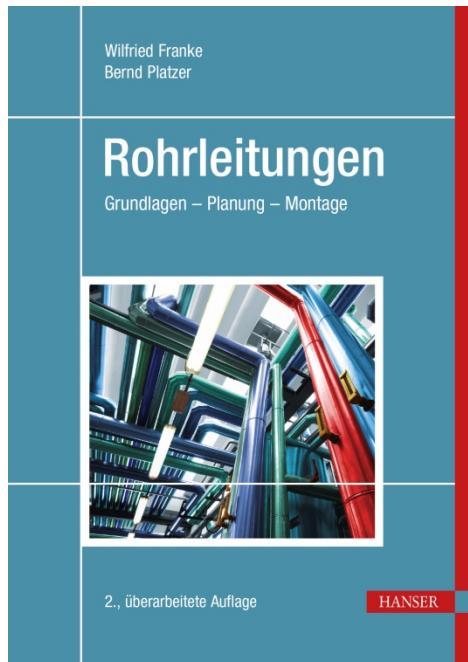


HANSER



Leseprobe

zu

Rohrleitungen

von Wilfried Franke und Bernd Platzer

Print-ISBN: 978-3-446-46457-5

E-Book-ISBN: 978-3-446-46513-8

Weitere Informationen und Bestellungen unter
<http://www.hanser-fachbuch.de/978-3-446-46457-5>
sowie im Buchhandel

© Carl Hanser Verlag, München

Vorwort

Das vorliegende Buch ist als Lehrbuch zum Gebrauch neben den Vorlesungen konzipiert. Es wendet sich vordergründig an Ingenieurstudenten, die einen verfahrenstechnisch orientierten Studiengang belegen. Erfahrungsgemäß sind in diesen Studiengängen – mehr oder weniger ausgeprägt – Lehrveranstaltungen zur Anlagen- und Apparatetechnik bzw. zur Rohrleitungstechnik integriert. Hier ist das Buch geeignet, das Selbststudium zu unterstützen. Von Studierenden mehr maschinenbaulich orientierter Studiengänge kann es ebenfalls mit Gewinn gelesen werden. Auch Praktiker können in ihm Anregungen zur Beantwortung anstehender Fragen finden.

Entsprechend dieser Ausrichtung sind zum Verständnis der behandelten Problematik und zum Nachvollziehen der aufgezeigten Lösungswege Kenntnisse der in den vorgelagerten Lehrveranstaltungen, z.B. Mathematik, Strömungslehre, Wärmelehre (Thermodynamik) und Technische Mechanik vermittelten Grundlagen erforderlich. Davon ausgehend und unter Berücksichtigung des einzuhaltenden Umfanges des Buches, wurde auf eine ausführliche Darstellung prägender Elemente dieser Lehrgebiete verzichtet. Im Buch ist die Anwendung dieser theoretischen Grundlagen auf ausgewählte Fragestellungen aus dem Gebiet der Rohrleitungstechnik vordergründig. Eine vollständige Behandlung aller hier relevanten ingenieurtechnischen Aspekte ist nicht möglich. Dafür sei auf die weiterführende Literatur verwiesen, für deren Nutzung das vorliegende Buch den Einstieg erleichtern soll.

Bei Verweis auf Normen ist stets deren neueste Ausgabe zu nutzen, das gilt auch für andere im Text zitierte Regeln.

Die Autoren sind den Firmen zu Dank verpflichtet, die dieses Projekt durch Bereitstellung von Informationen und die Genehmigung für deren Veröffentlichung sowie durch praktische Hinweise tätig unterstützten. Insbesondere seien hier APRO Ingenieurbüro GmbH Leuna, Sikla GmbH VS-Schwenningen, Witzenmann GmbH Pforzheim sowie IMO Industriemonatagen Merseburg GmbH genannt.

Dank gebührt dem Fachbereich Ingenieur- und Naturwissenschaften der Hochschule Merseburg (FH) für die Unterstützung bei der Fertigstellung des Manuskriptes. Besonderen Dank schulden die Autoren Herrn *Jochen Horn* vom Carl Hanser Verlag für seine Begleitung des Buchprojektes und sein stets gezeigtes Verständnis! Dank gilt auch Frau *Silke Wienhold*, die die nicht immer einfache Aufgabe übernahm und hervorragend löste, dem Text und den Skizzen die rechte Form zu geben.

Juni 2014

*Wilfried Franke, Merseburg
Bernd Platzer, Chemnitz*

Vorwort zur 2. Auflage

Die Neuauflage des Titels ermöglichte eine korrigierende Durchsicht. Im gegebenen Rahmen erfolgte eine partielle Überarbeitung einzelner Abschnitte. Gleichzeitig konnten kleine Ergänzungen eingearbeitet werden, die zum besseren Verständnis beitragen sollen.

Von den angeführten Normen gelten jeweils die neuesten Ausgaben. Im Text finden sich auch verschiedentlich Hinweise auf die Technischen Regeln zur Druckgeräteverordnung (TR), insbesondere auf die für Rohrleitungen (z.B. TRR 100). Diese Regeln sind seit dem 1.1.2013 außer Kraft gesetzt. Sie geben jedoch für die praktische Arbeit nach wie vor gute Hinweise und werden daher weiterhin zitiert.

Die Überarbeitung einiger Bilder hat wiederum Frau Silke Hartl unterstützt, wofür wir Ihr sehr dankbar sind. Dank gilt ebenfalls dem Carl Hanser Verlag, vertreten durch das Lektorat Physik, Mathematik und Technik, dessen sehr gute Zusammenarbeit wir zu schätzen wissen.

Oktober 2020

*Wilfried Franke, Merseburg
Bernd Platzer, Chemnitz*

Inhaltsverzeichnis

Vorwort	5
Vorwort zur 2. Auflage.....	6
1 Rohre und Armaturen.....	11
1.1 Rohre	11
1.2 Armaturen	24
1.2.1 Sperr- und Regeleinrichtungen	25
1.2.2 Sicherheitsarmaturen.....	27
1.2.3 Sonderarmaturen	29
2 Strömungs- und wärmetechnische Rohrauslegung	31
2.1 Strömungscharakteristika	31
2.2 Inkompressible Medien	32
2.2.1 Berechnung der Rohrreibung.....	32
2.2.2 Verlustbeiwerte von Formstücken.....	43
2.2.3 Kenngrößen von Armaturen	43
2.2.4 Rohrleitungsdimensionierung und Pumpenauslegung.....	45
2.2.5 Förderhöhe und Rohrleitungskennlinie	50
2.2.6 Bestimmung des optimalen Rohrdurchmessers.....	52
2.2.7 Auswahl von Regelventilen	56
2.2.8 Auslegung von Sicherheitsventilen.....	59
2.2.9 Strömungsabriss und Kavitation	63
2.2.10 Wirkungsgrad von Rohrleitungen und Diffusoren	65
2.2.11 Rohrnetze	69
2.3 Strömung kompressibler Medien durch gerade Leitungen.....	75
2.3.1 Ideale Gase.....	75
2.3.2 Verdünnte Gase	86
2.3.3 Dampfleitungen.....	87
2.4 Instationäre Strömungsvorgänge	89
2.5 Beanspruchungen von Rohrleitungen.....	90
2.5.1 Kraftwirkung bei stationären Strömungen.....	90
2.5.2 Druckstoß.....	92
2.6 Leckage.....	97
2.7 Verweilzeitverteilung	98
2.8 Thermische Vorgänge.....	101
2.8.1 Wärmeausdehnung.....	101

