



EUROPA FACHBUCHREIHE
für Chemieberufe

Rohrsystemtechnik

... eine Einführung

3. Auflage

Autoren:

Dr. Hans Jürgen Metternich

Antonius Kappe

Ralf Ißleib

Michael Dopheide

Unter Mitwirkung von Marc Babic, Karsten Fierke, Bernd Huesmann und Guido Scholz.

VERLAG EUROPA-LEHRMITTEL · Nourney, Vollmer GmbH & Co. KG

Düsselberger Straße 23 · 42781 Haan-Gruiten

Europa-Nr.: 70777

Autoren:

Dr. Hans Jürgen Metternich
Antonius Kappe
Ralf Ißleib
Michael Dopheide

Unter Mitwirkung von Marc Babic, Karsten Fierke, Bernd Huesmann und Guido Scholz.

Förderer:

Bundesministerium
für Bildung
und Forschung



Europäischer Sozialfonds
für Deutschland



Projekträger
im DLR

Projektpartner:**CREOS**

Lernideen und Beratung GmbH

EVONIK

Degussa GmbH

Infracor

GmbH

Provadis

Partner für Bildung & Beratung

Chemie-Stiftung

Sozialpartner-Akademie

3. Auflage 2014

Druck 5 4

Alle Drucke derselben Auflage sind parallel einsetzbar, da sie bis auf die Behebung von Druckfehlern untereinander unverändert sind.

ISBN 978-3-8085-7079-1

Alle Rechte vorbehalten. Das Werk ist urheberrechtlich geschützt. Jede Verwertung außerhalb der gesetzlich geregelten Fälle muss vom Verlag schriftlich genehmigt werden.

Umschlaggestaltung: CREOS Lernideen und Beratung GmbH, 33602 Bielefeld, unter Verwendung technischer Zeichnungen der Autoren.

© 2014 by Verlag Europa-Lehrmittel, Nourney, Vollmer GmbH & Co. KG, 42781 Haan-Gruiten
<http://www.europa-lehrmittel.de>

Satz: Typework Layoutsatz & Grafik GmbH, 86167 Augsburg
Druck: Triltsch Print und digitale Medien GmbH, 97199 Ochsenfurt-Hohestadt

Inhalt

VORWORT	8
1 ROHRLEITUNGEN UND ROHRLEITUNGSSYSTEME	9
1.1 Allgemeines	9
1.1.1 Werkstoff	9
1.1.2 Nenndruck	10
1.1.3 Nennweite	11
1.1.4 Temperatur	11
1.1.5 Strömungsvorgänge	12
1.1.6 Rohrnetzkenlinie	14
1.2 Rohrverbindungen	15
1.2.1 Allgemeine Unterteilung	15
1.2.2 Lösbare Verbindungen	16
1.2.3 Nichtlösbare Verbindungen	19
1.3 Flanschverbindung	20
1.3.1 Bauarten	20
1.3.2 Schrauben	21
1.3.3 Montage	24
1.3.4 Werkzeug	27
1.3.5 Undichte Flanschverbindungen	28
1.4 Verbindungselemente für Rohrleitungen	29
1.4.1 Fittings	29
1.4.2 Rohrverschraubungen	30
1.5 Isometrie einer Rohrleitung	30
1.5.1 Blickwinkel und Betrachterpunkt	33
1.5.2 Isometrische Schraffur	34
1.5.3 Maße, Strichstärken und graphische Symbole in isometrischen Zeichnungen	36
1.5.4 Fehlersuche in isometrischen Zeichnungen	38
1.6 Rohrsysteme	39
1.6.1 Längenausdehnung	39
1.6.2 Rohrbefestigungen	40
1.6.3 Grafische Symbole	41
1.6.4 Kennzeichnung nach dem Durchflussstoff	41
1.7 Fragen zum Kapitel Rohrleitungen und Rohrleitungssysteme	43
2 ARMATUREN	44
2.1 Einführung	44
2.2 Einteilung der Armaturen nach dem Aufbau	44
2.2.1 Anforderungen an Armaturen	45
2.2.2 Dichtheit nach außen	46
2.2.3 Dichtheit nach innen	47
2.2.4 Druckverluste in Armaturen	47
2.2.5 Eigenschaften der Armaturen (Grundbauarten)	48
2.3 Armaturengrundbauarten	48
2.3.1 Allgemeine Unterteilung	48
2.3.2 Ventile	49
2.3.3 Schieber	53

2.3.4	Hahn	56
2.3.5	Klappe	59
2.3.6	Membranarmatur	62
2.4	Sonderarmaturen	64
2.4.1	Schauglas	64
2.4.2	Schmutzfänger	64
2.4.3	Probenahmeventil	65
2.5	Störungen an Armaturen	65
2.5.1	Allgemeines	65
2.5.2	Ursachen für Schäden an Armaturen	65
2.5.3	Maßnahmen zur Verminderung/Vermeidung von Schäden	66
2.6	Grafische Symbole	67
2.6.1	Armaturen	67
2.6.2	Stellglieder	68
2.7	Fragen zum Kapitel Armaturen	69
3	SICHERHEITSARMATUREN	70
3.1	Einführung	70
3.2	Sicherheitsventil	70
3.2.1	Unterteilung nach der Bauart	70
3.2.2	Öffnungscharakteristik	71
3.2.3	Einsatzhinweise	72
3.3	Berstsicherung	73
3.3.1	Unterteilung nach der Bauart	73
3.3.2	Einsatzhinweise	74
3.4	Kondensatableiter	74
3.4.1	Unterteilung nach der Bauart	75
3.4.2	Ausführungen von Kondensatableitern	76
3.4.3	Einsatzhinweise	78
3.5	Rückflussverhinderer	78
3.5.1	Unterteilung nach Bauarten	78
3.5.2	Einsatzhinweise	79
3.6	Be- und Entlüftungsventile	80
3.6.1	Belüftungsventil	80
3.6.2	Entlüftungsventil	80
3.7	Explosionssicherungen	81
3.7.1	Flammendurchschlagsicherungen	82
3.7.2	Druckentlastung bei Staubexplosion	84
3.8	Fragen zum Kapitel Sicherheitsarmaturen	84
4	DICHTUNGEN UND DICHTUNGSSYSTEME	85
4.1	Allgemeines zu Dichtungen	85
4.1.1	Aufgaben von Dichtungen	85
4.1.2	Einteilung von Dichtungen	85
4.1.3	Abdichtung statischer Dichtflächen	85
4.1.4	Abdichtung dynamischer Dichtflächen	87
4.2	Statische Dichtungen	88
4.2.1	Flachdichtungen	89
4.2.2	Profildichtungen	90
4.2.3	Schweißringdichtungen	91

