

# 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 bestimmend 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. Überschlüssig 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
<b>Konzeptionsphase</b>	
Definition des Projekts <ul style="list-style-type: none"> <li>▪ Standort mit Umweltbedingungen</li> <li>▪ Technologie einschließlich der Festlegung von Hilfsprozessen</li> <li>▪ Ausdehnung und Anordnung</li> <li>▪ verwendete Medien mit Definition der Durchsätze und Betriebsbedingungen</li> <li>▪ Realisierungszeitraum</li> </ul>	
Festschreibung technologischer Randbedingungen <ul style="list-style-type: none"> <li>▪ 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? ...)</li> </ul>	
Verlegungsplan <ul style="list-style-type: none"> <li>▪ Einfache Leitung oder Leitungsnetz? Mehrere Einspeisestellen/Verbraucher?</li> </ul>	
Betriebsweise <ul style="list-style-type: none"> <li>▪ Dauerbetrieb? Stationär/periodisch/intermittierend?</li> </ul>	
<b>Hydrodynamische Auslegung</b>	
Charakterisierung der stationären Strömung inkompressibler Medien <ul style="list-style-type: none"> <li>▪ Phasenverhältnisse</li> <li>▪ Fließgesetz (NEWTONsch, BINGHAM-Fluid, ...)</li> <li>▪ Strömungsregime (laminar, turbulent)</li> <li>▪ instationäre Strömung</li> <li>▪ Wandrauigkeit (Alterung/Ablagerungen/Korrosion berücksichtigen)</li> <li>▪ Ermittlung Rohrreibungsbeiwert</li> <li>▪ Zusammentragen relevanter Widerstandsbeiwerte</li> <li>▪ Berechnung Rohrdurchmesser nach strömungstechnischen Gesichtspunkten und unter Berücksichtigung der Ergebnisse der Wanddickenberechnung (Achtung: ökonomisch sinnvoller Geschwindigkeitsbereich beachten, berechnete Durchmesser an genormte Größen anpassen)</li> <li>▪ Förderenergiebereitstellung (Hoch-, Druckspeicher, Pumpen, Verdichter)</li> <li>▪ Ventilauslegung</li> <li>▪ Vermeidung Strömungsabriss und Kavitation</li> </ul>	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
<b>Konstruktiv-gestalterische Auslegung</b>	
Spannungsbeanspruchung von Rohren <ul style="list-style-type: none"> <li>▪ Auswirkung des Innendrucks</li> <li>▪ Auswirkung thermischer Längenänderung</li> </ul>	Kap. 3.1 Kap. 4.3

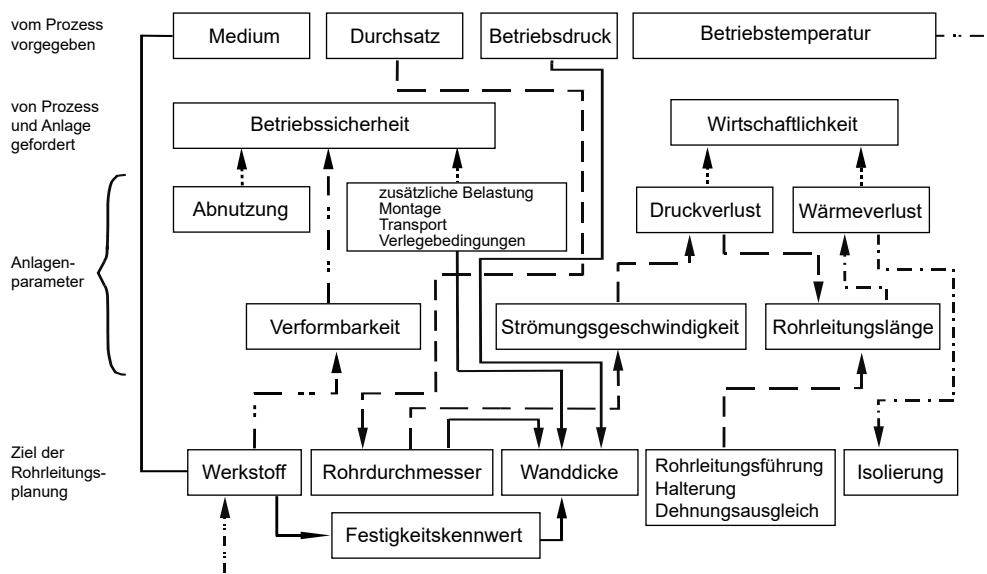
**Bild 1.1** Systematisches Vorgehen bei Rohrleitungsbauprojekten mit Verweisen, in welchen Buchabschnitten dazu Aussagen enthalten sind

