählt werden.
- Bei schwellender Strömung, z. B. Druckleitungen von Kolbenverdichtern oder Pumpen, sollten selbstausgleichende gedämpfte Rückschlagklappen mit Längskolben eingesetzt werden. Sie sollten nicht für den Betrieb mit sandigen oder schmutzigen Fluiden verwendet werden. Kolbenrückschlagventile sind mit einer Öffnung zur Überwachung der Kolbengeschwindigkeit versehen. Die Öffnungen für Flüssigkeitsbetrieb sind bedeutend größer als die Öffnungen für Gasbetrieb. Ein Kolbenrückschlagventil für den Gasbetrieb sollte für den Flüssigkeitsbetrieb nur bei geänderter Kolbenöffnung verwendet werden.

6.3 Feuerbeständigkeit von Armaturen

Nicht alle Armaturen zeigen bei Feuereinwirkung eine zufrieden stellende Leistung. Der Anwender sollte dies bei der Auswahl der Armaturen für den Prozessablauf oder kritischen Betrieb beachten. Bei Betrieb mit Kohlenwasserstoff, brennbaren oder toxischen Medien sollten Armaturen und Armaturenwerkstoffe auf Grund ihrer Konstruktion eigensicher gegen Feuer sein. Armaturen mit weichen Sitzen oder Dichtungen müssen zertifizierte, auf Feuer-sicherheit typgeprüfte Ausführungen sein.

6.4 Bemessung der Armaturen

6.4.1 Im allgemeinen sollten die Armaturen der Nennweite der Rohre entsprechen, in die die Armaturen eingebaut werden. Sofern nicht auf Grund besonderer Bedingungen ein vollständig öffnendes Ventil verlangt wird (z. B. für das Anlüften oder Aufnehmen der Kugel, erforderlicher Mindest-Druckabfall, Prüfen des Messgerätes, Ansaugvorgang der Pumpe usw.) sind unter Beachtung der Prozessbedingungen Ventile mit normaler Öffnung zulässig (z. B. nach Sicherheitsventilen gegen Drucküberschreitung müssen vollständig öffnende Ventile eingebaut sein).

6.4.2 Bei der Berechnung des gesamten Druckabfalls in einem Rohrleitungssystem ist die gängige Praxis, der Länge des geraden Rohres die äquivalente Länge der Armaturen hinzuzurechnen. Armaturenhersteller veröffentlichen üblicherweise zu ihren Armaturen Daten, entweder auf der Grundlage der äquivalenten Länge von geradem Rohr, in Meter, oder als Längen/Durchmesser-Verhältnis. Liegen für eine bestimmte Armatur diese Daten nicht vor, können angenäherte Werte aus Tabelle 3 entnommen werden. Absperr- und Umführungsventile, die zusammen mit Regelventilen verwendet werden, sollten in Übereinstimmung mit API RP 550 [18] bemessen sein.

6.4.3 Der Druckabfall in einem Ventil im Flüssigkeitsbetrieb kann nach folgender Gleichung des Fluid Control Institutes, siehe [19] errechnet werden:

$$\Delta p = 133,7 \, d_L \left(\frac{q_L}{C_v} \right)^2 \quad (22)$$

Dabei ist

Δp der Druckabfall in Kilopascal (kPa);

q_L die Durchflussmenge der Flüssigkeit, in Kubikmeter je Stunde (m³/h);

C_v der Armaturenkoeffizient, dimensionslos;

d_L die relative Dichte der Flüssigkeit (Wasser = 1), dimensionslos.

6.4.4 Für eine Armatur im Gasbetrieb kann die folgende Gleichung (Fluid Controls Institute) angewendet werden:

$$\Delta p = 646,2 \times 10^{-6} \left(\frac{q_g}{C_v} \right)^2 \frac{d_g \cdot T}{p} \quad (23)$$

Dabei sind

Δp der Druckabfall, in Kilopascal (kPa);

d_g die relative Dichte des Gases (Luft = 1); dimensionslos;

T die Fließtemperatur, in Kelvin (K);

p der Fließdruck, in Kilopascal [kPa (abs)];

q_g die Durchflussmenge Gas, in Kubikmeter je Stunde (m³/h) bei Normalbedingungen;

C_v der Armaturenkoeffizient, dimensionslos.

6.4.5 Die Werte für C_v sind in der Regel in den Katalogen der Armaturenhersteller veröffentlicht.

6.5 Druck/Temperatur-Zuordnungen der Armaturen

6.5.1 Armaturen aus Stahl werden in Übereinstimmung mit verschiedenen internationalen und nationalen Normen hergestellt, weitere Angaben siehe ISO 10434 [20], API Std 602 [21], ISO 10423, API Spec 6D [22] bzw. ASME B16.34 [23]. Vollständige Angaben zur Herstellung siehe auch API Spezifikationen, Druck/Temperatur-Zuordnungen und Einzelheiten zu den Maßen siehe ASME B16.5 [24].

6.5.2 Die meisten auf Plattformen verwendeten Stahlarmaturen sind entsprechend den Druck/Temperatur-Zuordnungen für Stahlrohre, Flansche und Flanscharmaturen nach ASME B16.5 ausgelegt. Weitere Angaben zu Baulängen (FTF und ETE) für Stahlarmaturen siehe ISO 5752 [25] und ASME B.16.10 [26]. Der zulässige Arbeitsdruck für eine Armatur nach ASME B16.34, ISO 10434, API Std 602 oder API Spec 6D richtet sich nach der Arbeitstemperatur und dem Gehäusewerkstoff.

