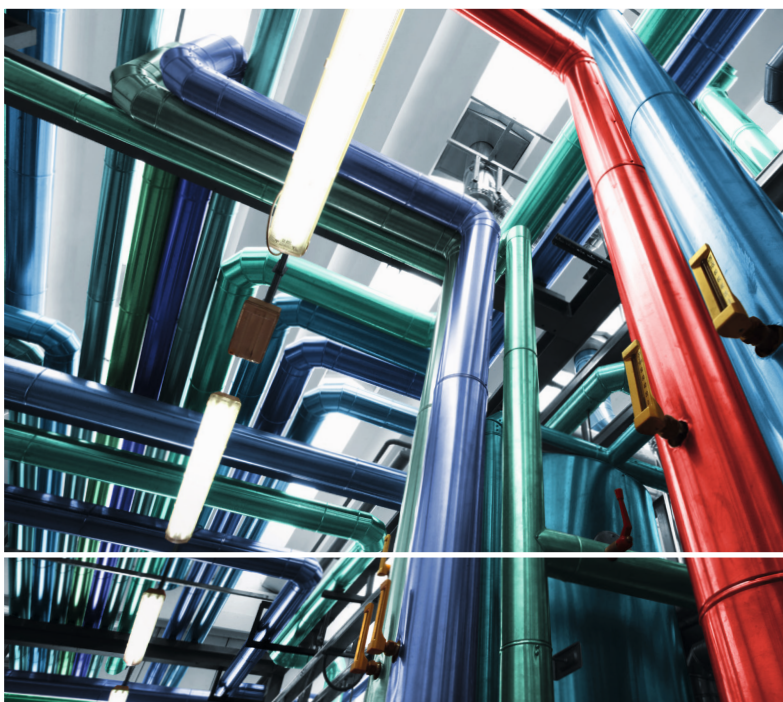


Wilfried Franke
Bernd Platzer

Rohrleitungen

Grundlagen – Planung – Montage



3., aktualisierte Auflage

HANSER

Franke / Platzer
Rohrleitungen



Bleiben Sie auf dem Laufenden!

Hanser Newsletter informieren Sie regelmäßig über neue Bücher und Termine aus den verschiedenen Bereichen der Technik. Profitieren Sie auch von Gewinnspielen und exklusiven Leseproben. Gleich anmelden unter

www.hanser-fachbuch.de/newsletter

Wilfried Franke
Bernd Platzer

Rohrleitungen

Grundlagen – Planung – Montage

3., aktualisierte Auflage

HANSER

Über die Autoren:

Prof. i. R. Dr.-Ing. habil. Wilfried Franke ist Lehrbeauftragter für Apparate und Anlagen an der Hochschule Merseburg (FH).

Prof. em. Dr.-Ing. habil. Bernd Platzer war Professor für Technische Thermodynamik an der Fakultät für Maschinenbau der TU Chemnitz.



Print-ISBN: 978-3-446-48348-4

E-Book-ISBN: 978-3-446-48392-7

Alle in diesem Werk enthaltenen Informationen, Verfahren und Darstellungen wurden zum Zeitpunkt der Veröffentlichung nach bestem Wissen zusammengestellt. Dennoch sind Fehler nicht ganz auszuschließen. Aus diesem Grund sind die im vorliegenden Werk enthaltenen Informationen für Autor:innen, Herausgeber:innen und Verlag mit keiner Verpflichtung oder Garantie irgendeiner Art verbunden. Autor:innen, Herausgeber:innen und Verlag übernehmen infolgedessen keine Verantwortung und werden keine daraus folgende oder sonstige Haftung übernehmen, die auf irgendeine Weise aus der Benutzung dieser Informationen – oder Teilen davon – entsteht. Ebenso wenig übernehmen Autor:innen, Herausgeber:innen und Verlag die Gewähr dafür, dass die beschriebenen Verfahren usw. frei von Schutzrechten Dritter sind. Die Wiedergabe von Gebrauchsnamen, Handelsnamen, Warenbezeichnungen usw. in diesem Werk berechtigt also auch ohne besondere Kennzeichnung nicht zu der Annahme, dass solche Namen im Sinne der Warenzeichen- und Markenschutz-Gesetzgebung als frei zu betrachten wären und daher von jedermann benutzt werden dürften.

Die endgültige Entscheidung über die Eignung der Informationen für die vorgesehene Verwendung in einer bestimmten Anwendung liegt in der alleinigen Verantwortung des Nutzers.

Bibliografische Information der Deutschen Nationalbibliothek:

Die Deutsche Nationalbibliothek verzeichnet diese Publikation in der Deutschen Nationalbibliografie; detaillierte bibliografische Daten sind im Internet unter <http://dnb.d-nb.de> abrufbar.