Sachgebiet	Buchbezug
Berechnung von Wanddicken	
Dicke gerader Rohrstücke unter <ul style="list-style-type: none"> <li>▪ Beachtung Herstellungsmethode (nahtlos, geschweißt, ...)</li> <li>▪ Art der Belastung (stationär, periodisch, intermittierend, ...)</li> <li>▪ Bestellwanddicke</li> </ul>	Kap. 1.1 Kap. 3.1.3 Kap. 3.1.4
Wanddicke von Rohrbögen <ul style="list-style-type: none"> <li>▪ Druckbelastung</li> <li>▪ Belastung durch thermische Ausdehnung</li> </ul>	Kap. 3.3 Bild 4.49 ff
Wanddicke von T-Stücken und Abzweigungen	Kap. 3.4
Flansche <ul style="list-style-type: none"> <li>▪ Abdichtungen</li> <li>▪ Flanschdimensionierung</li> <li>▪ Schraubendimensionierung</li> </ul>	Kap. 3.2 Bild 3.8 ff Gl. (3.70) ff
im System zu kompensierende Kräfte <ul style="list-style-type: none"> <li>▪ Strömungskräfte</li> <li>▪ Eigengewicht und äußere Kräfte <ul style="list-style-type: none"> <li>▪ Durchbiegung <ul style="list-style-type: none"> <li>▪ Stützweite in Abhängigkeit der Lagerungsart</li> </ul> </li> </ul> </li> <li>▪ Druckspannung infolge thermischer Beanspruchung</li> <li>▪ Dehnungsausgleicher</li> </ul>	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"> <li>▪ Rohrhalterungen</li> <li>▪ Rohrbrücken</li> <li>▪ Erdverlegung</li> </ul>	Kap. 4.1 Kap. 5.3.2.2
<b>Wärmetechnische Auslegung</b>	
Wärmeausdehnung <ul style="list-style-type: none"> <li>▪ Änderung der Abmessungen durch wechselnde Temperaturen oder Unterschiede zwischen Montage - und Betriebstemperaturen</li> <li>▪ Verformung von eingespannten Rohrleitungen infolge Wärmeausdehnung</li> <li>▪ Kompensation von Längenänderungen</li> </ul>	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"> <li>▪ Wärmeleitung</li> <li>▪ konvektiver Wärmeübergang</li> <li>▪ Wärmedurchgang</li> <li>▪ Wärmestrahlung</li> </ul>	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"> <li>▪ stärkere Anströmung</li> <li>▪ Erhöhung der Leitfähigkeit des Materials</li> <li>▪ Rippenrohre</li> </ul>	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"> <li>▪ Auswahl Isoliermaterial</li> <li>▪ Bestimmung ökonomischer Isolierdicke</li> <li>▪ Befestigung der Isolierung</li> </ul>	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
<b>Weitere Fragestellungen</b>	
Leckage	Kap. 2.6
Verweilzeitverteilung	Kap. 2.7
Druckstöße	Kap. 2.5.2
<b>Rohrleitungs montage</b>	
Montageplanung <ul style="list-style-type: none"> <li>▪ Aufstellungspläne</li> <li>▪ Montagefreiheit</li> <li>▪ Montageablaufplanung</li> <li>▪ Montageablauf</li> <li>▪ Vorfertigung</li> </ul>	Kap. 5.3 Kap. 5.2 Bild 5.11 ff Kap. 5.3.2 Kap. 5.4
Funktionssicherheit <ul style="list-style-type: none"> <li>▪ Schweißnähte</li> <li>▪ Entlüftung, Entleerung, Kondensatabscheider, Rückflussverhinderung, Druckbegrenzung</li> <li>▪ Rohrreinigung</li> <li>▪ Entrosten</li> <li>▪ Qualitätssichernde Maßnahmen bei der Montage</li> </ul>	Kap. 5.3.3.2 Kap. 1.2  Kap. 5.3.3.3 Kap. 5.3.3.4 Kap. 5.3.3
<b>Abnahme</b>	
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.

<b>Richtlinien, Gesetze, Verordnungen</b>	
Richtlinie über Druckgeräte	RL 97/23/EG; RL 2014/68/EU
Druckgeräteverordnung (14. Verordnung zum ProdSG)	DruckgeräteV
<b>Technische Grundlagen</b>	
Graphische Symbole für technische Zeichnungen, Rohrleitungen	
- Allgemeines	DIN 2429-1
- Funktionelle Darstellungen	DIN 2429-2
Leitfaden für die Beschaffung von Ausrüstungen für Kraftwerke, Rohrleitungen und Armaturen	
- Hochdruckrohrleitungen	DIN EN 45510-7-1
- Kessel- und Rohrleitungs-Armaturen	DIN EN 45510-7-2
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

<b>Metallische industrielle Rohrleitungen</b>	
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
<b>Technische Grundnormen</b>	
Begriffsbestimmung zur Stahleinteilung	DIN EN 10020
Bezeichnungssysteme für Stähle	DIN EN 10027-1 DIN EN 10027-2
- Kurznamen - Nummernsystem	
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
<b>Öffentliche verfügbare Spezifikationen</b>	
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

<b>Nahtlose druckgeführte Rohre</b>	
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
<b>Geschweißte druckgeführte Rohre</b>	
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
<b>Blechmaterial und Schmiedeteile</b>	
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
<b>Leitungsrohre für Gas und brennbare Flüssigkeiten</b>	
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