6.5.3 Stahlarmaturen nach ISO 10423 werden hauptsächlich für Bohrlochköpfe und Förderleitungen verwendet mit Druckstufen von 13,8 MPa (2 000 psi), 20,7 MPa (3 000 psi), 34,5 MPa (5 000 psi), 69,0 MPa (10 000 psi), 103,5 MPa (15 000 psi) und 138,0 MPa (20 000 psi). Die Bezeichnung nach ISO 10423 gibt den zulässigen Arbeitsdruck für Temperaturen zwischen – 29 °C und 120 °C numerisch in Megapascal (psi) an. Dabei ist zu berücksichtigen, dass, obwohl Flansche nach ISO 10423 und ASME B16.5 gleich dimensioniert sind, sie aus unterschiedlichen Werkstoffen bestehen und folglich die Druckstufen, Korrosionsfestigkeit und Schweißneigung voneinander abweichen.

6.5.4 Bei den vorstehend beschriebenen zulässigen Arbeitsdrücken und –temperaturen sind nur die Armaturenteile aus Metall berücksichtigt. Bei Armaturen mit elastischen Dichtungswerkstoffen ist die maximale zulässige Arbeitstemperatur üblicherweise durch den elastischen Werkstoff begrenzt. Die maximal zulässigen Temperaturen für Armaturen sind in Armaturenkatalogen angegeben und sollten in den Tabellen für Rohre, Armaturen und Fittings in Anhang B enthalten sein.

6.6 Armaturenwerkstoffe

6.6.1 Korrosionsfreier Betrieb

Für korrosionsfreien Betrieb sollte unlegierter Stahl den Anforderungen in ISO 10434, ISO 10423 und API Std 6D entsprechen. Armaturengehäuse sollten im Hinblick auf Festigkeit, Duktilität und Feuerbeständigkeit den Anforderungen in ASME B16.5 entsprechen. Siehe auch Abschnitt 5.

Armaturen aus Gusseisen und duktilem Gusseisen sollten nicht im Offshorebereich verwendet werden, stattdessen sollten Armaturen aus Stahl (einschließlich Stahlguss) eingesetzt werden. Armaturen aus Nichteisenmetallen sind für den Betrieb mit Kohlenwasserstoff nicht geeignet, da sie bei Feuer versagen können; für Wasserbetrieb können Armaturen mit Gehäuse aus Kupfer-Zinnlegierung verwendet werden.

Werkstoffe für Weichstoffdichtungen sollten sorgfältig ausgewählt werden, damit sie mit den Prozessfluiden sowie der Druck/Temperatur-Zuordnung kompatibel sind.

6.6.2 Betrieb unter Einwirkung von Korrosionseinflüssen

Im allgemeinen werden für den Betrieb unter Einwirkung von Korrosion Armaturengehäuse aus unlegiertem Stahl mit korrosionsbeständigen Innenausrüstungen verwendet. Für die Innenausrüstungen wird häufig nichtrostender Stahl nach AISI 410 verwendet. Austenitische nichtrostende Stähle, z. B. AISI 316 und höherlegierte Stähle können ebenfalls für die Innenausrüstung verwendet werden. Bei Betrieb mit stärkeren Korrosionseinflüssen, für den korrosionsbeständige Rohrleitungswerkstoffe gewählt werden, sollte das Armaturengehäuse dem Werkstoff des Rohrleitungssystems entsprechen.

Bei Niederdruckbetrieb in Seewasser sind Klappen mit Gehäuseauskleidung aus unlegiertem Stahl und korrosionsbeständiger Innenausrüstung zweckmäßig. Für Anwendungsfälle in Seewasser erfüllen Schieber aus Aluminium-Bronze ebenfalls zufrieden stellend ihre Funktion.

6.6.3 Betrieb unter Einwirkung von chloridinduzierter Spannungsrisskorrosion

Bei der Auswahl von Werkstoffen sollte auf chloridinduzierte Spannungsrisskorrosion geachtet werden, siehe 4.4.3.

6.6.4 Betrieb unter Einwirkung von sulfidinduzierter Spannungsrisskorrosion

Armaturengehäuse und Innenausrüstung müssen NACE MR0175 entsprechen oder aus Werkstoffen hergestellt sein, die in der für die Verwendung geplanten Umgebung nachweislich beständig gegen sulfidinduzierte Spannungsrisskorrosion sind.

6.6.5 Wasserstoffinduzierte Rissbildung (HIC)

Wasserstoffinduzierte Rissbildung kann im Betrieb mit Schwefelwasserstoff auftreten, insbesondere bei Blechen aus unlegiertem Stahl. Die HIC-Prüfung dieser Werkstoffe muss nach NACE TM0284 mit einer Prüflösung nach NACE TM0177 erfolgen.

7 Fittings und Flansche

7.1 Allgemeines

Für Rohrleitungen auf Plattformen sind innerhalb der in 5.7 und 7 angegebenen Anwendungsgrenzen Schweiß-, Einschraub- und Flanschverbindungen zulässig.