4.2.4	Dichtmasse	92
4.2.5	Membrane und Balg	92
4.3	Dichtungen in Flanschverbindungen	92
4.3.1	Formen der Dichtflächen	92
4.3.2	Einbauarten von Flanschdichtungen	93
4.3.3	Dichtungsflächenpressung	94
4.3.4	Schraubenkraft und Drehmoment	96
4.3.5	Undichte Flanschverbindungen	99
4.4	Dynamische Dichtungen an Pumpen	100
4.4.1	Packungsabdichtung (Stopfbuchse)	100
4.4.2	Gleitringdichtungen	102
4.4.3	Dynamische Dichtungen an Kolbenpumpen	108
4.5	Fragen zum Kapitel statische und dynamische Dichtungen	109
5	ALLGEMEINE GRUNDLAGEN DER FÖRDERTECHNIK	110
5.1	Definitionen	110
5.1.1	Kraft	110
5.1.2	Arbeit	110
5.1.3	Energie	110
5.2	Physikalische Grundlagen der Förderung	111
5.3	Grundprinzip der Förderung (Arbeitsweise)	112
5.3.1	Fliehkraftprinzip	112
5.3.2	Verdrängungsprinzip	112
5.3.3	Bernoulli-Prinzip	112
5.4	Fördern von festen Stoffen	112
5.4.1	Diskontinuierliches Fördern	113
5.4.2	Kontinuierliches Fördern	113
5.4.3	Fördern mit Maschinen	113
5.5	Fördern von Flüssigkeiten	117
5.5.1	Fördern durch Gefälle	117
5.5.2	Fördern mit einem Heber	117
5.5.3	Fördern mit Druck	118
5.5.4	Fördern mit Vakuum	118
5.5.5	Fördern durch Pumpen	119
5.6	Fördern von Gasen	119
5.6.1	Einteilung der Einrichtungen zum Fördern von Gasen	121
5.6.2	Verdichter	122
5.6.3	Gebläse	124
5.6.4	Ventilatoren	124
5.6.5	Vakuumerzeuger	125
5.7	Fragen zum Kapitel Fördertechnik	128
6	PUMPENTECHNIK	129
6.1	Grundlagen der Pumpentechnik	129
6.2	Einteilung der Pumpen	129
6.2.1	Verdrängermaschinen	130
6.2.2	Strömungsmaschinen	130
6.3	Einteilung der Pumpen nach ihrem Wirkprinzip	131
6.3.1	Strömungspumpen (nicht selbst ansaugend)	131
6.3.2	Strömungspumpen (selbst ansaugend)	132

6.3.3	Verdrängerpumpen (schwingend bzw. oszillierend)	132
6.3.4	Verdrängerpumpen (rotierend)	132
6.4	Einteilung der Pumpen nach der Aufstellungsart	134
6.4.1	Grundplattenpumpe	134
6.4.2	Blockpumpe	134
6.4.3	Inlinepumpe	134
6.4.4	Vertikalpumpe	135
6.4.5	Tauchmotorpumpe	135
6.4.6	Tauchpumpen	135
6.5	Einteilung der Pumpen nach ihrer Dichtungsart	135
6.5.1	Pumpen mit Wellenabdichtung	135
6.5.2	Pumpen ohne Wellenabdichtung	135
6.5.3	Pumpen mit Permanentmagnetkupplung (Magnetpumpen)	135
6.6	Wichtige grafische Symbole	136
6.7	Hermetisch dichte Pumpen	136
6.7.1	Aufbau von Pumpen mit Spalttopf	136
6.7.2	Aufbau von Pumpen mit Spaltrohr	137
6.8	Kupplungen	137
6.8.1	Betrieb, Störungen und Ursachen	138
6.8.2	Betrieb nach Zerstörung der elastischen Pakete	139
6.8.3	Wartung und Instandhaltung von Kupplungen	139
6.8.4	Berührungsschutz an einer Kupplung	140
6.9	Bestimmen der Förderhöhe einer Pumpe	141
6.10	Fragen zum Kapitel Pumpentechnik	143
7	SPEZIELLE PUMPEN- UND VERDICHTERTECHNIK	144
7.1	Kreiselpumpen	144
7.1.1	Wirkungsweise einer Kreiselpumpe	144
7.1.2	Aufbau von Kreiselpumpen	144
7.1.3	Förderprinzip der Kreiselpumpe	145
7.1.4	Bauformen	145
7.1.5	Kennlinien	147
7.1.6	Energieeinsatz bei Kreiselpumpen	150
7.1.7	Anfahrvorschrift für Kreiselpumpen (allgemein)	154
7.1.8	Fehler und Auswirkungen beim Anfahren von Kreiselpumpen	157
7.1.9	Störungen beim Betreiben von Kreiselpumpen	160
7.2	Seitenkanalpumpen	162
7.2.1	Aufbau der Seitenkanalpumpe	162
7.2.2	Förderprinzip der Seitenkanalpumpe	163
7.2.3	Gasförderung in Seitenkanalpumpen	165
7.2.4	Anfahrvorschrift für Seitenkanalpumpen (allgemein)	166
7.2.5	Fehler und Auswirkungen beim Anfahren von Seitenkanalpumpen	167
7.2.6	Störungen beim Betreiben von Seitenkanalpumpen	167
7.2.7	Betriebseigenschaften von Seitenkanalpumpen	169
7.3	Kolbenpumpen	169
7.3.1	Förderprinzip einer Kolbenpumpe	170
7.3.2	Aufbau einer Kolbenpumpe	171
7.3.3	Kolbenhub und Kennlinien	173
7.3.4	Vor- und Nachteile von Kolbenpumpen	175