Dieses Werk ist urheberrechtlich geschützt.

Alle Rechte, auch die der Übersetzung, des Nachdruckes und der Vervielfältigung des Werkes, oder Teilen daraus, vorbehalten. Kein Teil des Werkes darf ohne schriftliche Einwilligung des Verlages in irgendeiner Form (Fotokopie, Mikrofilm oder einem anderen Verfahren), auch nicht für Zwecke der Unterrichtsgestaltung – mit Ausnahme der in den §§ 53, 54 UrhG genannten Sonderfälle –, reproduziert oder unter Verwendung elektronischer Systeme verarbeitet, vervielfältigt oder verbreitet werden.

Wir behalten uns auch eine Nutzung des Werks für Zwecke des Text- und Data Mining nach § 44b UrhG ausdrücklich vor.

© 2025 Carl Hanser Verlag GmbH & Co. KG, München
Kolbergerstraße 22 | 81679 München | info@hanser.de
www.hanser-fachbuch.de

Lektorat: Dipl.-Ing. Natalia Silakova-Herzberg

Herstellung: Frauke Schafft

Coverkonzept: Marc Müller-Bremer, www.rebranding.de, München

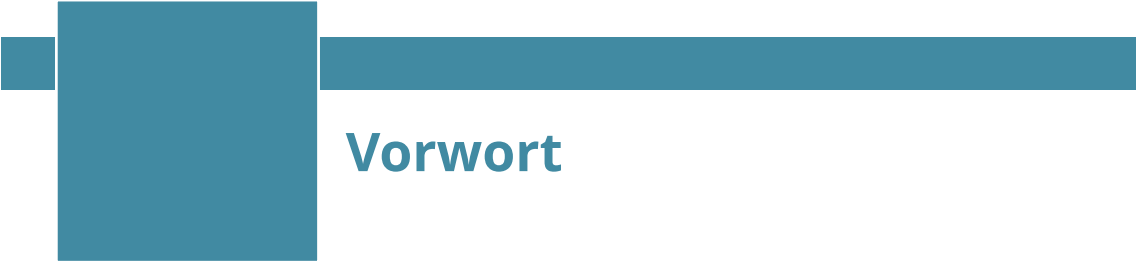
Covergestaltung: Thomas West

Titelmotiv: © gettyimages.de/seraficus

Satz: Eberl & Koesel Studio, Kempten

Druck: CPI Books GmbH, Leck

Printed in Germany



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 Apparatechnik 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 Umfangs 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 Industriemontagen 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 Platzter, Chemnitz

Vorwort zur 3. Auflage

Das Vorhaben des Verlags, eine neue Auflage zu editieren, bot die Möglichkeit, einige Korrekturen am Text vorzunehmen.

Diese Auflage berücksichtigt die EU-Richtlinie 2019/882, nach welcher die Produkte des Verlags barrierefrei zu gestalten sind. Diese Vorgaben dienen dazu, die digitalen Inhalte (E-Book) für automatisierte Lesesoftware aufzubereiten. Insbesondere waren Bilder und Diagramme mit sogenannten Alternativtexten zu versehen, die partiell auch mit KI-Unterstützung seitens des Verlags generiert wurden.

Für die gute Zusammenarbeit dem Verlagsteam zu danken, ist den Autoren ein Bedürfnis.

Januar 2025

Wilfried Franke, Merseburg

Bernd Platzter, Chemnitz

Inhalt

Vorwort	V
1 Rohre und Armaturen	1
1.1 Rohre	1
1.2 Armaturen	17
1.2.1 Sperr- und Regeleinrichtungen	19
1.2.2 Sicherheitsarmaturen	21
1.2.3 Sonderarmaturen	23
2 Strömungs- und wärmetechnische Rohrauslegung	25
2.1 Strömungscharakteristika	25
2.2 Inkompressible Medien	27
2.2.1 Berechnung der Rohrreibung	27
2.2.2 Verlustbeiwerte von Formstücken	38
2.2.3 Kenngrößen von Armaturen	39
2.2.4 Rohrleitungsdimensionierung und Pumpenauslegung	41
2.2.5 Förderhöhe und Rohrleitungskennlinie	46
2.2.6 Bestimmung des optimalen Rohrdurchmessers	48
2.2.7 Auswahl von Regelventilen	53
2.2.8 Auslegung von Sicherheitsventilen	57
2.2.9 Strömungsabriss und Kavitation	61
2.2.10 Wirkungsgrad von Rohrleitungen und Diffusoren	63
2.2.11 Rohrnetze	66