In diesem Abschnitt werden nur Werkstoffe aus unlegiertem Stahl berücksichtigt, die mit den in 4 angegebenen Werkstoffen kompatibel sind; bei Verwendung von hochfesten Rohrwerkstoffen sollten die Flansche und Fittings die gleichen Eigenschaften aufweisen. Der Betreiber sollte, wie jeweils erforderlich, die Werkstoffe nach verfahrenstechnischen Kriterien auswählen (siehe 1 und 4.1).

Viele der in 7 beschriebenen Fittings und Flansche sollten aus Werkstoffen nach ASTM A105 [27], ASTM A350 [28] und ASTM A420 [29] hergestellt werden und einige Sorten müssen einer Wärmebehandlung unterzogen werden (Normalglühen usw.), die für alle Nennweiten des Rohres anwendbar ist. Fittings und Flansche in dieser Kategorie sollten mit den Angaben HT, N oder einem anderen geeigneten Kennzeichen zur Angabe der durchgeführten Wärmebehandlung versehen sein.

7.2 Anschweißfittings

7.2.1 Die am häufigsten für Anschweißfittings verwendeten Werkstoffsorten sind nahtlos (weitere Angaben siehe ASTM A23 Sorte WPB oder ASTM A420 Sorte WPL6), obwohl Fittings mit Rollenschweißnaht ebenfalls verwendet werden können, wenn Schweißnahtfaktor und Durchstrahlungsprüfung zufrieden stellend sind.

7.2.2 Weitere Angaben zu Maßen und Toleranzen für stumpfgeschweißte Rohrbogen mit großem Radius und T-Stücke siehe ASME B16.9 [30]. Weitere Angaben zu stumpfgeschweißten Rohrbogen mit kleinem Radius siehe ASME B16.28 [31]. Bei ausreichend Platz sollten für Rohrleitungssysteme auf Plattformen Rohrbogen mit großem Radius verwendet werden. Bei Rohrbogen mit kurzem Radius kann es zu Spannungskonzentrationen in der engsten Stelle des scharfgekrümmten Bogens kommen, daher sollte eine Abminderung auf 80 % des errechneten zulässigen Arbeitsdruckes erfolgen.

7.2.3 Die Druckstufe von Anschweißfittings aus Stahl sollte der von nahtlosem Rohr der gleichen Wanddicke entsprechen (weitere Angaben siehe ASME B16.9). Anschweißfittings sollten deshalb mit einer Wanddicke bestellt werden, die der des anschließenden Rohres entspricht, außer es sind größere Wanddicken für Rohrbogen mit kurzem Radius und eine Abminderung nach 7.2.2 erforderlich. Ansonsten wird die Druckstufe des Systems durch die geringere Wanddicke der Fittings begrenzt. Zu beachten ist ebenfalls die unterschiedliche Herstelltoleranz bei Fittings aus nahtlosem Rohr oder Blech. Müssen Fittings oder Rohr mit ungleichen Wanddicken geschweißt werden, sollte für die Ausführung der Verbindung sollte das in Anhang C festgelegte Verfahren angewendet werden.

7.2.4 Weitere Angaben für die Herstellung von Einsteckschweißwinkeln und T-Stücken siehe ASME B16.11 [32]. In der Regel werden Schmiedestücke aus Stahl nach ASTM A105 und ASTM A350 Sorte LF2 verwendet. Formstücke mit Einsteck-Schweißmuffen werden für den stoßfreien Betrieb mit Wasser, Öl und Gas (WOG) in den Druckstufen 2 000 psi, 3 000 psi und 6 000 psi geliefert.

7.2.5 Der sich durch die Anschweißfittings ergebende Druckabfall kann errechnet werden, indem deren äquivalente Länge in die Gesamtlänge des Rohrleitungssystems einbezogen wird. Äquivalente Längen für Rohrbogen und T-Stücke sind in Tabelle 3 enthalten.

7.3 Gewindeformstücke

Falls nach 5.7.4 zulässig, sollten Gewindeformstücke aus Schmiedestahl sein und nur im Versorgungsbetrieb verwendet werden. Gewindeformstücke aus Schmiedestahl werden üblicherweise nach ASTM A105 in den Druckstufen 2 000 psi, 3 000 psi und 6 000 psi hergestellt (weitere Angaben siehe ASME B16.11).

7.4 Abzweiganschlüsse

7.4.1 Für Abzweiganschlüsse in geschweißten Leitungen sollten stumpfgeschweißte T-Stücke oder Reduzierstücke verwendet werden, wenn die Zweigleitung eine Nennweite von mindestens DN 50 (2 NPS) oder größer aufweist und nicht kleiner ist als die halbe Nennweite des Hauptrohres. Wenn die Zweigleitung eine Nennweite von mindestens DN 50 (2 NPS) aufweist, jedoch kleiner ist als die halbe Nennweite des Hauptrohres, müssen Schweißstutzen nach ASME Section VIII, Division 1, Part UW oder anderen geeigneten nationalen Druckbehälter-Verordnungen verwendet werden. Zweigleitungen bis DN 40 (1 ½ NPS) sollten, z. B. mit Einschweiß-T-Stücken, an Rohrstränge bis DN 40 (1 ½ NPS) und mit Einschweiß-Anschlussfittings an Rohrstränge ab DN 50 (2 NPS) angeschlossen werden. Tabelle 6 enthält Anwendungsfälle.