7.3.5	Anfahrvorschrift für Kolbenpumpen (allgemein)	175
7.3.6	Fehler und Auswirkungen beim Anfahren von Kolbenpumpen	176
7.3.7	Störungen beim Betreiben von Kolbenpumpen	176
7.4	Flüssigkeitsringverdichter	179
7.4.1	Funktionsprinzip der Flüssigkeitsringverdichter (Flüssigkeitsringpumpe)	179
7.4.2	Arbeitsweise von Flüssigkeitsringverdichtern	180
7.4.3	Betriebsflüssigkeit	181
7.4.4	Flüssigkeitsabscheider	181
7.4.5	Betriebsarten	182
7.4.6	Störungen beim Betreiben von Flüssigkeitsringverdichtern	183
7.5	Fragen zum Kapitel Spezielle Pumpen- und Verdichtertechnik	183
8	WERKSTOFFE UND WERKSTOFFZERSTÖRUNG	185
8.1	Einteilung der Werkstoffe	185
8.2	Eigenschaften der Werkstoffe	185
8.2.1	Arten der Werkstoffbelastung	186
8.2.2	Plastizität und Elastizität	186
8.2.3	Zugfestigkeit	187
8.2.4	Härte	188
8.3	Metalle	188
8.3.1	Eisenmetalle	188
8.3.2	Gusseisen (> 1,7 % C)	189
8.3.3	Stahlwerkstoffe (< 1,7 % C)	190
8.3.4	Nichteisenmetalle	195
8.3.5	Schwermetalle	196
8.3.6	Leichtmetalle	200
8.4	Nichtmetalle	202
8.4.1	Organische Werkstoffe	202
8.4.2	Anorganische Werkstoffe	207
8.5	Verbundwerkstoffe	208
8.5.1	Wirkung der am Verbund beteiligten Stoffe	208
8.5.2	Aufbau der Verbundwerkstoffe	209
8.6	Werkstoffzerstörung	209
8.6.1	Physikalische Werkstoffzerstörung	209
8.6.2	Chemische Werkstoffzerstörung durch Korrosion	210
8.7	Fragen zum Kapitel Werkstoffe und Werkstoffzerstörung	212
9	KORROSIONSSCHUTZ	214
9.1	Nichtmetallische Beschichtungen	214
9.1.1	Organische Beschichtungen	214
9.1.2	Anorganische Beschichtungen	214
9.2	Metallische Beschichtungen	215
9.3	Konstruktiver und kathodischer Korrosionsschutz	216
9.4	Fragen zum Kapitel Korrosionsschutz	217
	ABBILDUNGSVERZEICHNIS	218
	SACHWORTVERZEICHNIS	219

Vorwort

E-Learning für Chemieberufe

Viele Themenbereiche aus der Rohrsystemtechnik lassen sich mit klassischen medialen Elementen wie Fotos, Graphiken und Texten nur zu einem gewissen Anteil plakativ beschreiben. Das Zusammenspiel von funktionalen Zusammenhängen oder Prozessen erfordert mit zunehmender Komplexität der zu vermittelnden Lerninhalte ein hohes Abstraktionsvermögen, bleibt also letztlich der Vorstellungskraft des Lernenden überlassen. Da diese Fähigkeit nicht allgemein vorausgesetzt werden kann, sind neue Konzepte und didaktische Ansätze gefragt, die die Leistungsfähigkeit eines Buches in der Wissensvermittlung durch den Einsatz moderner Medien ergänzen und so ein weitergehendes Verständnis erzeugen sowie die Nachhaltigkeit des Lernprozesses verbessern können.

Das vorliegende Lehrbuch ist Bestandteil eines solchen medienübergreifenden Wissenstransfers. Der Lernstoff orientiert sich eng an den Ausbildungsordnungen typischer Berufsbilder der Branche, wie Chemikant, Pharmakant oder Produktionsfachkraft, aber auch der Instandhaltungsberufe in der Chemischen Industrie (Industriemechaniker und Anlagenmechaniker) sowie auch anteilig der Laborberufe. Das Konzept besticht durch eine sinnvolle Ergänzung des Lernstoffes mit interaktiven Lernmedien. Diese optionalen, interaktiven Softwaremodule unterstützen den Lernprozess durch das Überwinden genau jener „Verständnisgrenze“, die ein weitreichendes Abstraktionsvermögen voraussetzt. Prozesse und Apparaturen aus dem chemischen Betriebs- und Laboralltag werden durch Animationen geschickt in Szene gesetzt beziehungsweise dem Verstehen zuträglich visualisiert.

Dieses sehr praxisnahe Lehrbuch umfasst alle Teilbereiche der Rohrsystemtechnik, die im Rahmen des Projektes **E-Learning für Chemieberufe** (ELCH) erarbeitet wurden. Die wissenschaftliche Begleitung, die den Projektverlauf und die Erstellung der Inhalte unterstützte, sichert die Qualität der Lösungen in Hinblick auf Mediendidaktik und Ergonomie. In der dritten Auflage wurden die Regelungen in der Normung und Kennzeichnung, beispielsweise von graphischen Symbolen aktualisiert und als zusätzliche Themengebiete Isometrien von Rohrleitungssystemen und Leistungskennzahlen bei Pumpen eingefügt.

Das mit Unterstützung des Bundesministeriums für Bildung und Forschung sowie Mitteln des Europäischen Sozialfonds geförderte Projekt ELCH ist der erfolgreiche Versuch, ein umfassendes Lernszenario zu schaffen, das bewährte Medien mit ansprechenden, digitalen Lernmedien kombiniert.

Die Autoren des Konsortiums ELCH

Sommer 2014

1 Rohrleitungen und Rohrleitungssysteme

1.1 Allgemeines

Rohrleitungen sind rohrförmige Bauteile, die einzelne Anlagenteile miteinander verbinden. Ihre Aufgabe besteht darin, das Medium zu führen und fortzuleiten. Rohrleitungen werden in zwei Hauptgruppen unterteilt: die Produktionsleitungen und die Transportleitungen. Produktionsleitungen sind Rohrleitungen, die innerhalb des Produktionsbetriebes benötigt werden. Als Transportleitungen werden die Rohrleitungen bezeichnet, die für die Weiterleitung des Mediums über größere Entfernung eingesetzt werden (Pipelines).