<b>Rohrzubehör</b>	
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 nicht rostenden Stählen für Innendruckbelastung	DIN EN 10253-4
Kompensatoren mit metallischen Bälgen für Druckanwendungen	DIN EN 14917
<b>Leitfaden für die Bestellung und Herstellung von Druckgeräten nach DGRL</b>	
- 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
<b>Flansche und ihre Verbindungen</b>	
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	
- Klassifizierung von Schraubenwerkstoffen, nach PN	DIN EN 1515-2
- Klassifizierung von Schraubenwerkstoffen, nach Class	DIN EN 1515-3
- Auswahl zur Anwendung innerhalb der DGRL	DIN EN 1515-4
Regeln für die Auslegung von Flanschverbindungen mit runden Flanschen und Dichtungen	DIN EN 1591-1
- Berechnungsmethoden	
- Hintergrundinformationen	DIN EN 1591-1 Beibl. 1
- Dichtungskennwerte	DIN EN 1591-2
- Berechnungsmethode im Kraft-Nebenschluss	DIN CEN/TS 1591-3
- Qualifizierung von Personal zur Montage von Schraubverbindungen im Bereich der DGRL	DIN EN 1591-4
- Berechnungsmethode für Verbindung mit vollflächiger Dichtung	DIN CEN/TS 1591-5
Runde Flansche für Rohre, Armaturen, Formstücke und Zubehörteile, nach Class bezeichnet	
- Stahlflansche, NPS ½ 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 gekerbttem Profil	DIN EN 12560-4
- RTJ-Dichtungen aus Metall	DIN EN 12560-5
- Kammprofil-dichtungen	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 13333<sup>1</sup> 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 ffügbar. 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.

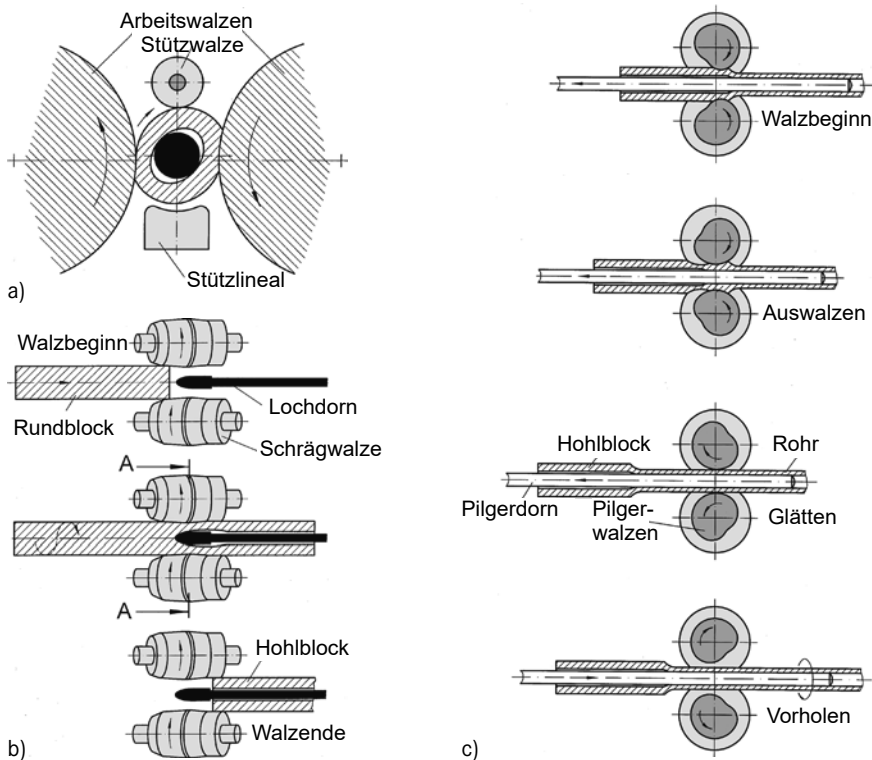
<sup>1</sup> In Bild 1.3 nicht enthalten.

**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	DN 150 (50) DN 500 (100) DN 1200		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

## Symbole

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  
Armaturn 24  
- Einsatzbereich 25  
- Kenngröße 43  
Armaturregrundtyp 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  
- spätestester 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  
Breckkappe 29  
Breite, tragende 164

## C

chemische Innenreinigung, Rohr 283  
CO<sub>2</sub>-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
- Entrosten, 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
- Festpunktkraft 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  
 Glattröhrbogen 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  
 MOUVRE, 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 Rohrinne Durchmesser 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  
 reibungsbehafteter 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  
 Rohralterung 195  
 Rohrinne Durchmesser, optimaler 54  
 Rohrklassennummer 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  
 Rohrleitungsinndruck 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  
 Röntgendefektoskopie 279  
 Rückflussverhinderer 27  
 Runddrahtdichtung 160
- S**
- Sandrauigkeit 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  
 Schrägwalz-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  
 Spiralnaht-Schweißen 23  
 SSH 134  
 Stahl  
 - austenitischer 152  
 - nichtaustenitischer 150  
 Stahlrohr  
 - Entfetten 281  
 - Entrosten 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
- Vorgangsliste 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  
Werkzeugzeugnis 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