7.4.2 Bördelverbindungen sollten nicht verwendet werden. Die Nachteile einer Bördelverbindung ohne Verstärkung sind zahlreich. Starke Profil- und Richtungsänderungen an der Verbindungsstelle führen zu großen Spannungserhöhungen. Verstärkungen mit Platten oder Rohrschellen führen zu einer leichten Verbesserung, jedoch kann die fertiggestellte Verbindung nur mit Schwierigkeiten auf Schweißnahtfehler und andere Mängel überprüft werden. Durch die Wahrscheinlichkeit, dass spannungserhöhende Fehler nicht entdeckt werden, sind Bördelverbindungen für den kritischen Betrieb mit Kohlenwasserstoff oder bei Betriebsbedingungen mit großen zyklischen Belastungen eine schlechte Wahl.

7.4.3 Für Abzweiganschlüsse in Rohrleitungssystemen mit Gewindeverbindungen sollten T-Stücke und Reduzierstücke verwendet werden oder T-Stücke mit reduziertem Abgang. Alle Rohrleitungssysteme mit Gewindeverbindungen sollten durch Absperrventile von den Rohrleitungssystemen mit Schweißverbindungen abgetrennt sein.

Tabelle 6 — Schema für typische Abzweiganschlüsse — Rohrleitungen mit Schweißverbindungen

Nenn- weite des Ab- zweigs NPS	Nennweite des Hauptrohres (NPS)																
	½	¾	1	1 ½	2	2 ½	3	4	6	8	10	12	14	16	18	20	24
½	SWT	SWT	SWT	SWT	SOL	SOL	SOL	SOL	SOL	SOL	SOL	SOL	SOL	SOL	SOL	SOL	SOL
¾		SWT	SWT	SWT	SOL	SOL	SOL	SOL	SOL	SOL	SOL	SOL	SOL	SOL	SOL	SOL	SOL
1			SWT	SWT	SOL	SOL	SOL	SOL	SOL	SOL	SOL	SOL	SOL	SOL	SOL	SOL	SOL
1 ½				SWT	SOL	SOL	SOL	SOL	SOL	SOL	SOL	SOL	SOL	SOL	SOL	SOL	SOL
2					T	RT	RT	RT	WOL	WOL	WOL	WOL	WOL	WOL	WOL	WOL	WOL
2 ½						T	RT	RT	WOL	WOL	WOL	WOL	WOL	WOL	WOL	WOL	WOL
3							T	RT	RT	WOL	WOL	WOL	WOL	WOL	WOL	WOL	WOL
4								T	RT	RT	WOL	WOL	WOL	WOL	WOL	WOL	WOL
6									T	RT	RT	RT	WOL	WOL	WOL	WOL	WOL
8										T	RT	RT	RT	RT	WOL	WOL	WOL
10											T	RT	RT	RT	RT	RT	WOL
12												T	RT	RT	RT	RT	RT
14													T	RT	RT	RT	RT
16														T	RT	RT	RT
18															T	RT	RT
20																T	RT
24																	T
T	— T-Stück (stumpfgeschweißt)																
RT	— Reduzierstück (stumpfgeschweißt)																
WOL	— Schweißstutzen oder gleichwertige Verbindung (Kennziffer des Abzweigrohres)																
SOL	— Einschweiß-Anschlussfittings (Schmiedestahl)																
SWT	— Einschweiß-T-Stücke																

7.5 Flansche

7.5.1 Allgemeines

7.5.1.1 Für Rohrleitungen ab DN 50 (2 NPS) sollten Vorschweißflansche verwendet werden. Überschiebflansche sollten in der Regel nicht verwendet werden. In den meisten Anwendungsfällen werden Flansche nach ASME verwendet (weitere Angaben für Nennweiten bis einschließlich DN 600 (24 NPS) siehe ASME B16.5, größere Nennweiten siehe ASME B16.47 [33]). Flansche, die hauptsächlich nahe am Bohrlochkopf verwendet werden, sollten nach ISO 10423 hergestellt sein. Um Gewicht und Platz zu sparen, können Klemmanschlüsse und herstellerspezifische Kompaktflansche vorgesehen werden.

7.5.1.2 ASME-Flansche werden in den Ausführungen mit Dichtleiste (RF) und mit Ringnut (RTJ) geliefert. Flansche mit Dichtleiste sind leichter instandzuhalten und auszutauschen als Flansche mit Ringnut. Flansche mit Ringnut werden im allgemeinen für den Betrieb bei höheren Drücken (ab ASME Class 900) verwendet und können ebenfalls für ASME Class 600-Rohrleitungssysteme verwendet werden, die im Betrieb Schwingungen ausgesetzt sind. RTJ-Flansche sollten auch für den Betrieb bei speziellen Temperaturen oder möglichen Gefährdungen verwendet werden.

Bei Verwendung von RTJ-Flanschen sollte die Rohranordnung so erfolgen, dass die Bauteile ausgebaut werden können, da für den Ausbau der Ringdichtung eine zusätzliche Elastizität erforderlich ist. Weitere Angaben zu Werkstoffen für Flansche aus unlegiertem Stahl nach ASME siehe ASTM A105 bzw. ASTM A350.