2.8.2 Wärmeleitung	103
2.8.3 Konvektiver Wärmeübergang	110
2.8.4 Wärmedurchgang	117
2.8.4.1 Wärmedurchgangskoeffizient	117
2.8.4.2 Rohre mit Rippen oder Nadeln	118
2.8.4.3 Rohrdämmung	119
2.8.4.4 Temperaturänderungen in Rohrleitungen	121
2.8.5 Wärmeübertragung durch Strahlung	122
3 Konstruktive Dimensionierung von Rohrleitungselementen	127
3.1 Berechnung der Rohrwanddicke bei Innendruck	127
3.1.1 Grundlagen	127
3.1.2 Werkstoffprüfung und zulässige Spannung	136
3.1.3 Praktische Berechnung der Wanddicke	140
3.1.4 Bestell-Wanddicke	154
3.2 Flanschverbindungen	158
3.3 Berechnung der Wanddicke von Rohrbögen	171
3.3.1 Glattrohrbögen	171
3.3.2 Segmentbögen	177
3.4 Wanddickenberechnung von T-Stücken und Abzweigen	180
3.4.1 Arten	180
3.4.2 Grundlagen	181
3.4.3 Berechnungsansatz	184
4 Verlegung von Rohrleitungen	195
4.1 Halterungen	195
4.2 Stützweite in einer Rohrleitung	198
4.2.1 Einspannung des Rohrs an den Stützen	198
4.2.2 Gelenkige Lagerung des Rohrs an den Auflagern	200
4.2.3 Betrachtung der Biegespannungen	201
4.3 Thermisch belastetes gerades Rohr zwischen zwei Festpunkten	206
4.4 Dehnungsausgleich	211
4.4.1 Künstlicher Dehnungsausgleich	211
4.4.2 Einordnung der Ausgleicher in die Rohrleitung	220
4.4.3 Natürlicher Dehnungsausgleich (s. auch [61])	224
5 Montage	250
5.1 Inhalt und Umfang der Montage	250
5.2 Voraussetzungen für die Montage	251
5.3 Montagedurchführung	252
5.3.1 Montageplanung	252
5.3.2 Montageablauf	268
5.3.2.1 Anlageninterne Rohrleitungen	268
5.3.2.2 Lineare Rohrleitungen	269
5.3.2.3 Schweißverfahren	271

5.3.3 Qualitätssicherung	274
5.3.3.1 Qualitätssicherung der Fügestellen	276
5.3.3.2 Zerstörungsfreie Schweißnahtprüfung	278
5.3.3.3 Innenreinigung von Rohrleitungen	280
5.3.3.4 Entrostung und Entzundern von Stahlrohren	282
5.3.3.5 Komplexprüfung	285
5.4 Vorfertigung	287
Anhang	289
Literaturverzeichnis	311
Sachwortverzeichnis	315

1

Rohre und Armaturen

■ 1.1 Rohre

Rohrleitungen sind fester Bestandteil von Produktions- sowie von Ver- bzw. Entsorgungsanlagen. Das **Rohr** selbst ist ein sehr altes Bauelement, das z. B. als Trag- und Stützelement, als Blas- und Trinkrohr sowie für die Weiterleitung von Stoffen eingesetzt wird. Die älteste bekannte Rohrleitung wurde in der Stadt Habuka Kabira im Euphrat-Gebiet gefunden. Die Wasserversorgung war bestimmt für die Bildung von Städten, für die Be- und Entwässerung, die Abfallentsorgung und die Brandbekämpfung. Die Rohre bestanden zunächst aus Holz, Fasern und Steinen. Das bisher mit ca. 4 700 Jahren älteste Metallrohr (Kupfer) wurde in einem ägyptischen Tempel gefunden. Da Rohre nur mit endlicher Länge gefertigt werden konnten, bestand das Problem der Verbindung und der Dichtung an den Stößen. Die Römer lösten dies mit Ton und Kalk. Römische Schriftquellen belegen das Gießen von Blechen mit genormter Breite und das Zusammenbiegen der Bleche zu Rohren von 25 ... 300 mm Durchmesser. Aus römischer Zeit sind sogar Flussunterquerungen, sog. Düker, bekannt (bei Lyon 2,5 km lang, 20 parallele Bleirohre). Das im Jahre 97 erschienene Buch „De aquis urbis Romae“ von **SEXTUS JULIUS FRONTINUS** (geb. etwa 35 bis 40 n. Chr., gest. 103) zeigt, dass schon damals grundlegende Zusammenhänge zwischen Rohrquerschnitt, Volumenstrom und Druckabfall bekannt waren.

Eine **Rohrleitung** muss Temperatur, Druck und Korrosion standhalten. Werkstoffe für Rohre sind heutzutage vorwiegend Stahl, Kunststoffe, zementgebundene Werkstoffe und in Laboren und Versuchshallen auch Glas. In Chemieanlagen beträgt der Planungsaufwand für Rohrleitungen zwischen 20 und 40 % des Gesamtaufwandes. Überschlägig schätzt man für Chemieanlagen die *Kosten des Rohrleitungsmaterials einer Anlage*, also Rohre einschließlich der Rohrleitungselemente und der Halterungen, auf 20 ... 50 % der Kosten der Hauptausrüstungen (Apparate und Maschinen) der Anlage, die *Kosten der Rohrleitungsmontage* auf etwa 15 ... 30 % der Kosten der Hauptausrüstungen [80], [94]. Diese Montagekosten werden größer, wenn es sich um Hochdruck-Rohrleitungen oder Rohrleitungen aus hochlegierten Stählen oder um komplizierte Rohrleitungssysteme handelt.

Unter **Rohrleitungsbau** versteht man die Arbeitsverrichtungen von der Planung bis zur Realisierung einer Rohrleitung. Bild 1.1 vermittelt einen Überblick über die Abfolge der einzelnen Arbeitsverrichtungen und verweist auf die Kapitel im Buch, in denen dazu nähere Ausführungen enthalten sind.

Der Rohrleitungsbau erfordert Kenntnisse aus den Gebieten Strömungsmechanik, Wärmelehre, Festigkeitslehre, Fertigungstechnik (Trennen, Fügen), Ökonomie, Qualitätsmanagement u. a. sowie die Bereitstellung unterschiedlicher Daten. Diese Verflechtung zeigt Bild 1.2.

Sachgebiet	Buchbezug
Konzeptionsphase	
Definition des Projekts <ul style="list-style-type: none"> ▪ Standort mit Umweltbedingungen ▪ Technologie einschließlich der Festlegung von Hilfsprozessen ▪ Ausdehnung und Anordnung ▪ verwendete Medien mit Definition der Durchsätze und Betriebsbedingungen ▪ Realisierungszeitraum 	
Festschreibung technologischer Randbedingungen <ul style="list-style-type: none"> ▪ Charakterisierung der zu fördernde Medien (Aggressiv gegenüber Rohrmaterial? Aggregatzustand? Aggregatzustandsänderung? Entmischung? Ein-/mehrphasig? NEWTONsches Medium? Einzubauende Apparaturen? Mess-, Steuer, Regelungstechnik? Isolierung? Ablagerungen (Fouling)? Reinigungsmöglichkeit? Sterilisierbarkeit? ...) 	
Verlegungsplan <ul style="list-style-type: none"> ▪ Einfache Leitung oder Leitungsnetz? Mehrere Einspeisestellen/Verbraucher? 	
Betriebsweise <ul style="list-style-type: none"> ▪ Dauerbetrieb? Stationär/periodisch/intermittierend? 	
Hydrodynamische Auslegung	
Charakterisierung der stationären Strömung inkompressibler Medien <ul style="list-style-type: none"> ▪ Phasenverhältnisse ▪ Fließgesetz (NEWTONsch, BINGHAM-Fluid, ...) ▪ Strömungsregime (laminar, turbulent) ▪ instationäre Strömung ▪ Wandrauigkeit (Alterung/Ablagerungen/Korrosion berücksichtigen) ▪ Ermittlung Rohrreibungsbeiwert ▪ Zusammentragen relevanter Widerstandsbeiwerte ▪ Berechnung Rohrdurchmesser nach strömungstechnischen Gesichtspunkten und unter Berücksichtigung der Ergebnisse der Wanddickenberechnung (Achtung: ökonomisch sinnvolle Geschwindigkeitsbereich beachten, berechnete Durchmesser an genormte Größen anpassen) ▪ Förderenergiebereitstellung (Hoch-, Druckspeicher, Pumpen, Verdichter) ▪ Ventilauslegung ▪ Vermeidung Strömungsabriss und Kavitation 	<ul style="list-style-type: none"> Kap. 2.1 Tab. 2.1 Tab. 2.1 Kap. 2.4 Tab. 2.2 Kap. 2.2.1 Kap. 2.2.2, A2 Kap. 2.2.4, 2.2.6 Kap. 3.1 Tab. 2.12 Kap. 2.2.4, 2.2.5 Kap. 2.2.7, 2.2.8 Kap. 2.2.9
Rohrleitungsnetzberechnung	Kap. 2.2.11
Strömung kompressibler Medien	Kap. 2.3
Strömung verdünnter Gase	Kap. 2.3.2
Dampfleitungen	Kap. 2.3.3
Kraftwirkungen von Strömungen	Kap. 2.5
Konstruktiv-gestalterische Auslegung	
Spannungsbeanspruchung von Rohren <ul style="list-style-type: none"> ▪ Auswirkung des Innendrucks ▪ Auswirkung thermischer Längenänderung 	<ul style="list-style-type: none"> Kap. 3.1 Kap. 4.3