2.3	Strömung kompressibler Medien durch gerade Leitungen	73
2.3.1	Ideale Gase	73
2.3.2	Verdünnte Gase	84
2.3.3	Dampfleitungen	85
2.4	Instationäre Strömungsvorgänge	87
2.5	Beanspruchungen von Rohrleitungen	88
2.5.1	Kraftwirkung bei stationären Strömungen	88
2.5.2	Druckstoß	90
2.6	Leckage	96
2.7	Verweilzeitverteilung	97
2.8	Thermische Vorgänge	99
2.8.1	Wärmeausdehnung	99
2.8.2	Wärmeleitung	102
2.8.3	Konvektiver Wärmeübergang	110
2.8.4	Wärmedurchgang	118
2.8.4.1	Wärmedurchgangskoeffizient	118
2.8.4.2	Rohre mit Rippen oder Nadeln	119
2.8.4.3	Rohrdämmung	120
2.8.4.4	Temperaturänderungen in Rohrleitungen	122
2.8.5	Wärmeübertragung durch Strahlung	123
3	Konstruktive Dimensionierung von Rohrleitungselementen	129
3.1	Berechnung der Rohrwanddicke bei Innendruck	129
3.1.1	Grundlagen	129
3.1.2	Werkstoffprüfung und zulässige Spannung	139
3.1.3	Praktische Berechnung der Wanddicke	144
3.1.4	Bestell-Wanddicke	160
3.2	Flanschverbindungen	163
3.3	Berechnung der Wanddicke von Rohrbögen	180
3.3.1	Glattrohrbögen	180
3.3.2	Segmentbögen	185
3.4	Wanddickenberechnung von T-Stücken und Abzweigen	188
3.4.1	Arten	188
3.4.2	Grundlagen	189
3.4.3	Berechnungsansatz	192

4	Verlegung von Rohrleitungen	203
4.1	Halterungen	203
4.2	Stützweite in einer Rohrleitung	207
4.2.1	Einspannung des Rohrs an den Stützen	208
4.2.2	Gelenkige Lagerung des Rohrs an den Auflagern	210
4.2.3	Betrachtung der Biegespannungen	211
4.3	Thermisch belastetes gerades Rohr zwischen zwei Festpunkten	215
4.4	Dehnungsausgleich	221
4.4.1	Künstlicher Dehnungsausgleich	222
4.4.2	Einordnung der Ausgleicher in die Rohrleitung	232
4.4.3	Natürlicher Dehnungsausgleich (s. auch [61])	237
5	Montage	265
5.1	Inhalt und Umfang der Montage	265
5.2	Voraussetzungen für die Montage	266
5.3	Montagedurchführung	267
5.3.1	Montageplanung	267
5.3.2	Montageablauf	286
5.3.2.1	Anlageninterne Rohrleitungen	287
5.3.2.2	Lineare Rohrleitungen	288
5.3.2.3	Schweißverfahren	290
5.3.3	Qualitätssicherung	293
5.3.3.1	Qualitätssicherung der Fugestellen	296
5.3.3.2	Zerstörungsfreie Schweißnahtprüfung	298
5.3.3.3	Innenreinigung von Rohrleitungen	300
5.3.3.4	Entrosten und Entzundern von Stahlrohren	302
5.3.3.5	Komplexprüfung	306
5.4	Vorfertigung	308
	Anhang	311
	Literaturverzeichnis	331
	Index	335

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. 4700 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. Tabelle 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.

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

Sachgebiet	Buchbezug
Konzeptionsphase	
Definition des Projekts ■ Standort mit Umweltbedingungen ■ Technologie einschließlich der Festlegung von Hilfsprozessen ■ Ausdehnung und Anordnung ■ verwendete Medien mit Definition der Durchsätze und Betriebsbedingungen ■ Realisierungszeitraum	
Festschreibung technologischer Randbedingungen ■ Charakterisierung der zu fördernde Medien (Aggressiv gegenüber Rohrmaterial? Aggregatzustand? Aggregatzustandsänderung? Entmischung? Ein-/mehrphasig? <i>Newtonsches</i> Medium? Einzubauende Apparaturen? Mess-, Steuer, Regelungstechnik? Isolierung? Ablagerungen (Fouling)? Reinigungsmöglichkeit? Sterilisierbarkeit? ...)	
Verlegungsplan ■ einfache Leitung oder Leitungsnetz? Mehrere Einspeisestellen/Verbraucher?	
Betriebsweise ■ Dauerbetrieb? Stationär/periodisch/intermittierend?	