7.5.1.3 Die Werkstoffe für Flansche sollten ISO 10423 entsprechen. Bei einigen Werkstoffsorten sind spezielle Schweißverfahren erforderlich. Flansche nach den Festlegungen in ISO 10423 gibt es in den Druckstufen 13,8 MPa (2 000 psi), 20,7 MPa (3 000 psi), 34,5 MPa (5 000 psi), 69,0 MPa (10 000 psi), 103,5 MPa (15 000 psi) und 138,0 MPa (20 000 psi). Die maximalen Arbeitsdruckstufen gelten für Temperaturen zwischen – 29 °C und 121 °C. Flansche der Druckstufen 13,8 MPa (2 000 psi), 20,7 MPa (3 000 psi) und 34,5 MPa (5 000 psi) werden als Typ 6B bezeichnet, für die Dichtungen Typ R bzw. RX, bei einigen Nennweiten jedoch Dichtungen Typ BX erforderlich sind. Flansche der Druckstufen 69,0 MPa (10 000 psi), 103,5 MPa (15 000 psi) und 138,0 MPa (20 000 psi) werden als Typ 6BX bezeichnet, für die Ringdichtungen BX erforderlich sind. Flansche Typ 6B sollten Flansche mit durchgehender Dichtung sein. Flansche Typ 6BX sollten mit Rücksprung ausgeführt sein.

7.5.2 Flachdichtungen

7.5.2.1 Für Flansche mit Dichtleiste nach ASME sollten auf Grund ihrer Festigkeit und Dichtleistung Spiralasbest- oder Graphitdichtungen mit Wicklung aus nichtrostendem Stahl verwendet werden. Bei Armaturen ohne Dichtleiste aus duktilem Gusseisen oder Gusseisen für den Betrieb mit Wasser sollten durchgehende Asbest-Pressdichtungen oder arimid- oder glasfaserverstärkte, elastomergebundene Flachdichtungen verwendet werden. Werden auf glatten Dichtflächen nicht ganz durchgehende Dichtungen verwendet, können Flansche aus Gusseisen beim Anziehen der Flanschschrauben brechen. Stehen Flachdichtungen mit Asbest nicht zur Verfügung oder können diese für einen bestimmten Anwendungsfall nicht verwendet werden, können andere Dichtungswerkstoffe gewählt werden. Weichgraphitblech, zur Verstärkung beschichtet mit nichtrostendem Stahl und graphitgefüllte Spiraldichtungen sind eine annehmbare Alternative für Asbest im Betrieb mit Kohlenwasserstoff und Dampf. Für den Betrieb mit anderen Medien sollten vor der Verwendung von Graphit oder anderen Ersatzwerkstoffen für Asbest betriebsspezifische Untersuchungen durchgeführt werden.

WARNHINWEIS — Bei Werkstoffen, die Asbest enthalten, können auf Grund bestehender Gesetze Vorichtsmaßnahmen erforderlich sein, die bei ihrer Handhabung zu treffen sind, um sicherzustellen, dass sie keine Gefahr für die Gesundheit darstellen. In immer mehr Ländern wird die Verwendung asbesthaltiger Produkte abgelehnt oder verboten.

7.5.2.2 Ringdichtungen für RTJ-Flansche nach API und ASME sollten nach ISO 10423 hergestellt werden. API-Metallringdichtungen werden entweder aus Weicheisenstahl mit niedrigem Kohlenstoffgehalt (ELC), oder nichtrostendem Stahl AISI 304 bzw. AISI 316 hergestellt. Sofern vom Betreiber nichts anderes festgelegt ist, werden Metallringdichtungen aus Weicheisen oder ELC-Stahl mit Cadmium oder einem anderen geeigneten Werkstoff plattiert. Für RTJ-Flansche nach ASME und API 6B werden Flachdichtungen API Typ R bzw. RX verwendet. Metallringdichtungen Typ R werden entweder mit achteckigem oder ovalem Querschnitt gefertigt. Metallringdichtungen Typ RX sind selbstdichtend und haben einen modifizierten achteckigen Querschnitt. Flachdichtungen Typ R und RX sind austauschbar; jedoch haben RX-Dichtungen eine größere Ringhöhe, wodurch der Abstand zwischen den verschraubten Flanschen größer ist und längere Flanschschrauben benötigt werden.

7.5.2.3 Metallringdichtungen Typ R aus Weicheisen sollten für den Betrieb bei Drücken ASME Class 600 und ASME Class 900 (siehe 7.5.1) verwendet werden. Metallringdichtungen Typ RX aus ELC-Stahl weisen bei hohem Druck eine bessere Abdichtung auf und sollten für Drücke ASME Class 1 500 sowie höhere Druckstufen und 2 000 psi, 3 000 psi und 5 000 psi verwendet werden.

7.5.2.4 Für Flansche Typ 6BX sind selbstdichtende Ringdichtungen Typ BX erforderlich. Diese Dichtungen aus ELC-Stahl sollten für Flansche 69,0 MPa (10 000 psi), 103,5 MPa (15 000 psi) und 138,0 MPa (20 000 psi) verwendet werden.

7.5.2.5 Flachdichtungen für Trinkwassersysteme siehe 8.6.3.

7.5.3 Flanschenschutz

Zum Schutz von Dichtungen, Schrauben und Flanschdichtflächen gegen Korrosion wurden verschiedene Verfahren versucht (Anstrich, Umwickeln mit Band, usw.), jedoch war keines der Verfahren völlig zufrieden stellend. Mögliche Lösungen beinhalten:

- die Anbringung von Flanschschutzvorrichtungen aus Weichgummi (Grenzwert 150 °C), wenn der Flansch verschraubt ist, und
- die Anbringung von Band aus nichtrostendem Stahl oder Polymer mit einer Schmiervorrichtung.