Bild 1.1 Systematisches Vorgehen bei Rohrleitungsbauprojekten mit Verweisen, in welchen Buchabschnitten dazu Aussagen enthalten sind

Sachgebiet	Buchbezug
Berechnung von Wanddicken	
Dicke gerader Rohrstücke unter <ul style="list-style-type: none"> ▪ Beachtung Herstellungsmethode (nahtlos, geschweißt, ...) ▪ Art der Belastung (stationär, periodisch, intermittierend, ...) ▪ Bestellwanddicke 	Kap. 1.1 Kap. 3.1.3 Kap. 3.1.4
Wanddicke von Rohrbögen <ul style="list-style-type: none"> ▪ Druckbelastung ▪ Belastung durch thermische Ausdehnung 	Kap. 3.3 Bild 4.49 ff
Wanddicke von T-Stücken und Abzweigungen	Kap. 3.4
Flansche <ul style="list-style-type: none"> ▪ Abdichtungen ▪ Flanschdimensionierung ▪ Schraubendimensionierung 	Kap. 3.2 Bild 3.8 ff Gl. (3.70) ff
im System zu kompensierende Kräfte <ul style="list-style-type: none"> ▪ Strömungskräfte ▪ Eigengewicht und äußere Kräfte <ul style="list-style-type: none"> ▪ Durchbiegung ▪ Stützweite in Abhängigkeit der Lagerungsart ▪ Druckspannung infolge thermischer Beanspruchung ▪ Dehnungsausgleicher 	Kap. 2.5 Kap. 4.2 Kap. 4.2 Kap. 4.4.3, 4.4.4 Kap. 4.4.1, 4.4.2
Verlegung von Rohrleitungen <ul style="list-style-type: none"> ▪ Rohrhalterungen ▪ Rohrbrücken ▪ Erdverlegung 	Kap. 4.1 Kap. 5.3.2.2
Wärmotechnische Auslegung	
Wärmeausdehnung <ul style="list-style-type: none"> ▪ Änderung der Abmessungen durch wechselnde Temperaturen oder Unterschiede zwischen Montage - und Betriebstemperaturen ▪ Verformung von eingespannten Rohrleitungen infolge Wärmeausdehnung ▪ Kompensation von Längenänderungen 	Kap. 2.8.1 Kap. 4.4.3 Kap. 4.4.1, 4.4.2
Beschreibung der Ursachen des Wärmeaustauschs mit der Umgebung <ul style="list-style-type: none"> ▪ Wärmeleitung ▪ konvektiver Wärmeübergang ▪ Wärmedurchgang ▪ Wärmestrahlung 	Kap. 2.8.2 Kap. 2.8.3 Kap. 2.8.4 Kap. 2.8.5
Maßnahmen mit Ziel Erhöhung des Wärmeaustauschs <ul style="list-style-type: none"> ▪ stärkere Anströmung ▪ Erhöhung der Leitfähigkeit des Materials ▪ Rippenrohre 	Kap. 2.8.3 Tab. 2.29, 2.30 Kap. 2.8.4.2
Maßnahmen mit Ziel Verringerung des Wärmeaustauschs (Isolierung) <ul style="list-style-type: none"> ▪ Auswahl Isoliermaterial ▪ Bestimmung ökonomischer Isolierdicke ▪ Befestigung der Isolierung 	Tab. 2.31, 2.42 Bild 2.29

Bild 1.1 (Fortsetzung) Systematisches Vorgehen bei Rohrleitungsbauprojekten mit Verweisen, in welchen Buchabschnitten dazu Aussagen enthalten sind

Sachgebiet	Buchbezug
Weitere Fragestellungen	
Leckage	Kap. 2.6
Verweilzeitverteilung	Kap. 2.7
Druckstöße	Kap. 2.5.2
Rohrleitungsmontage	
Montageplanung	
▪ Aufstellungspläne	Kap. 5.3
▪ Montagefreiheit	Kap. 5.2
▪ Montageablaufplanung	Bild 5.11 ff
▪ Montageablauf	Kap. 5.3.2
▪ Vorfertigung	Kap. 5.4
Funktionssicherheit	
▪ Schweißnähte	Kap. 5.3.3.2
▪ Entlüftung, Entleerung, Kondensatabscheider, Rückflussverhinderung, Druckbegrenzung	Kap. 1.2
▪ Rohrreinigung	Kap. 5.3.3.3
▪ Entrostung	Kap. 5.3.3.4
▪ Qualitätssichernde Maßnahmen bei der Montage	Kap. 5.3.3
Abnahme	
Drucktest	
Dichtheitstest	Kap. 5.3.3.5
Bescheinigungen	

Bild 1.1 (Fortsetzung) Systematisches Vorgehen bei Rohrleitungsbauprojekten mit Verweisen, in welchen Buchabschnitten dazu Aussagen enthalten sind

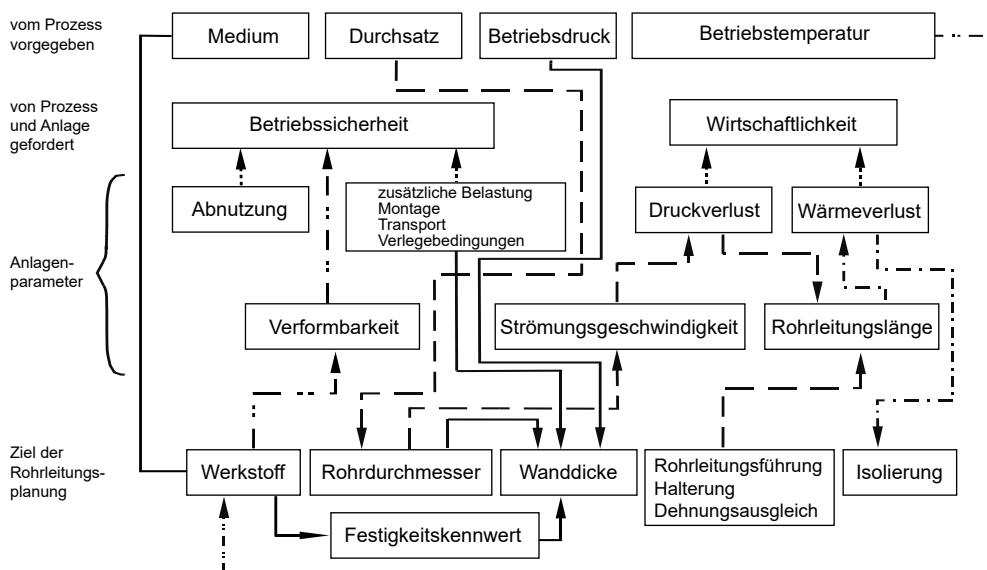


Bild 1.2 Verflechtungen bei der Rohrleitungsplanung

Rohrleitungsteile sind neben den Rohren im Wesentlichen die Formstücke, Verbindungselemente, Armaturen und Halterungen. Im Bedarfsfall kommen Isolierung und Rohrbrücken dazu. Basierend auf der **technologischen Auslegung** (Ermittlung des Durchmessers, Auswahl der Pumpen, Festlegung der Armaturen und der Regelungstechnik, Isolierdickenermittlung) folgt die **konstruktive Auslegung** (Werkstoffauswahl, Wandstärkenermittlung, Durchbiegung, Trassenführung, Dehnungsausgleich). Der Abschluss dieser Arbeiten ermöglicht das Aufstellen von Stücklisten als Grundlage für die Bestellung, die Montage und letztlich die Inbetriebnahme.