Sachgebiet	Buchbezug
Hydrodynamische Auslegung	
Charakterisierung der stationären Strömung inkompressibler Medien	
■ Phasenverhältnisse	Abschnitt 2.1
■ Fließgesetz (<i>Newtonsch, Bingham-Fluid, ...</i>)	Tabelle 2.1
■ Strömungsregime (laminar, turbulent)	Tabelle 2.1
■ instationäre Strömung	Abschnitt 2.4
■ Wandrauigkeit (Alterung/Ablagerungen/Korrosion berücksichtigen)	Tabelle 2.2
■ Ermittlung Rohrreibungsbeiwert	Abschnitt 2.2.1
■ Zusammentragen relevanter Widerstandsbeiwerte	Abschnitt 2.2.2, A2
■ Berechnung Rohrdurchmesser nach strömungstechnischen Gesichtspunkten und unter Berücksichtigung der Ergebnisse der Wanddickenberechnung (Achtung: ökonomisch sinnvoller Geschwindigkeitsbereich beachten, berechnete Durchmesser an genormte Größen anpassen)	Abschnitt 2.2.4, 2.2.6, 3.1 Tabelle 2.12
■ Förderenergiebereitstellung (Hoch-, Druckspeicher, Pumpen, Verdichter)	Abschnitt 2.2.4, 2.2.5
■ Ventilauslegung	Abschnitt 2.2.7, 2.2.8
■ Vermeidung Strömungsabriss und Kavitation	Abschnitt 2.2.9
Rohrleitungsnetzberechnung	Abschnitt 2.2.11
Strömung kompressibler Medien	Abschnitt 2.3
Strömung verdünnter Gase	Abschnitt 2.3.2
Dampfleitungen	Abschnitt 2.3.3
Kraftwirkungen von Strömungen	Abschnitt 2.5

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

Sachgebiet	Buchbezug
Konstruktiv-gestalterische Auslegung	
Spannungsbeanspruchung von Rohren	
▪ Auswirkung des Innendrucks	Abschnitt 3.1
▪ Auswirkung thermischer Längenänderung	Abschnitt 4.3
Berechnung von Wanddicken	
Dicke gerader Rohrstücke unter Beachtung	
▪ der Herstellungsmethode (nahtlos, geschweißt, ...)	Abschnitt 1.1
▪ der Art der Belastung (stationär, periodisch, intermittierend, ...)	Abschnitt 3.1.3
▪ der Bestellwanddicke	Abschnitt 3.1.4
Wanddicke von Rohrbögen	
▪ Druckbelastung	Abschnitt 3.3
▪ Belastung durch thermische Ausdehnung	Bild 4.49 ff.
Wanddicke von T-Stücken und Abzweigungen	Abschnitt 3.4
Flansche	
▪ Abdichtungen	Abschnitt 3.2
▪ Flanschdimensionierung	Bild 3.8 ff.
▪ Schraubendimensionierung	Formel 3.70 ff.
im System zu kompensierende Kräfte	
▪ Strömungskräfte	Abschnitt 2.5
▪ Eigengewicht und äußere Kräfte	
▪ Durchbiegung	Abschnitt 4.2
▪ Stützweite in Abhängigkeit der Lagerungsart	Abschnitt 4.2
▪ Druckspannung infolge thermischer Beanspruchung	Abschnitt 4.4.3, 4.4.4
▪ Dehnungsausgleicher	Abschnitt 4.4.1, 4.4.2
Verlegung von Rohrleitungen	
▪ Rohrhalterungen	Abschnitt 4.1
▪ Rohrbrücken	Abschnitt 5.3.2.2
▪ Erdverlegung	

Sachgebiet	Buchbezug
Wärmetechnische Auslegung	
Wärmeausdehnung ■ Änderung der Abmessungen durch wechselnde Temperaturen oder Unterschiede zwischen Montage – und Betriebstemperaturen ■ Verformung von eingespannten Rohrleitungen infolge Wärmeausdehnung ■ Kompensation von Längenänderungen	Abschnitt 2.8.1 Abschnitt 4.4.3 Abschnitt 4.4.1, 4.4.2
Beschreibung der Ursachen des Wärmeaustauschs mit der Umgebung ■ Wärmeleitung ■ konvektiver Wärmeübergang ■ Wärmedurchgang ■ Wärmestrahlung	Abschnitt 2.8.2 Abschnitt 2.8.3 Abschnitt 2.8.4 Abschnitt 2.8.5
Maßnahmen mit Ziel Erhöhung des Wärmeaustauschs ■ stärkere Anströmung ■ Erhöhung der Leitfähigkeit des Materials ■ Rippenrohre	Abschnitt 2.8.3 Tabelle 2.29, 2.30 Abschnitt 2.8.4.2
Maßnahmen mit Ziel Verringerung des Wärmeaustauschs (Isolierung) ■ Auswahl Isoliermaterial ■ Bestimmung ökonomischer Isolierdicke ■ Befestigung der Isolierung	Tabelle 2.31, 2.42 Bild 2.29
Weitere Fragestellungen	
Leckage	Abschnitt 2.6
Verweilzeitverteilung	Abschnitt 2.7
Druckstöße	Abschnitt 2.5.2