Da es sich bei Rohrleitungen in Chemieanlagen um geschlossene Systeme handelt, werden diese Rohrleitungen auch als Rohrleitungssysteme oder Rohrnetze bezeichnet.

In der chemischen Produktionsanlage werden Rohrleitungen bestimmten betrieblichen Anforderungen ausgesetzt, wie z. B.

- den chemischen Einflüssen des zu fördernden Mediums
- der Temperatur des zu fördernden Mediums
- dem Druck des zu fördernden Mediums
- der Strömungsgeschwindigkeit des zu fördernden des Mediums.



Abbildung 1-1 Rohrleitungen im Chemiepark Marl

Die betrieblichen Anforderungen haben Einfluss auf die Auswahl von

- Werkstoff
- Wandstärke und
- Nennweite der erforderlichen Rohrleitung.

Die konstruktive Auslegung einer Rohrleitung, wie z. B. Wandstärke und Werkstoff, wird ggf. in einer firmenspezifischen Rohrklassenauswahl definiert.

1.1.1 Werkstoff

Die Auswahl des Werkstoffes (z. B. Stahl, Edelstahl, Kupfer, PVC, Glas) für eine Rohrleitung richtet sich nach folgenden Anforderungen:

- statische und dynamische Belastungen
z. B. maximaler Betriebsdruck, wechselnde Druckbelastung

beispielsweise ist geeignet:

Material	Eigenschaft	Einsatz
Edelstahl	hohe Zugfestigkeit	produktführende Rohrleitungen im Betrieb

- mechanische Belastungen
z. B. Fließgeschwindigkeit, Abriebfestigkeit

beispielsweise ist geeignet:

Material	Eigenschaft	Einsatz
Stahl	abriebfeste Oberfläche	Rohrleitung für Flüssigkeiten, die feste Partikel enthalten

- Korrosionsbeständigkeit

beispielsweise ist geeignet:

Material	Eigenschaft	Einsatz
Glas	beständig gegen konzentrierte Säuren	Reaktionsbehälter

- Wärmeleitfähigkeit

beispielsweise ist geeignet:

Material	Eigenschaft	Einsatz
Aluminium	gute Wärmeleitfähigkeit	Wärmetauscher

- elektrische Leitfähigkeit

beispielsweise **nicht** geeignet ist:

Material	Eigenschaft	Einsatz
PVC	statische Aufladung	kein Einsatz in explosionsgeschützten Anlagen

1.1.2 Nenndruck

Der Nenndruck (PN, Pressure Nominal) ist das Kennzeichen für eine Nenndruckstufe und gibt an, bis zu welchem inneren Überdruck das Rohrleitungssystem maximal belastet werden darf. Der Nenndruck wird ohne Einheit angegeben, die Zahl bezieht sich dabei auf die Einheit bar. Die Nenndruckangabe gilt immer für eine Betriebstemperatur von 20 °C.

Die Nenndruckstufen sind auf eine in der betrieblichen Praxis sinnvolle Anzahl festgelegt worden. In der DIN EN 1333 ist die Definition und Auswahl des Nenndrucks (PN) beschrieben. Folgende Nenndruckstufen können gewählt werden:

PN 2,5	PN 25	PN 160
PN 6	PN 40	PN 250
PN 10	PN 63	PN 320
PN 16	PN 100	PN 400

1.1.3 Nennweite

Rohrleitungen werden in Durchmessern von wenigen Millimetern bis zu einigen Metern ausgeführt. Die Rohrleitungen aus Stahl lassen sich in zwei Gruppen einteilen:

- Rohre für allgemeine Verwendung und
- Präzisionsrohre.

Die **Rohre für die allgemeine Verwendung** werden durch die Nennweite (DN, Diameter Nominal) charakterisiert. Sie ist eine Kenngröße und hat keine Einheit. In der Rohrbezeichnung wird die Kenngröße als dimensionslose ganze Zahl hinter das Kurzzeichen DN geschrieben. Jeder Nennweite ist eine definierte Anschlussgröße zugeordnet. Die Nennweiten sind so abgestuft, dass sich die Förderkapazität der Rohrleitung von Nennweite zu Nennweite um etwa 60–100 % erhöht.

Tabelle 1-1 Nennweiten und Durchmesser

Nennweite DN	Ø-Außen	Nennweite DN	Ø-Außen
10	17,2	150	168,3
15	21,3	200	219,1
20	26,9	250	273
25	33,7	300	323,9
32	42,4	350	355,6
40	48,3	400	406,4
50	60,3	450	457
65	76,1	500	508
80	88,9	600	610
100	114,3	700	711
125	139,7	800	813

Je nach Wandstärke der Rohrleitung verringert sich ausgehend vom Außendurchmesser einer bestimmten Nennweite der Rohrleitungsquerschnitt. Für Rohre der allgemeinen Verwendung gibt es unterschiedliche Rohrformstücke. Für Trinkwasserleitungen werden auch verzinkte Stahlrohre mit Gewindeanschlüssen angeboten.

Bei **Präzisionsrohren** wird der Rohraußendurchmesser in ganzen Millimetern angegeben, z. B. Ø6, Ø8, Ø10, Ø12, Ø14, Ø16 usw. Auch diese Rohre werden mit verschiedenen Wandstärken gefertigt.

1.1.4 Temperatur

Die Temperatur, mit der das Fluid durch das Rohrleitungssystem fließt, hat Einfluss auf die Festigkeit des Werkstoffs. Dies wirkt sich in der Folge auf den zulässigen Betriebsüberdruck, mit dem das System betrieben werden darf, aus.

Die Betriebstemperatur, für die der Nenndruck (PN) gilt, ist mit 20 °C festgelegt. Erhöht sich die Temperatur, verringert sich die Festigkeit des Werkstoffes und damit auch die maximal zulässige Druckbelastung der Rohrleitung. Dieser Zusammenhang muss vom Konstrukteur eines Rohrleitungssystems beachtet werden.