Bei Betrieb mit H₂S sollten die Schrauben für die Entlüftung zur Atmosphäre offen bleiben oder es sollten für den H₂S-Betrieb und die Flansch-Druckstufe geeignete Schrauben verwendet werden.

7.5.4 Schrauben und Muttern

Für Rohrleitungssysteme mit Flanschverbindung sollten Gewindebolzen mit Gewinde über die ganze Länge nach ASTM A193 [34] Produktklasse B7 verwendet werden. Als Muttern sollten Sechskantmutter der schweren Reihe, Halbzeug, nach ASTM A194 [35] Produktklasse 2H verwendet werden. Für Niedertemperaturbetrieb sollten jedoch Schrauben nach ASTM A320 [36] Produktklasse L7 und Sechskantmutter, schwere Reihe, nach ASTM A194 Produktklasse 4 bzw. 7 vorgesehen werden (mit Kerbschlagbiegeversuch entsprechend den zusätzlichen Anforderungen für S4). Schrauben und Muttern sollten gegen Korrosion geschützt sein; zu den gegenwärtig angewendeten Verfahren gehören das Verkadmen, Feuerverzinken und die Harzummantelung.

WARNHINWEIS — Mit dem Prozess des Verkadmens sind Gefährdungen verbunden, andere Beschichtungsverfahren werden deshalb bevorzugt angewendet.

7.6 Herstellerspezifische Rohrverbinder

Als Ersatz für Flansche stehen mehrere herstellerspezifische Rohrverbinder zur Verfügung. Diese Rohrverbinder können zufrieden stellend verwendet werden, wenn ihre Dichtungseigenschaften, ihre Festigkeit und Feuersicherheit denen der Flansche vergleichbar sind. Für den Anschluss an die Rohrverbinder sind für Armaturen und Fittings speziell bearbeitete Ansätze und Ringdichtungen erforderlich. Die Ausfluchtung kann ein Problem darstellen.

7.7 Besondere Anforderungen für den Betrieb unter Einwirkung von sulfidinduzierter Spannungsrissbildung

Nach üblichen Verfahren hergestellte Fittings- und Flanschwerkstoffe sind in der Regel für den Betrieb bei sulfidinduzierter Spannungsrissbildung mit der zusätzlichen Festlegung ausreichend, dass sie so zu modifizieren sind, dass die Anforderungen in NACE MR017S erfüllt werden. Für Rohrflansche sind im allgemeinen Muttern ASTM A194 Produktklasse 2HM, Schrauben ASTM A193 Produktklasse B7M oder ASTM A320 Produktklasse L7M und Sechskantmutter, schwere Reihe, ASTM A194 Produktklasse 7M (mit Kerbschlagbiegeversuch ASTM A194, S4) für Niedertemperaturbetrieb zufriedenstellend. Ferner sind die Anforderungen an das Drehmoment während der Montage zu beachten. Ringdichtungen Typ R und RX sollten in Abhängigkeit des jeweiligen Prozesses aus geglühtem, nichtrostendem Stahl nach AISI 316 oder Weicheisen nach NACE MR0175 hergestellt sein (siehe auch 4.4.5 und 4.4.6).

7.8 Vermeidung von Erosion

Um im Förderbetrieb mit anfallendem Sand Erosionen möglichst zu vermeiden, sollten Rohrbogen mit kleinem Radius nicht verwendet werden. Für alle Richtungsänderungen in Förderleitungen sollten T-Stücke und Anschweißdeckel (oder Blindflansche), T-Stücke mit Deckel oder Auffangeinrichtung oder Bögen mit großem Radius Mindest-Biegeradius in der Regel 3D bzw. 5D) verwendet werden. Maximalgeschwindigkeiten zur weitestmöglichen Vermeidung von Erosion, siehe 5.5.1.

8 Auslegungskriterien für spezielle Rohrleitungssysteme

8.1 Allgemeines

Dieser Abschnitt enthält Angaben zu Fließbildern, Anordnungen von Rohrleitungen und besondere Anforderungen für die Auslegung von speziellen Rohrleitungssystemen.

8.2 Zubehöerteile für den Bohrlochkopf

8.2.1 Anschlussstellen für Probenentnahme und Einspritzungen

In unmittelbarer Nähe von Bohrlochköpfen können Anschlussstellen für Chemikaliengaben und Probenentnahmen verlangt werden (siehe Bilder 5 und 6). Falls vorhanden, sollten sie eine Mindest-Nennweite von DN 15 (1½ NPS) und ein engsitzendes Absperrventil aufweisen. Die zugehörige Rohrleitung muss aus einem für den Prozess und das jeweilige Einspritzfluid geeigneten Werkstoff sein, eine große Wanddicke haben und gut geschützt gegen mögliche Schäden sein. In Einspritzleitungen sollte ein federbelastetes Kugelrückschlagventil eng mit dem Absperrventil auf der Einspritzseite verbunden sein. An Anschlussstellen für Probenentnahmen sollte ein Absperrventil eng mit einem Drosselventil auf der Austrittsseite verbunden sein. An der Anschlussstelle für die Probenentnahme sollte eine Doppelabspernung vorgesehen sein.