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

Sachgebiet	Buchbezug
Rohrleitungsmontage	
Montageplanung	
▪ Aufstellungspläne	Abschnitt 5.3
▪ Montagefreiheit	Abschnitt 5.2
▪ Montageablaufplanung	Bild 5.11 ff.
▪ Montageablauf	Abschnitt 5.3.2
▪ Vorfertigung	Abschnitt 5.4
Funktionssicherheit	
▪ Schweißnähte	Abschnitt 5.3.3.2
▪ Entlüftung, Entleerung, Kondensatabscheider, Rückflussverhinderung, Druckbegrenzung	Abschnitt 1.2
▪ Rohrreinigung	Abschnitt 5.3.3.3
▪ Entrosten	Abschnitt 5.3.3.4
▪ Qualitätssichernde Maßnahmen bei der Montage	Abschnitt 5.3.3
Abnahme	
Drucktest	
Dichtheitstest	Abschnitt 5.3.3.5
Bescheinigungen	

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 1.1.

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.

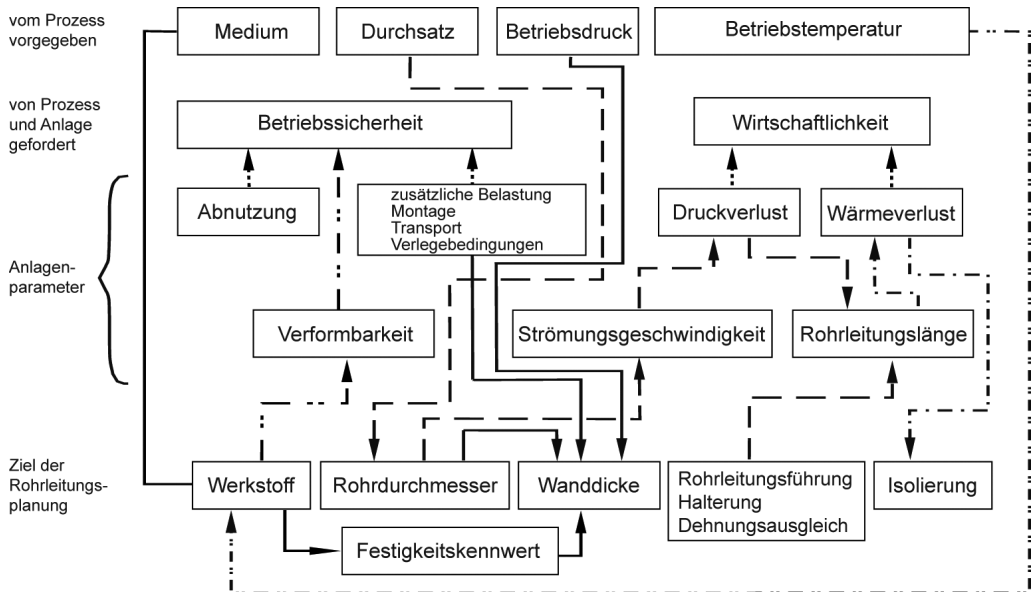


Bild 1.1 Verflechtungen bei der Rohrleitungsplanung

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 01.01.2013 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 in Bild 1.2 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	
- 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
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

Bild 1.2 Normen für Rohrleitungen, zusammengestellt von Mußmann [87],
Stand: 11.08.2015

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
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

Bild 1.2 (Fortsetzung)

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
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 nicht rostenden 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
- Kammprofil-dichtungen	DIN EN 1514-6
- Metallummanteldichte Dichtungen mit Auflage	DIN EN 1514-7
- Runddichtringe mit Auflage	DIN EN 1514-8

Bild 1.2 (Fortsetzung)

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 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 1.2 (Fortsetzung)

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 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 Stufensprungs 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 1.2 angegebenen Werte. Die zweite Dekade von 10...100 ist mit $a = 10$, die dritte mit $a = 100$ zu bilden.

Tabelle 1.2 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 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.

¹⁾ In Bild 1.2 nicht enthalten.

Bevorzugte DN-Stufen aus der DIN EN ISO 6708 und PN-Stufen aus der DIN EN 13333 (Werte in Klammer: Schrittweite):

- | ■ DN-Stufen | ■ PN-Stufen |
|-----------------|-------------|
| ■ DN 10 | ■ PN 1 |
| ■ DN 15 | ■ PN 2,5 |
| ■ DN 20 | ■ PN 6 |
| ■ DN 25 | ■ PN 10 |
| ■ DN 32 | ■ PN 16 |
| ■ DN 40 | ■ PN 25 |
| ■ DN 50 | ■ PN 40 |
| ■ DN 60 | ■ PN 63 |
| ■ DN 65 | ■ PN 100 |
| ■ DN 80 | ■ PN 160 |
| ■ DN 100 | ■ PN 250 |
| ■ DN 125 | ■ PN 320 |
| ■ DN 150 (50) | ■ PN 400 |
| ■ DN 500 (100) | |
| ■ DN 1200 | |
| ■ DN 1400 | |
| ■ DN 1500 | |
| ■ DN 1600 (200) | |
| ■ DN 4000 | |

Die DIN-Normen enthalten auch Angaben zu den **Herstellerlängen**, wobei Längenbereiche und Minstdurchschnittslänge 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.