In der Abbildung 1-2 ist die Abhängigkeit des zulässigen Betriebsüberdrucks von der Temperatur dargestellt. Verglichen werden zwei Materialien, die für Rohrleitungen häufig verwendet werden. Bei dem

Werkstoff mit der Nummer 1.0038 handelt es sich um Baustahl, die Werkstoffnummer 1.4571 steht für einen nichtrostenden Chrom-Nickel-Stahl (X6CrNiMoTi17-12-Z).

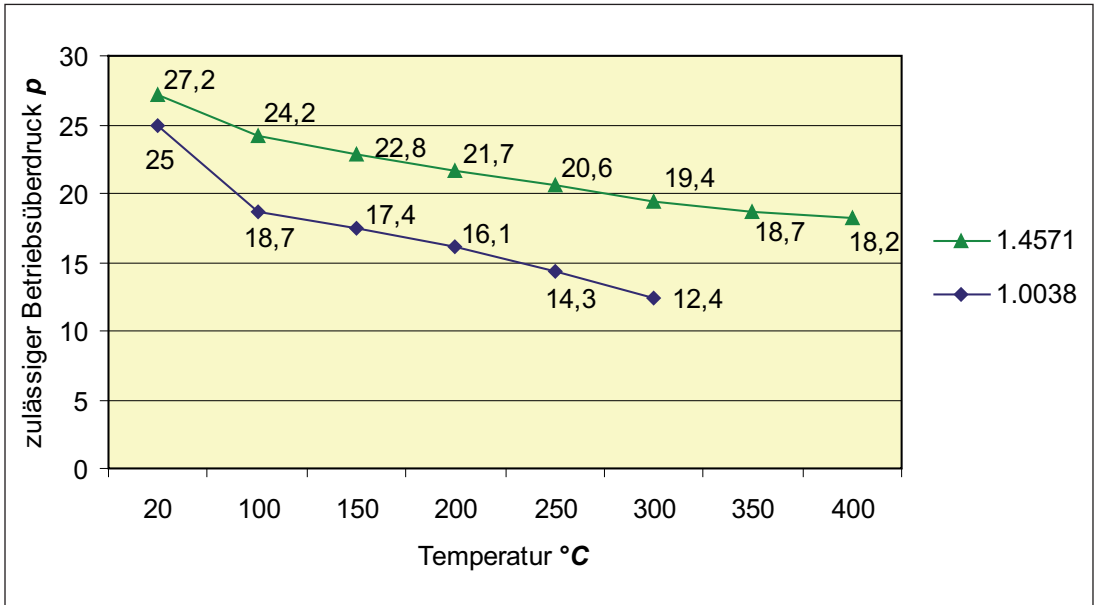


Abbildung 1-2 Abhängigkeit des zulässigen Betriebsüberdrucks von der Temperatur

1.1.5 Strömungsvorgänge

Bei den Strömungsvorgängen in Rohrleitungen werden zwei Strömungsarten unterschieden:

- laminare Strömungen und
- turbulente Strömungen.

Bei der **laminaren Strömung** bewegen sich die Flüssigkeitsteilchen in gleichmäßigem Abstand von der Rohrwandung in axialer Richtung. Laminare Strömung entsteht, wenn sowohl die Widerstände als auch die Strömungsgeschwindigkeiten entlang der Rohrleitung klein sind.

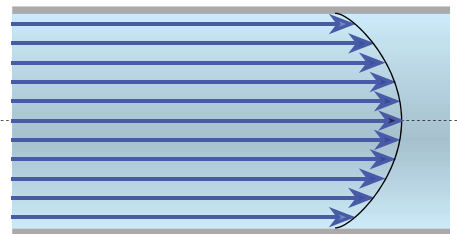


Abbildung 1-3 laminare Strömung

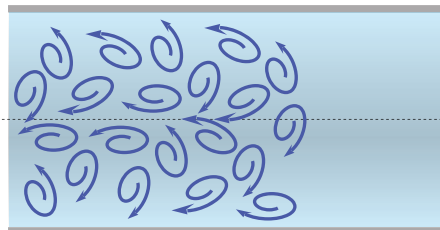


Abbildung 1-4 turbulente Strömung

Bei der **turbulenten Strömung** bewegen sich die Flüssigkeitsteilchen mit ständig unterschiedlichen Abständen von der Rohrwandung in axialer Richtung. Die turbulente Strömung entsteht bei großer Strömungsgeschwindigkeit und wird durch Widerstände in der Rohrleitung (raue Wandung, Einbauten wie Absperrorgane, Messungen usw.) begünstigt.

Geschwindigkeit

Die Geschwindigkeit, mit der sich eine Flüssigkeit oder ein Gas durch eine Rohrleitung bewegt, wird als Strömungsgeschwindigkeit bezeichnet. Sie ist innerhalb eines Rohrleitungssystems an großen Querschnitten klein und an kleinen Querschnitten groß. Die Strömungsgeschwindigkeit wird gemessen in m/s und hat das Formelzeichen v .

$$\text{Geschwindigkeit, } v = \frac{s}{t}$$

mit s = Weg (zurückgelegte Strecke)
 t = Zeit

Volumenstrom

Der Volumenstrom beschreibt das Volumen, welches in einer bestimmten Zeit durch eine Rohrleitung strömt. Der Volumenstrom ist an jeder Stelle innerhalb eines Rohrleitungssystems gleich groß. Er wird gemessen in Volumeneinheit pro Zeit (L/s oder m³/h) und hat das Formelzeichen \dot{V} .

$$\text{Volumenstrom, } \dot{V} = A \cdot v$$

mit A = Fläche des Rohrquerschnitts an der Betrachtungsstelle
 v = Strömungsgeschwindigkeit

Massenstrom

Die Masse, die in einer bestimmten Zeit eine Rohrleitung durchströmt, wird als Massenstrom bezeichnet. Der Massenstrom ist an jeder Stelle innerhalb eines Rohrleitungssystems gleich groß. Er wird gemessen in Masse pro Zeit (kg/s oder t/h) und hat das Formelzeichen \dot{m} .

$$\text{Massenstrom, } \dot{m} = \dot{V} \cdot \rho$$

mit ρ = Dichte der Flüssigkeiten

Kontinuitätsgleichung

In den Teilabschnitten einer Rohrleitung ist der Volumenstrom $\dot{V} = A \cdot v$ immer gleich. Ändert sich der Querschnitt einer Rohrleitung, so ändert sich auch die Strömungsgeschwindigkeit v .