8.2.2 Düsen/Drosseln

Düsen werden üblicherweise zur Regelung der Strömung von Öl- und Gasbohrungen eingebaut. Die Düsenbauarten umfassen verstellbare Düsen, feste Düsen und kombinierte Düsen. Anzahl und Anordnung der Düsen sind abhängig von der Höhe des Druckabfalls, Bohrlochflüssigkeit, Durchflussmenge und Feststoffen im Bohrstrom. Üblicherweise wird nur eine Düse verwendet, die in unmittelbarer Nähe des Bohrlochkopfes angeordnet sein sollte. Zusätzliche Düsen können in der Nähe des Manifolds (Rohrverteiler) angeordnet sein, der zu den einzelnen Leitungen führt, eventuell in Zusammenschluss mit Leitungserhitzern für Gasbohrungen.

Unabhängig von der Anzahl der Düsen oder deren Anordnung sollten die folgenden allgemeinen Leitlinien beachtet werden:

- a) Düsengehäuse sollten so eingebaut werden, dass ein Ausbau und Änderungen an der Innenausrüstung ohne Schwierigkeiten möglich sind;
- b) die ablaufseitige Fließstrecke sollte auf einer Länge von 10 bis 20 Rohr-Nenndurchmessern keine plötzlichen Richtungsänderungen aufweisen, um einen Abbruch der Strömung auf Grund hoher Geschwindigkeit möglichst zu vermeiden;
- c) Austrittsstutzen sollten untersucht werden, um festzustellen, ob zur Verbesserung des Strömungsbildes der Bohrungsdurchmesser verjüngt werden sollte;
- d) bei Änderungen an der Innenausrüstung, Beseitigung von Schmutz, usw. sollten geeignete Vorkehrungen getroffen werden, um das Düsengehäuse abzusperrern und von Druck zu entlasten;
- e) die Werkstoffe müssen für die Temperaturen auf der Austrittsseite der Düsen geeignet sein.

8.3 Förderleitung und Zubehöerteile für die Förderleitung

8.3.1 Auslegungskriterien für die Förderleitung

Bei der Auslegung von Förderleitungen sollten Druck, Temperatur, Geschwindigkeit, erosive und korrosive Auswirkungen auf das Rohr, usw. berücksichtigt werden (siehe 5, 6, und 7). Die nachstehend angegebenen Zubehöerteile können bei Bedarf verwendet werden.

8.3.2 Druckaufnehmer

Der Einbau eines Druckaufnehmers in die Förderleitung sollte nach API RP14C [37] erfolgen. Ferner sollte der Anschluss eine Mindest-Nennweite von DN 15 (½ NPS) aufweisen und so angeordnet sein, dass möglichst kein Verstopfen und Vereisen auftritt.

Anschlüsse im unteren Teil der Leitung oder in Bögen sollten vermieden werden. Druckaufnehmer sollten mit außenliegendem Prüfanschluss und Absperrventil eingebaut werden. Doppelabsperarmaturen oder Doppelabsperarmaturen mit Zwischenentlüftung sollten vorgesehen werden, um eine kontinuierliche Instandhaltung zu ermöglichen. Messleitungen sollten aus nichtrostendem Stahl oder anderen für den jeweiligen Betrieb geeigneten Werkstoffen hergestellt und so befestigt sein, dass bei zu starker Beanspruchung ein Ausschlagen verhindert wird.