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 1.3).

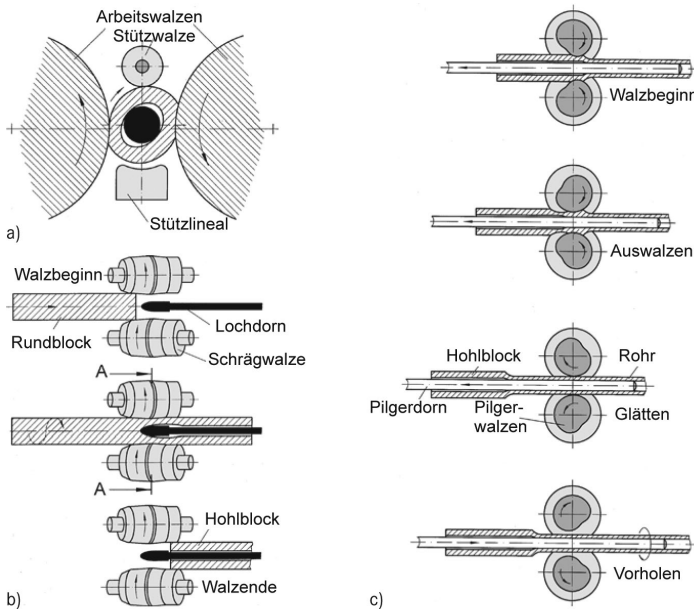


Bild 1.3 Mannesmann-Schrägwalz-Pilgerschrittverfahren [25].

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

Durch eine anschließende Kaltverformung (Bild 1.4) können spezielle Maße bis $d_a = 380$ mm, bessere Oberflächengüten u. a. erreicht werden. Dazu wird das Rohr durch einen Ziehring gezogen, dessen lichte Weite kleiner als der Rohraußendurchmesser d_a ist.

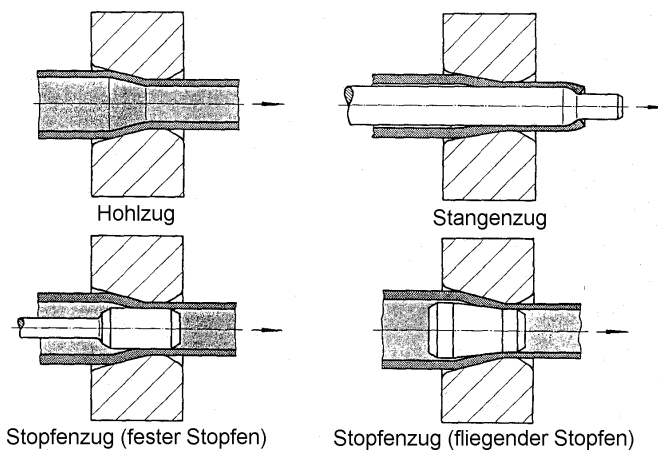


Bild 1.4

Kaltziehverfahren [25]

Das älteste Warmformverfahren ist das **Schrägwalz-Pilgerschrittverfahren**. Dieses Verfahren wurde um 1880 von den Brüdern *Mannesmann* entwickelt. Der Name leitet sich von der Echternacher Springprozession her: 3 Schritte vor und 2 zurück. Damit sind Rohre der Abmessungen $d_a = 60 \dots 660$ mm, $s = 3 \dots 125$ mm und $l \leq 30$ m herstellbar. Die Temperatur beim Pilgern beträgt etwa $1250 \dots 1300$ °C. Eine Alternative für Rohrdurchmesser $d_a \approx 20 \dots 230$ mm ist das **Strangpressverfahren** (Bild 1.5).