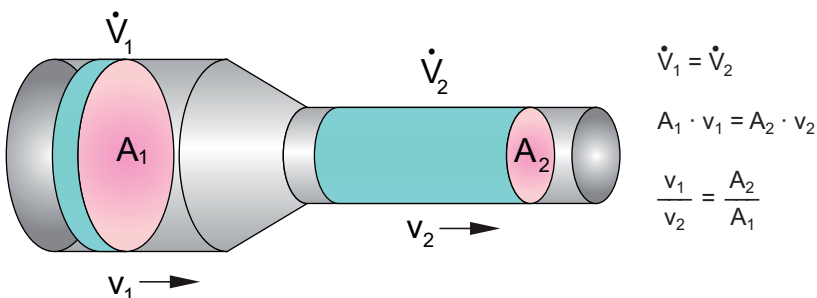


Abbildung 1-5 Kontinuitätsgleichung

Die Strömungsgeschwindigkeiten verhalten sich also umgekehrt proportional zu den entsprechenden Leitungsquerschnittsflächen (A).

Beispiel Berechnung der Strömungsgeschwindigkeit

In einer Rohrleitung mit der Nennweite DN 50 strömt ein Medium mit einer Geschwindigkeit von $v_1 = 1,56$ [m/s]. Welche Strömungsgeschwindigkeit hat der Stoff, wenn die Rohrleitung sich auf DN 25 verengt?

$$\begin{array}{ll} v_1 = 1,56 \text{ [m/s]} & d_1 = 54,5 \text{ [mm]} \\ & \text{(DN 50: } d = 60,3 \text{ [mm]} - 2 \cdot 2,9 \text{ [mm] Wandstärke)} \\ v_2 = ? \text{ [m/s]} & d_2 = 27,9 \text{ [mm]} \\ & \text{(DN 25: } d = 33,7 \text{ [mm]} - 2 \cdot 2,9 \text{ [mm] Wandstärke)} \end{array}$$

Es gilt:

$$\dot{V}_1 = \dot{V}_2 \quad \text{und} \quad A_1 \cdot v_1 = A_2 \cdot v_2$$

damit folgt:

$$A_1 \cdot v_1 = A_2 \cdot v_2 \quad \left| A = \frac{d^2 \cdot \pi}{4} \text{ in die Formel einsetzen} \right.$$

$$\frac{d_1^2 \cdot \pi}{4} \cdot v_1 = \frac{d_2^2 \cdot \pi}{4} \cdot v_2 \quad \text{nach der gesuchten Größe umstellen (} v_2 \text{)}$$

$$v_2 = \frac{d_1^2 \cdot v_1}{d_2^2}$$

Nach Einsetzen der Zahlenwerte $v_1 = 1,56$ [m/s]; $d_1 = 54,5$ [mm] und $d_2 = 27,9$ [mm] folgt

$$v_2 = \frac{(54,5 \text{ [mm]})^2 \cdot 1,56 \text{ [m} \cdot \text{s}^{-1}\text{]}}{(27,9 \text{ [mm]})^2}$$

$$v_2 = \frac{2.970 \text{ [mm}^2\text{]} \cdot 1,56 \text{ [m} \cdot \text{s}^{-1}\text{]}}{778 \text{ [mm}^2\text{]}}$$

$$\text{also } v_2 = 6,0 \left[\frac{\text{m}}{\text{s}} \right].$$

Die Leitung DN 25 ist im Durchmesser nur etwa halb so groß (um das Zweifache kleiner) wie die Leitung DN 50. Die Strömungsgeschwindigkeit erhöht sich jedoch fast um das Vierfache, weil sich die Querschnittsfläche der Rohrleitung auf annähernd ein Viertel verkleinert.

1.1.6 Rohrnetzkenlinie

Der Stoffstrom in einem Rohrnetz wird durch Reibungsvorgänge nachteilig beeinflusst. Erkennbar ist dies am Druckverlust entlang einer Rohrleitung. Die Höhe des Druckverlustes ist unter anderem abhängig von:

- der Rauigkeit der Rohrwandung,
- den Einbauten, z. B. Absperrorgane, Sicherheitsorgane, Thermometerstutzen,
- der Viskosität und der Dichte des Fördermediums und
- der Fließgeschwindigkeit bzw. dem Volumenstrom.

Diese „Behinderungen“ des Stoffstromes finden Ausdruck in der Rohrnetzkenlinie (oder Anlagenkenlinie, Abbildung 1-6).

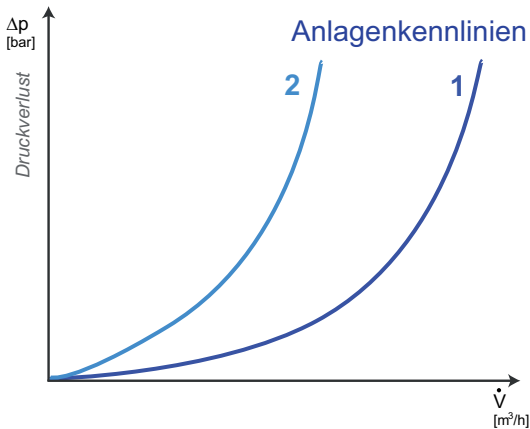


Abbildung 1-6 Anlagenkennlinien

Die Rohrnetzkenlinie stellt den Zusammenhang zwischen dem Druckverlust in der Rohrleitung und dem Volumenstrom dar.