Die Vielfalt der Elemente einer Rohrleitung erfordert zwingend eine **Normung**. Normen repräsentieren den Stand der Technik und sind z. B. im DIN-Normenwerk und in AD-Merkblättern (Arbeitsgemeinschaft Druckbehälter) zu finden. Hinweis: Die hierzu erlassenen Technischen Regeln, z. B. die Technischen Regeln für brennbare Flüssigkeiten TRbF, sind ab dem 1.1.2013 nicht mehr verbindlich. Für die praktische Arbeit können sie aber noch als Orientierung dienen. Außerdem existieren spezielle Auslegungsvorschriften der Berufsgenossenschaften und Verbände. Zu den zu berücksichtigenden DIN-Normen gehören wiederum Grundnormen für Rohrleitungen, Normen für Rohre, Formstücke, Flansche, Dichtungen, Schrauben, Armaturen, Anwendungsnormen, schweißtechnische Normen u. a. Für Projekte im Ausland sind die dort geltenden Normen zu beachten.

Entsprechend dem Stand der Technik sind die Normen ebenfalls einer Weiterentwicklung unterworfen. Das ist bei der praktischen Arbeit unbedingt zu beachten, d. h., es sind stets die neuesten gültigen Vorschriften zu berücksichtigen. Eine Zusammenstellung der Normen ist im Bild 1.3 gegeben.

Richtlinien, Gesetze, Verordnungen	
Richtlinie über Druckgeräte	RL 97/23/EG; RL 2014/68/EU
Druckgeräteverordnung (14. Verordnung zum ProdSG)	DruckgeräteV
Technische Grundlagen	
Graphische Symbole für technische Zeichnungen, Rohrleitungen	DIN 2429-1 DIN 2429-2
- Allgemeines - Funktionelle Darstellungen	
Leitfaden für die Beschaffung von Ausrüstungen für Kraftwerke, Rohrleitungen und Armaturen	DIN EN 45510-7-1 DIN EN 45510-7-2
- Hochdruckrohrleitungen - Kessel- und Rohrleitungs-Armaturen	
Rohrleitungsteile, Definition und Auswahl von DN (Nennweite)	DIN EN ISO 6708
Fluidtechnik, Nenndrücke	ISO 2944
Kennzeichnung von Rohrleitungen nach Durchflußstoff	DIN 2403

Bild 1.3 Normen für Rohrleitungen, zusammengestellt von Mußmann [87], Stand: 11.08.2015

Metallische industrielle Rohrleitungen	
Allgemeines	DIN EN 13480-1
Werkstoffe	DIN EN 13480-2
Berechnung und Konstruktion	DIN EN 13480-3
Herstellung	DIN EN 13480-4
Prüfung und Inspektion	DIN EN 13480-5
Zusätzliche Prüfungen an erdgedeckten Rohrleitungen	DIN EN 13480-6
Anleitung für den Gebrauch des Konformitätsbewertungsverfahrens	DIN EN 13480-7
Zusatzanforderungen an Rohrleitungen aus Aluminium	DIN EN 13480-8
Technische Grundnormen	
Begriffsbestimmung zur Stahleinteilung	DIN EN 10020
Bezeichnungssysteme für Stähle	
- Kurznamen	DIN EN 10027-1
- Nummernsystem	DIN EN 10027-2
Bezeichnungssysteme für Stähle, Zusatzsymbole	CR 10260
Maße und längenbezogene Masse für nahtlose und geschweißte Stahlrohre	DIN EN 10220
Eisen- und Stahlwerkstoffe, Arten von Prüfbescheinigungen	DIN EN 10204
Öffentliche verfügbare Spezifikationen	
Rohrklassen für verfahrenstechnische Anlagen	
- Grundlagen für das Erstellen von Rohrklassen auf Basis von EN 13480	PAS 1057-1
- Formstücke - Sonderbauformen	PAS 1057-5
- Techn. Lieferbedingungen für Rohrbauteile aus leg. u. unleg. Stählen mit festgelegten Eigenschaften bei höheren Temperaturen, Gruppe 1.1 und 1.2 (CR ISO 15608)	PAS 1057-10
- Techn. Lieferbedingungen für Rohrbauteile aus austenitischen nichtrostenden Stählen, Gruppe 8.1 (CR ISO 15608)	PAS 1057-11
- Standardrohrklassen PN 10 bis PN 100 Rohrbauteile aus unleg. und leg. Stählen mit festgelegten Eigenschaften bei höheren Temperaturen; Gruppe 1.1 und 1.2 und austenitischen nichtrostenden Stählen, Gruppe 8.1 (CR ISO 15608)	PAS 1057-100

Bild 1.3 (Fortsetzung) Normen für Rohrleitungen, zusammengestellt von Mußmann [87],

Stand: 11.08.2015

Nahtlose druckgeführte Rohre	
aus unlegierten Stählen mit festgelegten Eigenschaften bei Raumtemperatur	DIN EN 10216-1
aus unlegierten und legierten Stählen mit festgelegten Eigenschaften bei erhöhten Temperaturen	DIN EN 10216-2
aus legierten Feinkornbaustählen	DIN EN 10216-3
aus unlegierten und legierten Stählen mit festgelegten Eigenschaften bei tiefen Temperaturen	DIN EN 10216-4
aus nicht rostenden Stählen	DIN EN 10216-5
Geschweißte druckgeführte Rohre	
aus unlegierten Stählen mit festgelegten Eigenschaften bei Raumtemperatur	DIN EN 10217-1
aus unlegierten u. legierten Stählen mit festgelegten Eigenschaften bei erhöhten Temperaturen	DIN EN 10217-2
aus legierten Feinkornbaustählen	DIN EN 10217-3
aus unlegierten Stählen mit festgelegten Eigenschaften bei tiefen Temperaturen	DIN EN 10217-4
UP-geschw. Rohre aus unlegierten u. legierten Stählen mit festgel. Eigenschaften bei erhöhten Temperaturen	DIN EN 10217-5
UP-geschw. Rohre aus unlegierten Stählen mit festgel. Eigenschaften bei tiefen Temperaturen	DIN EN 10217-6
aus nicht rostenden Stählen	DIN EN 10217-7
Blechmaterial und Schmiedeteile	
Schmiedestücke aus Stahl für Druckbehälter (allgem. Anforderungen, Ferritische u. Martensitische St., Nickel-St., Fk-St., martensitische, austenitische, Duplex Stähle	DIN EN 10222-1 bis -5
Flacherzeugnisse aus Druckbehälterstählen	DIN EN 10028-1 bis -6
Leitungsrohre für Gas und brennbare Flüssigkeiten	
Erdöl- und Erdgasindustrie - Stahlrohre für Rohrleitungstransportsysteme	DIN EN ISO 3183
Leitungsrohre für brennbare Medien – Anforderungsklasse C	DIN EN 10208-3

Bild 1.3 (Fortsetzung) Normen für Rohrleitungen, zusammengestellt von Mußmann [87],
Stand: 11.08.2015