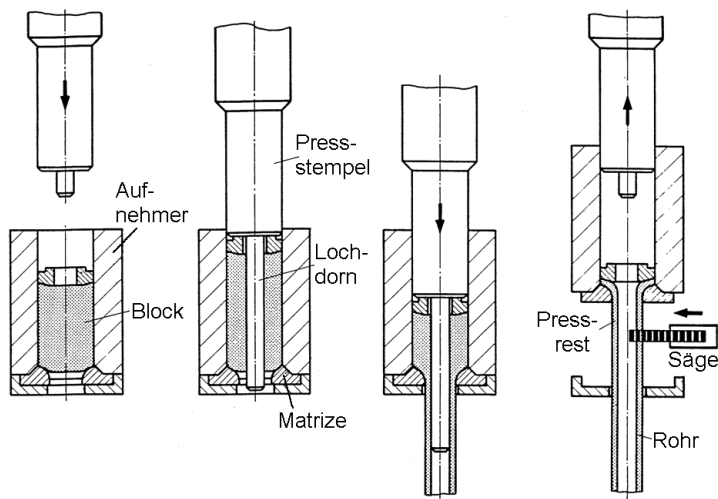


Bild 1.5 Abläufe beim Rohrstrangpressen [25]

Zur Herstellung von **Kunststoffrohren** kommen Extrudierv Verfahren zum Einsatz (Bild 1.6). Der **Extruder** besteht aus einer oder zwei angetriebenen Transportschnecken. Das zugegebene Pulver oder Granulat wird bis zum an die Schnecken anschließenden Formwerkzeug durch Reibung und eine Heizung auf die gewünschte Verarbeitungstemperatur gebracht. Das austretende Rohr erhält in einer Kühl- und Kalibrier Vorrichtung die genaue Abmessung. Danach wird es von einer Abzugsvorrichtung erfasst und einer Trenneinrichtung oder einer Ringbund-Wickelmaschine zugeführt. Rohre bzw. Ringbunde werden anschließend mit dem in den Lieferbedingungen vorgeschriebenen Prüfdruck auf Dichtheit geprüft. Nach dem Extrudierv Verfahren werden Druckrohre für Rohrleitungen bis zu etwa 400 mm und dünnwandige Rohre in Einzelfällen bis zu ca. 1000 mm Durchmesser hergestellt. Die Kunststoffrohre können in werkstoffspezifischen Temperaturbereichen spanlos umgeformt werden.

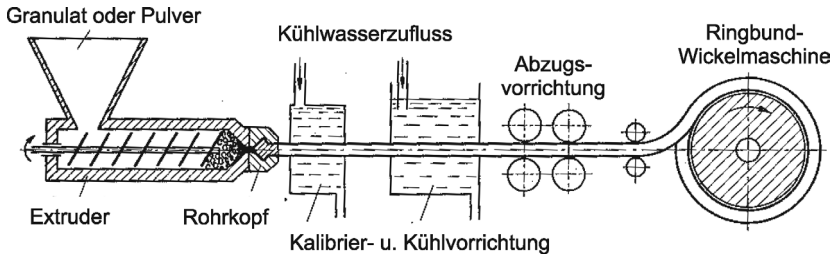


Bild 1.6 Extrudieren von Kunststoffrohren [95]

Tafeln und Bänder sind das Ausgangsmaterial für die Herstellung **geschweißter Rohre**. Das Blechumformen ist auf warmem oder kaltem Wege möglich. Wichtige Schweißverfahren sind das **Press-** und das **Schmelzschweißen**. Das **Fretz-Moon-Verfahren** wurde in England seit 1825 entwickelt. Seinen Abschluss fand es 1931 (Arbeitsgeschwindigkeit 100... 300 m/min, $d_a = 40 \dots 114$ mm). Der hohen Produktionsgeschwindigkeit sind alle folgenden Arbeitsgänge (Entgraten, Druckprüfung) anzupassen. Die auf Schweißtemperatur erhitzten Kanten werden unter hohem Druck zusammengepresst und verschweißen damit (Bild 1.7).

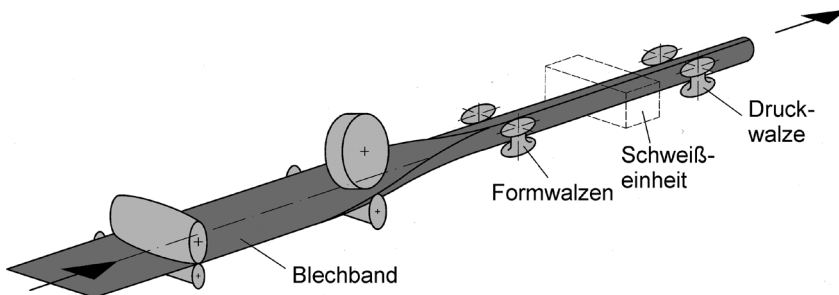


Bild 1.7 Technologie des Umform- und Fügeprozesses für pressgeschweißte Rohre [43]

Für größere Rohrdurchmesser ($d_a = 500 \dots 2500$ mm) wendet man das Spiralnaht-Schweißen an. Das Halbzeug ist hier ein Blechband, dessen Bandbreite nicht mit dem Rohrumfang übereinstimmt. Maßgebend ist die Schrägstellung des Blechbandes (Einlaufwinkel) gegenüber der Rohrachse (Bild 1.8).