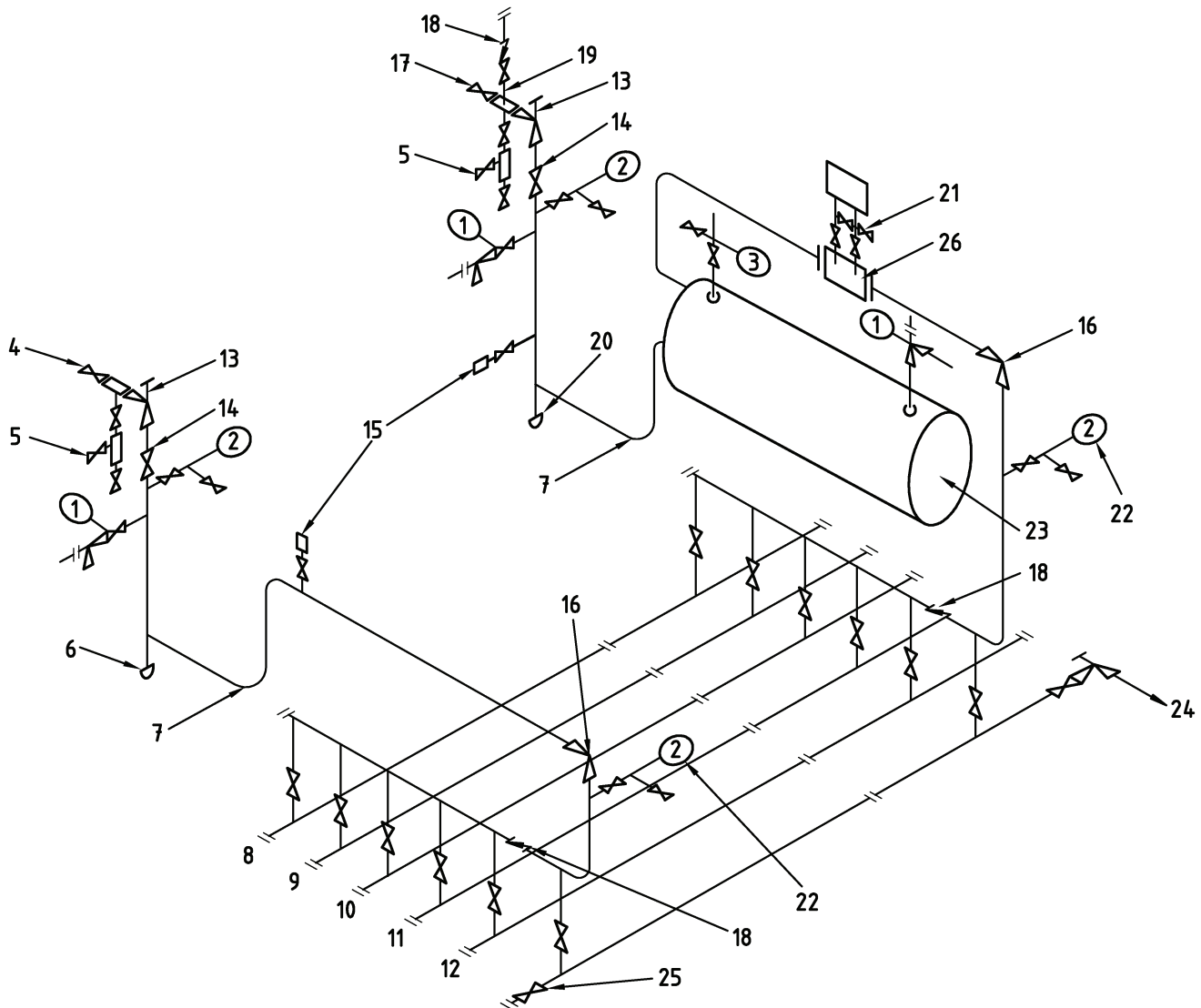
8.3.3 Durchflussmessgerät

Für Gasbohrungen kann ein Durchflussmessgerät, wie in den Bildern 5 und 6 dargestellt, zweckmäßig sein, entweder zur Überwachung der Bohrung oder Feststellung der Fördermenge.

8.3.4 Wärmeaustauscher

Bei Einsatz von Wärmeaustauschern für Förderleitungen (siehe Bilder 5 und 6) sollten folgende Vorgaben beachtet werden.

- a) Anschlüsse sollten so angeordnet sein, dass die Rohrbündel des Wärmeaustauschers herausgezogen werden können, ohne dass Schneid- oder Schweißarbeiten an der Eintritts- oder Austrittsrohrleitung erforderlich sind;
- b) Am Krempenboden des Mantels sollten bei Verwendung von U-Bogen diese entweder von außen sichtbar oder für die zerstörungsfreie Prüfung leicht zugänglich sein.
- c) Es sollte ein Mantelröhren-Wärmeaustauscher mit gekremptem Boden mit genormten Maßen verwendet werden, so dass die Rohrbündel gereinigt, herausgezogen, repariert und ausgetauscht werden können.
- d) Es sollte ein Druckentlastungssystem nach 8.8 vorgesehen werden.



Absperrventile unterhalb von Entlastungsventilen müssen entriegelt sein.

ANMERKUNG 1 Dieses Bild dient der Veranschaulichung der im Text beschriebenen Angaben. Die Zubehörteile und Rohranordnungen sollten nicht als typisch oder empfohlen angesehen werden.

ANMERKUNG 2 Entlastungsventile entlüften in geeignete Entsorgungssysteme (siehe 8.8).

Legende

- | | |
|---|--|
| 1 Sicherheitsventil gegen Drucküberschreitung | 16 Nebendüse |
| 2 Druckschalter HD/ND | 17 Seitenschieber am E-Kreuz für Gasbohrung |
| 3 Druckschalter HD | 18 Rückschlagventil |
| 4 Seitenschieber am E-Kreuz für Ölbohrung | 19 Leitung für Chemikalienzugabe |
| 5 Auffangvorrichtung für Probe | 20 T-Stück für Förderleitung |
| 6 T-Stück mit Deckel | 21 Durchflussmessgerät |
| 7 Rohrbogen mit großem Radius | 22 (wird in Verbindung mit der Nebendüse verwendet) |
| 8 Atmosphäre | 23 Wärmeaustauscher der Förderleitung (wird nur für von außen beheizte Gasbohrströme benötigt) |
| 9 Prüfung bei Niederdruck | 24 Abscheider oder Abzugskanal für Entlastung in die Atmosphäre |
| 10 Prüfung bei Hochdruck | 25 Zuleitung aus zusätzlicher Betriebspumpe |
| 11 Förderung bei Niederdruck | 26 Fluid- oder Gasmessgerät |
| 12 Förderung bei Hochdruck | |
| 13 Klappendüse | |
| 14 Förderleitungsventil | |
| 15 Überwachungseinrichtung für Sandanfall | |

Bild 5 — Beispiel für eine schematische Darstellung einer Rohrleitung mit Zubehörteilen für Förderleitungen und Manifolds (Rohrverteiler), die nicht für den Bohrlochkopfdruck bemessen sind