Abbildung 1-6 lässt folgende Schlussfolgerungen zu:

- Rohrnetz 2 hat einen höheren Druckverlust als Rohrnetz 1
- Rohrnetz 2 hat einen höheren Widerstand als Rohrnetz 1 (z. B. mehr Ventile, kleinerer Durchmesser)

1.2 Rohrverbindungen

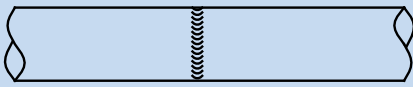
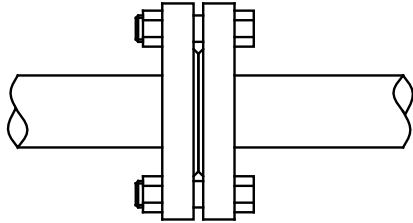
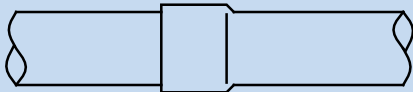


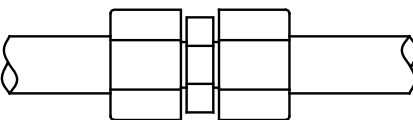
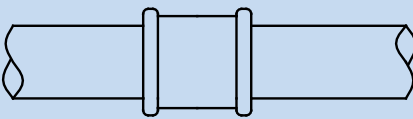
Um einzelne Rohrleitungen miteinander zu verbinden, sind viele verschiedene Verbindungsarten in Gebrauch, wobei von allen Verbindungsarten möglichst gute Dichtheit gefordert wird.

Es werden aber nicht nur die Rohrleitungen miteinander verbunden, sondern in der gleichen Weise auch die zu den Rohrsystemen gehörenden Einbauten (z. B. Armaturen).

1.2.1 Allgemeine Unterteilung

Die Rohrleitungsverbindungen werden in zwei verschiedene Hauptgruppen unterteilt: lösbare und nicht lösbare Verbindungen.

Tabelle 1-2 Rohrverbindungen

Rohrverbindung	Grafische Darstellung	lösbar / nicht lösbar
Schweißverbindung		nicht lösbar
Flanschverbindung		lösbar
Muffenverbindung		lösbar
Klebeverbindung		nicht lösbar
Schraubverbindung mit Abdichtung im Gewinde		lösbar
Rohrverschraubung		lösbar
Pressverbindung		nicht lösbar

1.2.2 Lösbare Verbindungen

Die Muffenverbindung findet in der chemischen Anlage fast keine Verwendung. Sie findet Anwendung im Bereich der Abwasserleitungen, z. B. aus Kunststoff oder Beton. Muffenverbindungen dürfen nur geringem Druck (wenige mbar Überdruck) ausgesetzt werden.

Flanschverbindungen, als eine weitere Form der lösbaren Verbindungen, werden gesondert in Kapitel 1.3 beschrieben.

Rohrverschraubung

Die Rohrverschraubung besteht aus einer Überwurfmutter, einem Schneidring bzw. Klemmrings und dem Verbindungskörper. Die Dichtheit wird durch das Anziehen der Überwurfmutter auf den Körper erzielt, wobei der Schneidring oder die Klemmrings als Dichtelement dienen. Diese Rohrverbindungen zeichnen sich dadurch aus, dass sie oft wiederverwendet werden können.

Beispiel Schneidringverbindung

Beim Anziehen der Verschraubung dringt der Schneidring begrenzt in das Rohr ein und verformt es geringfügig. Die Abdichtung der Rohrverschraubung erfolgt durch die Einschnürung und durch die konischen Flächen zwischen Verschraubung und Schneidring.

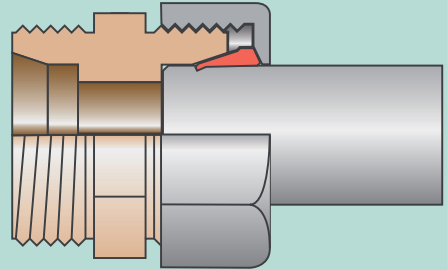


Abbildung 1-7 Schema einer Schneidringverbindung

Beispiel Klemmringverbindung

Beim Anziehen der Verschraubung wird der vordere Klemmring elastisch verformt, während er sich beim Abdichten in die Oberflächen des Rohres einprägt. Der hintere Ring klemmt das Rohr in einem Bereich kurz außerhalb des Punkts ein, an dem die Nase des Klemmrings das Rohr hält. Durch den hinteren Ring steigt die Beständigkeit der Verbindung gegen Vibrationen.

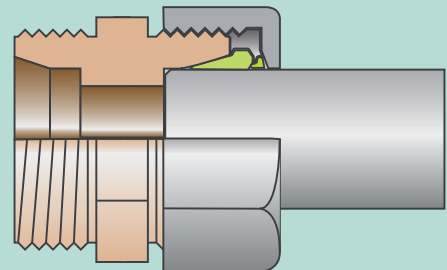


Abbildung 1-8 Schema einer Klemmringverbindung

Bei der Erstmontage wird das Rohrende bis zum Anschlag in die Rohrverschraubung geschoben und die Überwurfmutter fingerfest angezogen. Danach wird mit dem Maulschlüssel die Überwurfmutter angezogen. Bei der Montage der Rohrverschraubung oder der wiederholten Montage ist auf die Herstellerangaben in Bezug auf die Umdrehungszahl beim Anziehen der Überwurfmutter zu achten. Weiterhin darf das Rohr im Bereich der Verschraubung keine Beschädigungen aufweisen, denn diese können zu einer Undichtigkeit führen.

Tabelle 1-3 Schneidring und Klemmring im Vergleich

Verbindung	Vorteile	Nachteile
Schneidring	<ul style="list-style-type: none"> • geringe Anschaffungskosten in unlegierter Stahlausführung • keine Querschnittsänderung im Innendurchmesser • für hohe Drücke geeignet 	<ul style="list-style-type: none"> • nicht selbstsichernd • Einsatz nur bis zu mittleren Rohrdurchmessern möglich
Klemmring	<ul style="list-style-type: none"> • selbstsichernd • kein „Fressen“ des Gewindes, da Oberfläche versilbert • für hohe Drücke geeignet 	<ul style="list-style-type: none"> • höhere Anschaffungskosten gegenüber der Schneidringverbindung • leichte Einwölbung im Innendurchmesser • Einsatz nur bis zu mittleren Rohrdurchmessern möglich

Die Rohrdurchmesser (Außen – Ø in mm) für sämtliche Verschraubungen sind in einer DIN-Norm geregelt, in der die bevorzugten Rohrdurchmesser mit Ø3, Ø4, Ø5, Ø6, Ø8, Ø10, Ø12, Ø14, Ø16, Ø20, Ø25, Ø30 und Ø38 angegeben werden.