Rohrzubehör	
Stahlfittings mit Gewinde	DIN EN 10241
Tempergußfittings	DIN EN 10242
Formstücke zum Einschweißen aus unlegierten und legierten C-Stählen für Innendruckbelastung	DIN EN 10253-2
Formstücke zum Einschweißen aus nichtrostenden Stählen für Innendruckbelastung	DIN EN 10253-4
Kompensatoren mit metallischen Bälgen für Druckanwendungen	DIN EN 14917
Leitfaden für die Bestellung und Herstellung von Druckgeräten nach DGRL	
- Allgemeine Anforderungen	PAS 1010-1
- Unbefeuerte Behälter	PAS 1010-2
- Industrielle Rohrleitungen	PAS 1010-3
- Druckhaltende Ausrüstungsteile	PAS 1010-4
- Ausrüstungsteile mit Sicherheitsfunktion	PAS 1010-5
- Baugruppen	PAS 1010-6
Flansche und ihre Verbindungen	
Runde Flansche nach PN - aus Stahl	DIN EN 1092-1
- aus Gusseisen	DIN EN 1092-2
- aus Kupferlegierungen	DIN EN 1092-3
- aus Aluminiumlegierungen	DIN EN 1092-4
Dichtungen für Flansche mit PN-Bezeichnung	
- Flachdichtungen aus nichtmetallischen Werkstoff mit und ohne Einlagen	DIN EN 1514-1
- Spiraldichtungen	DIN EN 1514-2
- nichtmetallische Weichstoffdichtungen mit PTFE-Mantel	DIN EN 1514-3
- aus Metall mit gewelltem, flachem oder gekerbtem Profil	DIN EN 1514-4
- Kammprofildichtungen	DIN EN 1514-6
- Metallummanteldichte Dichtungen mit Auflage	DIN EN 1514-7
- Runddichtringe mit Auflage	DIN EN 1514-8

Bild 1.3 (Fortsetzung) Normen für Rohrleitungen, zusammengestellt von Mußmann [87],
Stand: 11.08.2015

Schrauben und Muttern	DIN EN 1515-1
- Auswahl von Schrauben und Muttern	DIN EN 1515-2
- Klassifizierung von Schraubenwerkstoffen, nach PN	DIN EN 1515-3
- Klassifizierung von Schraubenwerkstoffen, nach Class	DIN EN 1515-4
- Auswahl zur Anwendung innerhalb der DGRL	
Regeln für die Auslegung von Flanschverbindungen mit runden Flanschen und Dichtungen	DIN EN 1591-1
- Berechnungsmethoden	DIN EN 1591-1 Beibl. 1
- Hintergrundinformationen	DIN EN 1591-2
- Dichtungskennwerte	DIN CEN/TS 1591-3
- Berechnungsmethode im Kraft-Nebenschluss	DIN EN 1591-4
- Qualifizierung von Personal zur Montage von Schraubverbindungen im Bereich der DGRL	DIN CEN/TS 1591-5
- Berechnungsmethode für Verbindung mit vollflächiger Dichtung	
Runde Flansche für Rohre, Armaturen, Formstücke und Zubehörteile, nach Class bezeichnet	
- Stahlflansche, NPS $\frac{1}{2}$ bis 24	DIN EN 1759-1
- Flansche aus Kupferlegierungen	DIN EN 1759-3
- Flansche aus Aluminiumlegierungen	DIN EN 1759-4
Dichtungen für Flansche mit Class-Bezeichnung	
- Flachdichtungen aus nichtmetallischen Werkstoff mit und ohne Einlagen	DIN EN 12560-1
- Spiraldichtungen	DIN EN 12560-2
- Nichtmetallische Weichstoffdichtungen mit PTFE-Mantel	DIN EN 12560-3
- aus Metall mit gewelltem, flachem oder gekerbtem Profil	DIN EN 12560-4
- RTJ-Dichtungen aus Metall	DIN EN 12560-5
- Kammprofildichtungen	DIN EN 12560-6
- Metallummanteldichte Dichtungen mit Auflage	DIN EN 12560-7
Qualitätssicherungsprüfung und Prüfung von Dichtungen nach den Normen der Reihe EN 1514 und 12560	DIN EN 14772
Dichtungskennwerte und Prüfverfahren für die Anwendung der Regeln für die Auslegung mit runden Flanschen und Dichtungen	DIN EN 13555

Bild 1.3 (Fortsetzung) Normen für Rohrleitungen, zusammengestellt von Mußmann [87], Stand: 11.08.2015

Die Passfähigkeit der Elemente einer Rohrleitung miteinander wird durch zwei zentrale Größen gesichert, die in die **Maßnormen** eingearbeitet sind:

- **Nennweite:** Kurzzeichen DN (frz.: diamètre nominal) (alt: NW)
Die **Nennweite** wird durch eine Zahl charakterisiert. Sie orientiert sich bezüglich ihrer Größe am lichten Durchmesser des Rohrs in Millimetern. Sie kennzeichnet aber nur die Rohrleitung insgesamt. Sie hat keine Einheit, sie darf nicht im Sinne einer Maßzahl zur Maßeintragung benutzt werden.
- **Nenndruck:** Kurzzeichen PN (frz.: pression nominale) (alt: ND)
Der **Nenndruck** ist eine gerundete, auf den Atmosphärendruck bezogene Kennzahl, die sich an der Maßeinheit bar orientiert. Er gibt den Druck an, der bei 20 °C ertragen wird. Die Nenndrücke sind in DIN EN 13333¹ festgelegt. Der maximal zulässige Druck eines Rohrleitungsteils hängt von der PN-Stufe, dem Werkstoff, der Auslegung des Bauteils, der zulässigen maximalen Temperatur usw. ab.

Elemente mit gleichen DN- und PN-Werten sind mechanisch miteinander fügbar. So sind z.B. Flansche und Armaturen, die den Aufdruck DN 100 PN 10 tragen, kompatibel, sie haben die gleichen Anschlussmaße.

DN und PN beruhen auf **Normzahl-Reihen**. Sie ergeben sich aus der geometrischen Zahlenfolge $a, ax, ax^2, ax^3, \dots, ax^n$. Der Stufensprung x ist konstant von Glied zu Glied der Reihe. Jede Dekade (1 ... 10, 10 ... 100 usw.) wird in 10 Intervalle geteilt. Für die erste Dekade gilt $a = 1$. Entsprechend der Bildungsvorschrift der geometrischen Reihe muss das letzte Glied der 1. Dekade bestimmt werden aus der 10. Potenz des Stufensprunges x , d.h. $10 = x^{10}$. Damit ist der Stufensprung zu berechnen: $x = \sqrt[10]{10} \approx 1,2589$. Für die erste Dekade folgen somit die in Tabelle 1.1 angegebenen Werte. Die zweite Dekade von 10 ... 100 ist mit $a = 10$, die dritte mit $a = 100$ zu bilden.

Tabelle 1.1 Bestimmung der Intervalle in der ersten Dekade

$a = 1$	x^0	x^1	x^2	x^3	x^4	x^5	x^6	x^7	x^8	x^9	x^{10}
exakt	1	1,259	1,585	1,995	2,512	3,162	3,981	5,012	6,310	7,943	10,000
abgeleitet	1	1,25	1,6	2	2,5	3,15	4	5	6,3	8	10

Der Vergleich der dezimal-geometrischen Normzahlreihe mit den genormten DN- und PN-Werten (Tabelle 1.2) zeigt, dass Abweichungen zwischen den theoretischen und den tatsächlich verwendeten Werten vorhanden sind. Während in einigen Bereichen die Übereinstimmung gut ist, gibt es im oberen DN-Bereich aus praktischen Erwägungen noch Zwischenwerte.

Die DIN-Normen enthalten auch Angaben zu den **Herstellerlängen**, wobei Längenbereiche und Mindestdurchschnittslänge der Gesamtliefermenge vorgegeben sind (z.B. für Rohre aus unlegiertem Stahl Bereich 3 ... 8 m/Durchschnitt 6 m, Bereich 4 ... 12 m/Durchschnitt 8 m). Außerdem existieren Grenzabmaße für zulässige Längentoleranzen.

Die Kennzeichnung von Rohrleitungen erfolgt durch farblich gestaltete rechteckige Schilder, die eine in Fließrichtung weisende Spitze haben. Wechselnde Durchströmungsrichtungen zeigen zwei Spitzen an. Wortangaben können zur Ergänzung aufgeführt werden. Die Schildfarbe richtet sich nach DIN 2403 (Tabelle 1.1), z.B. Wasser grün, Wasserdampf rot, Luft grau, Gase gelb, Säuren orange. Die Rohrleitungen selbst können neutrale Farben aufweisen.

¹ In Bild 1.3 nicht enthalten.