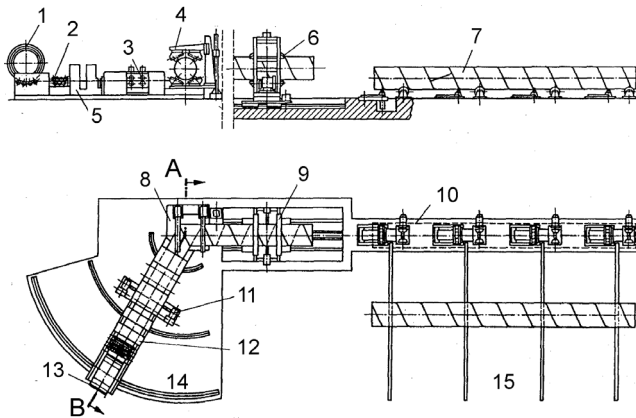


Bild 1.8 Fertigungsprinzip für Spiralnahtrohre [95]. 1, 13 Ringbund; 2, 14 Richtmaschine; 3, 11 Treibwalzen; 4, 8 Formteil mit Schweißköpfen für Innen- und Außenschweißung; 5, 12 Schopfschere und Stumpfschweißeinrichtung; 6, 9 Rohrtrennvorrichtung; 7 fertiges Rohr; 10 Rollgang mit Auswerfer; 15 Auslaufrost

1.2 Armaturen

Armaturen bewirken eine Massenstromveränderung durch mechanische Beeinflussung der Geometrie des Durchflussquerschnitts. Sie erfüllen verschiedene Aufgaben:

- *Absperren/Öffnen*
Auf- und Zu-Funktion, Forderungen beim Absperren: geringe Leckage, Forderungen beim Öffnen: minimaler Druckverlust,
- *Stellen/Regeln*
zeitabhängige Veränderung des Massenstroms bzw. Konstanthalten eines Parameters bei sich ändernden Prozessbedingungen,
- *Sichern*
Unterbindung unzulässiger Betriebszustände (z. B. Vermeidung unzulässiger Drucküberschreitungen, Verhinderung des Rückstroms).

Die Art der Armatur und deren spezielle Gestaltung richten sich nach den von der Anlage vorgegebenen Parametern. Dazu zählen PN, DN, chemische Beständigkeit, geringe Korrosion und Verschleißfestigkeit, aber auch die Instandhaltungsfreundlichkeit. Außerdem werden Lösungen für sehr kleine bis zu sehr großen Volumenströmen sowie von sehr niedrigen bis zu sehr hohen Druckdifferenzen und Temperaturen benötigt.

Je nach Ausführung unterscheidet man Ventile, Schieber, Hähne und Klappen, die für die soeben genannten Aufgaben unterschiedlich gut geeignet sind (Tabelle 1.3). Einsatzbereiche zeigt Tabelle 1.4.

Tabelle 1.3 Bewertung der Armaturengrundtypen für Absperraufgaben
(+ günstig, o eingeschränkt, – ungünstig) [104]

Anforderung	Ventil	Schieber	Hahn	Klappe
Dichtheit	+	+	o	o
Druckverlust	–	+	+	o
Verschleiß	o	o	o	o
Reparaturaufwand	–	–	–	o
Einsatzbereich				
■ Druck	+	o	o	–
■ Nennweite	o	+	–	o
■ Temperatur	+	+	o	o

Tabelle 1.4 Einsatzbereiche und Eigenschaften von Armaturen

Typ \ Eigenschaften	Einsatzbereich	Druckverlust	Nennweite	Medium	Einsatzgebiet
Schieber	bis $\approx$ PN 400, 500 °C	gering, $\zeta \approx 0,2 \dots 0,3$	bis zur größten	Dampf, Wasser	Wasser- verteilung, Kraftwerke
Ventile	< PN 1000, 600 °C	hoch, $\zeta \approx 2 \dots 6$	kleine	Flüssigkeiten, Gase	sämtliche Industrien
Membranventile	< PN 10, < 100 °C, je nach Membranmaterial	gering, $\zeta \approx 0,3 \dots 0,5$	kleine	aggressive Flüssigkeiten	Verfahrenstechnik
Kugelhähne, Hähne	bis $\approx$ PN 320 $\dots$ 400, bis $\approx$ 200 °C	sehr gering, $\zeta \approx 0,1 \dots 0,5$	kleine; große für Gase	Gase, Flüssigkeiten, Öl	Hydraulik, Gaspipeline
Klappen	bis $\approx$ PN 16, < 200 °C, je nach Dichtungsmaterial	gering	große	Flüssigkeiten aller Art	Verfahrenstechnik, Wasserbau