Tabelle 1.2 Bevorzugte DN- (DIN EN ISO 6708) und PN-Stufen (DIN EN 13333),
Werte in Klammer: Schrittweite

DN-Stufen			PN-Stufen		
DN 10	DN 100	DN 1400 DN 1500 DN 1600 (200) DN 4000	PN 1	PN 10	PN 100
DN 15	DN 125		PN 2,5	PN 16	PN 160
DN 20			PN 6	PN 25	PN 250
DN 25				PN 40	PN 320
DN 32				PN 63	PN 400
DN 40					
DN 50					
DN 60					
DN 65					
DN 80					

Die Herstellungsverfahren hängen stark vom Rohrmaterial und der Rohrart ab. Die Fertigung **nahtloser Stahlrohre** erfolgt meist durch Warmformung, die in zwei Schritten durchgeführt wird:

- Lochen eines Blockes zu einem dickwandigen Hohlzylinder,
- Auswalzen des Hohlzylinders zum Rohr (Bild 1.4).

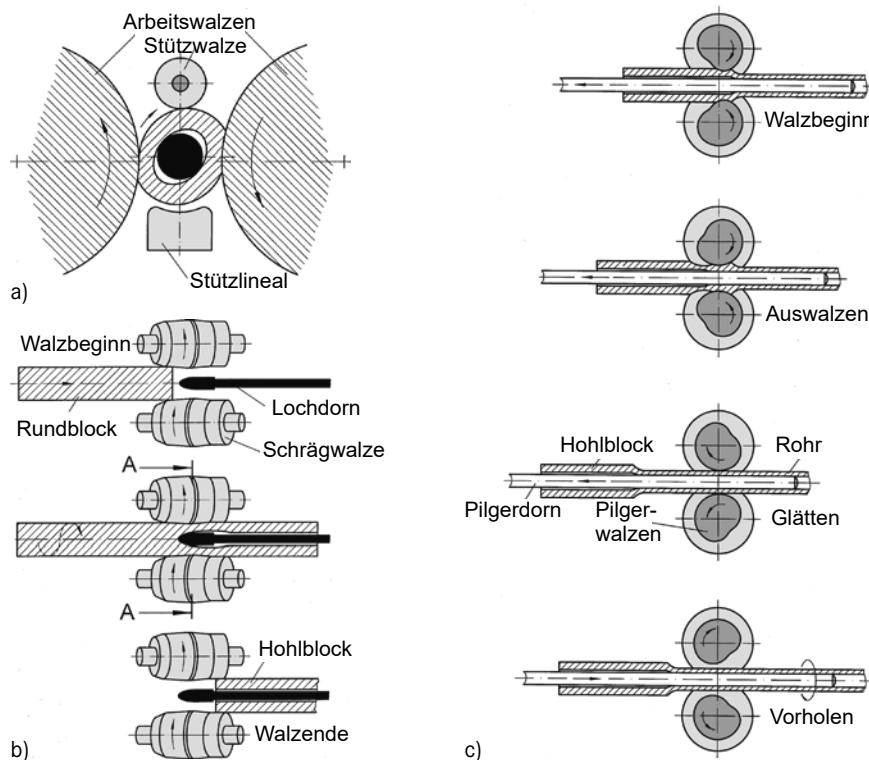


Bild 1.4 Mannesmann-Schrägwalz-Pilgerschrittverfahren [25].

a) Schnitt A-A, b) Lochen des Blockes, c) Auswalzen

Sachwortverzeichnis

Symbol

90°-Krümmer 247

A

Abnahmeprüfzeugnis 137

absolute Rauigkeit 35

Absperrvorrichtung 95

Abzweig 189

Angularkompensator 217

anlageninterne Rohrleitung 251, 268

Anwendungsgrenze 140

Anzahl der zulässigen Lastwechsel 147

äquivalente Rohrlänge 43

Armatur 24

- Einsatzbereich 25

- Kenngröße 43

Armaturengrundtyp 25

asbestfreier Faserstoff 159

Auflager 220

Aufstellungsplan 255

Ausflussmassenstrom 60

Ausflussvolumenstrom 60

Ausflussziffer 60

Ausgleicher, Einbauort 222

Aushalsung 181

Auslegung

- eines Bogens 173, 174

- konstruktive 15

- technologische 15

austenitischer Stahl 152

Autogenschweißen 272

Autorenkontrolle 275

Axialkompensator 216

B

Badverfahren 283

Balgenkompensator 215

Balkendiagramm 262

Baustelleneinrichtung 251

Beanspruchung

- Rohrleitung 90

- wechselnde 143

Beizen 282

Belastung, Rohrbogen unter 241

Belegung einer Rohrleitungsbrücke 270

Berechnung

- Ereignistermin 266

- spätester 266

- Termin 264

- Wanddicke 140

Berechnungsansatz für ebene Systeme 226

Bestell-Wanddicke 149, 154

Bestimmung der Dehnung 128

Beulbeanspruchung 197

Biegemoment 163, 241

Biegespannung 201

Bingham-Fluid 34, 39

Blase 114

Blasenströmung 114

Bockkonstruktion 196

Bodenablassventil 30

Bogen, Auslegung 173, 174

Brechkappe 29

Breite, tragende 164

C

chemische Innenreinigung, Rohr 283

CO₂-Schutzgasschweißen 273

CPM 263

CROSS, Verfahren von 71

D

Dämmstoff 119

Dampfleitung 87

DARCY-WEISBACH-Gleichung 32

Dehngrenze 138

Dehnung 129

- Bestimmung 128
 - Dehnungsausgleich 211
 - natürlicher 224
 - Dehnungsausgleicher 269
 - Dehnungsrichtung 225
 - Dichtheitsprüfung 285
 - Dichtung 277
 - Standkraft 167
 - Dichtungskennwert 165
 - Dichtungskraft 166
 - Dichtungswerkstoff 159
 - Dichtungswerkstoff, metallischer
 - Formänderungsfestigkeit 164
 - dickwandiges Rohr 94
 - Diffusionsprüfung 279
 - Diffusionsverfahren 285
 - Diffusor 67
 - Dimensionierung
 - Rohrleitungselement 127
 - Wanddicke 134
 - 3D-Modell 261
 - DN 20
 - Doppel-Schieber 25
 - Dreiliniendarstellung 256
 - Drosselung 75
 - Druckabfall, längenbezogener 38
 - Druckhöhenausgleich, Verfahren 71
 - Druckluftstrahlen 282
 - Druckstoß 92
 - dünnwandiges Rohr 94
 - Durchbiegung 199
 - maximale 201
 - Durchflussausgleich, Verfahren 71
 - Durchflussbeiwert 44
 - Durchlaufträger 198
 - Durchlaufverfahren 283
 - Durchmesserprüfung 137
 - DVGW-G 464 42
- E**
- ebenes Rohrsystem
 - mit Einspannfestpunkt 235
 - mit Gelenkfestpunkt 226
 - ebenes System, Berechnungsansatz 226
 - Eckfestpunkt 222
 - Einbauort des Ausgleichers 222
 - Einlauf
 - hydraulischer 111
 - thermischer 111
 - Einlaufeffekt 40
- Einlauflänge 41
 - Einliniendarstellung 256
 - einphasiges System 31
 - Einsatzbereich von Armaturen 25
 - Einspannfestpunkt 226
 - ebenes Rohrsystem mit 235
 - Einspannmoment 198, 207, 238
 - Einspannung
 - feste 202
 - Rohr 198
 - Einzelplatten-Schieber 25
 - Eisbildung 117
 - elastische Länge des Rohrbogens 245
 - Elastizität einer Rohrleitung 224
 - Elastizitätsmodul 93
 - Elektrodenhandschweißen 272
 - Emissionsgrad 123
 - Endfestpunkt 220
 - Energiekosten 53
 - Entfetten, Stahlrohr 281
 - Entrostung, Stahlrohr 282
 - Entzundern, Stahlrohr 282
 - Ereignistermin
 - Berechnung 266
 - spätester, Berechnung 266
 - Error-Funktion 101
 - Ersatzdruck 147
 - erzwungene Konvektion 110
 - expandierter Graphit 160
 - Extruder 23
- F**
- Fadenströmung 31
 - Faserstoff, asbestfreier 159
 - feste Einspannung 202
 - Festigkeitskenngröße 138
 - Festigkeitskennwert 138, 150
 - Festigkeitsprüfung 286
 - Festkosten 52
 - Festlager 196
 - Festpunkt 196
 - Festpunktkaft 227
 - Ficksche Diffusion 97
 - Filmkondensation 115
 - Flachdichtung 159
 - Flächenausdehnung 101
 - Flächenträgheitsmoment 228
 - Flächenvergleichsverfahren 171, 184
 - Flansch 276
 - Flanschverbindung 158

- Kraft an der 161
 Fluid 31
 Förderhöhe 50
 Formänderungsarbeit, Satz vom Minimum der 242
 Formänderungsfestigkeit metallischer Dichtungswerkstoffe 164
 Formeln von MOIVRE 208
 Formstück, Verlustbeiwert 43
 Fouling 105
 freie Konvektion 113
 FRETZ-MOON-Verfahren 23
 frühester Termin 264
 Fugenform im Rohrleitungsbau 274
 Fügestelle 276
 Führungslager 196
 Fundamentplan 255

G

Gammadefektoskopie 279
 Gas
 - ideales 31, 75
 - verdünntes 86
 Gasschmelzschweißen 272
 GEH 134
 Gelenkfestpunkt 226
 - ebenes Rohrsystem mit 226
 gelenkige Lagerung 200, 202
 Gelenkkompensator 217
 gerade Leitung 75
 geschweißtes Rohr 23
 Geschwindigkeit
 - mittlere 33
 - ökonomische 48
 Gestaltänderungs-Energie-Hypothese 134
 Glattrohrbogen 171
 Gleitlager 196
 Gleitrohrkompensator 212, 219
 Graphit, expandierter 160
 Gummi 160
 Gummikompensator 219
 Gun-Pakt-Expansions-Kompensator 213

H

HAGEN-POISEUILLE-Gesetz 35
 Hahn 27
 Halterung 195
 Hauptprüfung 286
 Herstellerlänge 20

HOOKEsches Gesetz 206
 Hosenstück 190
 HYDRA-Kompensator 220
 hydraulischer Einlauf 111

I

ideales Gas 31, 75
 Impulsstrom 41
 I-Naht 274
 inkompressibles Medium 32
 Innendruckbelastung 286
 Innenreinigung
 - chemische, Rohr 283
 - Rohrleitung 280
 instationärer Strömungsvorgang 89
 instationäre Strömung 31
 Instrumentenfließbild 252
 integrale Rauigkeit 42
 Investitionskosten 52, 53
 isometrische Projektion 260
 isometrische Rohrleitungszeichnung 260

K

Kalk-Petroleum-Prüfung 279
 kalkulatorischer Zins 52
 Kapitaldienstkosten 53
 KÁRMÁN-Zahl 242
 Kavitation 63
 Kenngröße, Armatur 43
 Kennzeichnung von Rohrleitungen 20
 Kerbwirkungsklasse 148
 Kesselformel 132
 KIRCHHOFFScher Knotensatz 69
 KIRCHHOFFScher Maschensatz 70
 Klappe 27
 Knickkraft 206, 208
 Knickspannung 209
 - zulässige 210
 Knoten 69
 Knotensatz, KIRCHHOFFScher 69
 KNUDSEN-Diffusion 97
 Kompensator mit Leitrohr 215
 Komplexprüfung 285
 Kompressibilität 102
 Kondensatableiter 29
 Kondensation, Wärmeübergang 115
 Konstruktion, Regel für die 166
 konstruktive Auslegung 15
 Kontinuitätsgleichung 46

Konvektion
- erzwungene 110
- freie 113
konvektiver Wärmeübergang 110
Kraft an der Flanschverbindung 161
kritischer Weg 264
- Methode 263
Kunststoffrohr 23
Kurzzeichen der Rohrleitung 258
Kurzzeitwert 139

L

Lageplan 253
Lagerung, gelenkige 200, 202
laminare Strömung 33
Länge
- elastische, des Rohrbogens 245
- maximal zulässige gerade 209
Längenausdehnung 101
Längenausdehnungskoeffizient 102
längenbezogener Druckabfall 38
Längsspannung 132
Langzeitwert 139
Lastspielzahl, zulässige 149
Lastwechsel, zulässige Anzahl 147
Lateralkompensator 217
Leckage 97
Leckagerate 158
Leitrohr, Kompensator mit 215
Leitung
- gerade 75
- linear orientierte 250
Lichtbogenhandschweißen 272
linear orientierte Leitung 250
Linienträgheitsmoment 228, 245, 247
Linienzentrifugalmoment 229
Linsendichtung 160
Linsenkompensator 214
LORENZ-Zahl 243
Loslager 196
Lyra-Ausgleicher 218

M

Magnetpulververfahren 279
Masche 69
Maschensatz, KIRCHHOFFScher 70
Maßabweichung 276
Maßeinhaltung 275
Materialkosten 53

maximale Durchbiegung 201
maximal zulässige gerade Länge 209
Medium
- inkompressibles 32
- NEWTONSches 35
- nicht-NEWTONSches 35
mehrdimensionale Wärmeleitung 107
Mehrphasenströmung 31, 32
Membranarmatur 26
Metall 160
Metall-Aktivgas-Schweißen 273
Metall-Inertgas-Schweißen 273
metallischer Dichtungswerkstoff,
- Formänderungsfestigkeit 164
Metallkompensator 219
Metall-Weichstoff-Flachdichtung 159
Methode des kritischen Wegs 263
Mikrojet 64
Minimum der Formänderungsarbeit, Satz vom
- 242
mittlere Geschwindigkeit 33
mittlere Strömungsgeschwindigkeit 33
MOIVRE, Formeln von 208
Molch 281
molekulare Strömung 86
Moment
- 1. Grades 236
- statisches 246, 247
Montage 250
Montageablauf 251, 268
- Planung 261
Montagedurchführung 252
Montagefreiheit 251
Montageplanung 252
Montageprozess 250
Montageverrichtung 250
Montieren 250

N

Nadel 118
nahtloses Stahlrohr 21
natürlicher Dehnungsausgleich 224
Nenndruck 20, 258
Nennweite 20, 258
Netzplantechnik 263
NEWTONSches Fluid 34, 39
NEWTONSches Medium 35
nichtaustenitischer Stahl 150
nichtisotherme Strömung 41
nicht-NEWTONSches Medium 35

Normalspannungs-Hypothese 134
Normung 15
NSH 134
Nummer der Rohrleitung 258

O

ökonomische Geschwindigkeit 48
optimaler Rohrdurchmesser 52
optimaler Rohrinnendurchmesser 54
organisches Reinigungsmittel 281
OSTWALD-DE-WAELE-Fluid 34

P

Pfropfenströmung 114
Pfützenbildung 201
PKL 51
Planung des Montageablaufs 261
Plattenstreifen 185
PN 20
PRANDTL-COLEBROOK-Diagramm 36
PRANDTL-Zahl 110
Profildichtung 159, 160
Profil-Schmiegedichtung 160
Profil-Schneidedichtung 161
progressive Terminbestimmung 264
Projektion, isometrische 260
Prüfung
- Rohr 136
- Rohrleitung 286
PTFE 160
PTFE-Kompensator 219
Pumpenauslegung 45
Pumpenkennlinie 51

Q

Qualitätssicherung 274, 276

R

Rauigkeit
- absolute 35
- integrale 42
Regeleinrichtung 25
Regel für die Konstruktion 166
Regelventil 56
reibungsbefahpter Vorgang 78
reibungsfreier Vorgang 76
Reihe, Stutzen in 190

Reinigungsmittel, organisches 281
REYNOLDS-Zahl 33, 34
richtungsänderndes Rohrleitungselement 276
Ringelement 127
Ringflächenkraft 162
Ring-Joint-Dichtung 160
Rippe 118
Rissprüfung 279
RKL 50
Rohr 11
- chemische Innenreinigung 283
- dickwandiges 94
- dünnwandiges 94
- Einspannung 198
- geschweißtes 23
- Prüfung 136
- thermisch belastetes gerades 206
- verformtes 207
Rohrauslegung 31
Rohrbogen 176
- elastische Länge 245
- unter Belastung 241
- Wanddicke 171
Rohrbrücke 271
Rohrdämmung 119
Rohrdurchmesser, optimaler 52
Rohreintritt
- Überschallströmung 81
- Unterschallströmung 80
Rohrgelenk 219
Rohrhalterung 195
Rohrinnendurchmesser, optimaler 54
Rohrklassenummer 258
Rohrlänge, äquivalente 43
Rohrleitung 11
- anlageninterne 268
- anlagenorientierte 251
- Beanspruchung 90
- Elastizität 224
- Innenreinigung 280
- Kennzeichnung 20
- Kurzzeichen 258
- Nummer 258
- Prüfung 286
Rohrleitungsanlage 46
Rohrleitungsbau 11
- Fugenform 274
Rohrleitungsbauteil 287
Rohrleitungsberechnung, strömungstechnische 47

- Rohrleitungsbrücke, Belegung 270
 Rohrleitungsdimensionierung 45
 Rohrleitungselement
 - Dimensionierung 127
 - richtungsänderndes 276
 Rohrleitungsfließbild 252
 Rohrleitungsinnendruck 131
 Rohrleitungskennlinie 50
 Rohrleitungsmontage 250
 Rohrleitungsstückliste 258, 259
 Rohrleitungszeichnung, isometrische 260
 Rohrnetz 69
 Rohrreibung 32
 Rohrreibungsbeiwert 33, 36, 38
 Rohrsystem, ebenes
 - mit Einspannfestpunkt 235
 - mit Gelenkfestpunkt 226
 Rohrwanddicke 127
 Rohrwerkstoffgruppe 260
 Röntgendifektoskopie 279
 Rückflussverhinderer 27
 Runddrahtdichtung 160
- S**
- Sandraugkeit 33
 Satz vom Minimum der Formänderungsarbeit 242
 Saughöhe 63
 Schallgeschwindigkeit 75, 94
 Schieber 25
 Schlankheitsgrad 209
 Schmutzfänger 30
 Schneelast 203
 Schnittmoment 198, 200
 schräger Stutzen 189
 Schrägwälz-Pilgerschrittverfahren 22
 Schraube 276
 Schraubenkraft 167
 Schubspannungs-Hypothese 134
 Schweißdichtung 161
 Schweißfolge 277
 Schweißnahtfehler 278
 Schweißnahtprüfung, zerstörungsfreie 278
 Schweißnahtwertigkeit 140
 Schweißverfahren 271, 273
 Schweißzusatzstoff 277
 Segmentbogen 177
 senkrechter Verdichtungsstoß 82
 Sicherheitsarmatur 27
 Sicherheitsventil 59
 Sichtprüfung 137, 278
 Siedepunkt 113
 Sonderarmatur 29
 Spannung 129
 - zulässige 136, 149
 - zeitabhängige 152
 - zeitunabhängige 150
 Spannungs-Dehnungs-Diagramm 209
 Spannungsfaktor 147
 Sparbeize 282
 spätester Ereignistermin, Berechnung 266
 spätester Termin 264
 Sperreinrichtung 25
 Spiralaht-Schweißen 23
 SSH 134
 Stahl
 - austenitischer 152
 - nichtaustenitischer 150
 Stahlrohr
 - Entfetten 281
 - Entrostung 282
 - Entzundern 282
 - nahtloses 21
 Standkraft der Dichtung 167
 stationäre Strömung 90
 statisches Moment 246, 247
 STEINERScher Satz 238
 Stopfbuchskompensator 212
 Stoßdiffusor 67
 Strang 69
 Strangpressverfahren 22
 Streckenlast 203
 Streckgrenze 138
 Strömung
 - instationäre 31
 - laminare 33
 - molekulare 86
 - nichtisotherme 41
 - stationäre 90
 - turbulente 33
 Strömungsabriss 63
 Strömungscharakteristika 31
 Strömungsform 114
 Strömungsgeschwindigkeit, mittlere 33
 strömungstechnische Rohrleitungsberechnung 47
 Strömungsvorgang, instationärer 89
 Stutzen 182
 - in Reihe 190
 - schräger 189
 Stützweite 198, 200, 201

System

- ebenes, Berechnungsansatz 226
- einphasiges 31

T

technologische Auslegung 15

Temperaturabhängigkeit 206

Temperaturänderung 121

Temperatur-Einflussfaktor 149

Termin

- Berechnung 264

- frühester 264

- spätester 264

Terminbestimmung, progressive 264

thermisch belastetes gerades Rohr 206

thermischer Einlauf 111

thermischer Vorgang 101

Toleranzklasse 276

tragende Breite 164

Tropfenkondensation 115

T-Stück 180

turbulente Strömung 33

U

Überschallströmung am Rohreintritt 81

Ultraschallprüfung 278

Umfangsspannung 131

U-Naht 274

Unterhaltungskosten 53

Unterschallströmung am Rohreintritt 80

U-Rohr-Ausgleicher 218

V

Ventil 26

Ventilbauart 26

Ventilhub-Kennlinie 57

Ventilkoeffizient 43

Verdampfen 113

- Wärmeübergang 113

Verdampfungsenthalpie 113

Verdampfungswärme 113

Verdichtungsstoß 75

- senkrechter 82

verdünntes Gas 86

Verfahren

- Druckhöhenausgleich 71

- Durchflussausgleich 71

- von CROSS 71

verformtes Rohr 207

Vergleichsdehnung 181

Vergleichsspannung 134, 181

Verlustbeiwert, Formstück 43

Verstärkungsscheibe 191

Verstrebung 196

Verweilzeitverteilung 98

Viskosität 32

V-Naht 274

Volumenausdehnung 101

Volumenausdehnungskoeffizient 101

Vorfertigung 287

Vorgang

- reibungsbehafteter 78

- reibungsfreier 76

- thermischer 101

Vorgangsstufe 262

Vorprüfung 286

Vorspannung 222

Vorverformungskraft 164

W

Wanddicke

- Berechnung 140

- Dimensionierung 134

- Rohrbogen 171

Wanddickenberechnung 180

Wanddickenprüfung 137

Wandrauigkeit 33

Wärmeausdehnung 101

Wärmeausdehnungskoeffizient 101

Wärmedurchgang 117

Wärmedurchgangskoeffizient 117

Wärmeleitfähigkeit 104

Wärmeleitung 103

- mehrdimensionale 107

Wärmequelle 82

Wärmesenke 82

Wärmestrahlung 123

Wärmetransport 104

Wärmeübergang

- bei Kondensation 115

- beim Verdampfen 113

- konvektiver 110

Wärmeübergangskoeffizient 113

Wärmeübertragung 122

Wasserschlag 92

Wasserschloss 96

wechselnde Beanspruchung 143

Weichstoffkompensator 219

Wellrohrkompensator 215
Werksbescheinigung 137
Werkstoffkurzzeichen 139
Werkstoffprüfung 136
Werkszeugnis 137
Windlast 203
Wirkungsgrad 65
WÖHLER-Diagramm 144
WÖHLER-Kurve 144
Wolfram-Inertgas-Schweißen 272

Y

YARWAY-Expansions-Kompensator 213
Y-Naht 274

Z

Z-Bogen 239
zeitabhängige zulässige Spannung 152
Zeitdehngrenze 138
Zeitstandfestigkeit 139, 153
zeitunabhängige zulässige Spannung 150
Zentrifugalmoment 246
zerstörungsfreie Schweißnahtprüfung 278
Zins, kalkulatorischer 52
zulässige Knickspannung 210
zulässige Lastspielzahl 149
zulässige Lastwechsel, Anzahl 147
zulässige Spannung 136, 149
- zeitabhängige 152
- zeitunabhängige 150
Zulaufhöhe 64
Zustandsänderung 31, 75
Zwischenfestpunkt 220