Schraubverbindung mit Abdichtung im Gewinde

Rohrleitungen, die Trinkwasser, Brauchwasser oder Heizgas führen, werden häufig mit sogenannten Gewindefittings verbunden. Das Gewinde am Ende der Rohrleitung und der Gewindefittings ist ein Whitworth-Rohrgewinde. Das Innengewinde ist zylindrisch und je nach Ausführung kann das Außengewinde zylindrisch oder kegelförmig sein. Die Abmessungen des Whitworth-Rohrgewindes werden in Zoll angegeben.

Beispiel Schraubverbindung mit Abdichtung im Gewinde

Bei dem Zusammenbau von Rohrteilen wird ein Dichtungsmittel benutzt, das aus Hanf oder PTFE-Band besteht. Das Außengewinde wird vor dem Eindrehen in das Innengewinde mit dem Dichtungsmittel umwickelt. Das Dichtungsmittel sollte nicht zu dick aufgetragen werden, da sonst das Fitting platzen kann.

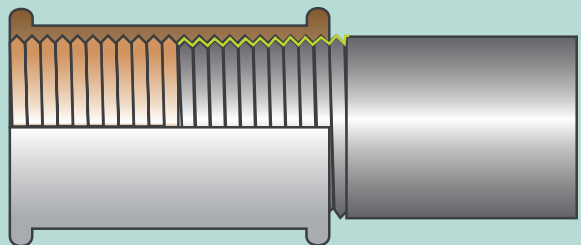


Abbildung 1-9 Schema einer Abdichtung

Exkurs Merksätze beim Eindichten

- Falls erforderlich, sollte das glatte Gewinde mit einem Metallsägeblatt leicht angekratzt werden, ohne dass die Gewindefunktion beeinträchtigt wird. Bei Messing ist dies immer notwendig.
- Beim Abdichten mit Hanf werden vom Zopf mehrere Fäden genommen und nicht miteinander verdreht, sondern breit und dünn belassen.
- Der Hanf oder das PTFE-Band wird vom Rohrende bzw. dem Gewindeanfang im Drehsinn des Gewindes auf das Rohr gewickelt. Der Hanf wird vorher einmal längs über das Gewinde gelegt.
Achtung: Wird der Hanf oder das PTFE-Band andersherum als beschrieben auf das Gewinde gewickelt, kann es sich beim Verschrauben aus dem Gewinde schieben! Zur besseren Dichtheit wird der Hanf (nicht das PTFE-Band) mit einer fetthaltigen Paste bestrichen.
- Das Gewinde darf nie zu weit eingedreht werden, da sonst das Außenteil beschädigt werden kann. Nach dem Verschrauben sollte immer noch der nicht voll ausgeschnittene Gewindeauslauf sichtbar bleiben.
- Mit PTFE-Band abgedichtete Gewinde dürfen überhaupt nicht, mit Hanf abgedichtete Gewinde höchstens eine Vierteldrehung zurückgedreht werden, da sonst die Dichtheit der Verbindung nicht gewährleistet ist.

1.2.3 Nichtlösbare Verbindungen

Schweißverbindung

In der Verbindungstechnik von Rohrleitungen werden Schweißverbindungen bevorzugt verwendet, da sie die kostengünstigste Variante darstellen. Es sind stoffschlüssige Verbindungen und gewährleisten eine absolute Dichtheit. Die thermische und mechanische Belastung von Schweißverbindungen ist vom Schweißwerkstoff, dem Schweißverfahren und den einwandfreien Vorbereitungen der Schweißarbeiten abhängig.

In der Industrie werden Schweißnähte an Rohrleitungen, die für den Transport von gefährlichen Medien vorgesehen sind, mehreren Prüfverfahren unterzogen (z. B. Druckprobe, Röntgen, Lecktest).

Klebeverbindung (Muffe)

Klebeverbindungen in Rohrleitungssystemen werden mit der Hilfe von PVC-Klebemuffen oder PVC-Klebefittings und dem geeigneten Klebstoff hergestellt. Es lassen sich nicht alle Kunststoffe gleich gut und damit einheitlich verbinden. Ursache dafür ist der vielfältige chemische Aufbau der Kunststoffe und die daraus entstehende unterschiedlich hohe Verformung bei mechanischen Spannungen.

Wird mit PVC-Rohr gearbeitet, ist es von Vorteil, einen Kleber mit Lösemittel zu verwenden. Das Lösemittel diffundiert in die Oberfläche der Dichtstelle und begünstigt dadurch die Wechselwirkung zwischen dem Klebstoff und den zu verbindenden Teilen. Diese Art der Klebeverbindung ist mit dem Kunststoffschweißen vergleichbar, da sie aber im kalten Zustand erfolgt, wird von Kleben gesprochen.

Pressverbindung (Muffe)

Die Verbindung von Rohren mit der Hilfe von Pressfittings nimmt in den Bereichen von Trinkwasser, Regenwasser, Heizungstechnik, Druckluft- und Gasleitungen einen immer größeren Stellenwert ein. Mit dem Presswerkzeug (hydraulische Zange) kann die Installation der Rohrleitungen schnell und sauber durchgeführt werden. Die Rohrverbindung wird ohne thermische Belastung des Rohrwerkstoffs hergestellt. Wichtig ist bei Pressverbindungen, dass, entsprechend der zu fördernden Medien, Fitting und O-Ringdichtung richtig gewählt werden. Das Rohr wird bis zum Anschlag in den Fitting (z. B. Muffe) geschoben und dann mit dem Presswerkzeug verpresst. Das Rohr darf keinen scharfen Außengrat besitzen, weil sonst der O-Ring beschädigt wird.

Lötverbindung (Muffe)

Bei der Verbindung von Rohrleitungen durch Löten lassen sich gleiche oder verschiedenartige metallische Werkstoffe miteinander zusammenfügen. Dieses Verfahren wird hauptsächlich bei Kupferrohren eingesetzt. Der Einsatzbereich ist vergleichbar mit dem der Pressverbindungen. Um zu löten, wird immer eine Wärmequelle benötigt, welche das Lot zum Schmelzen bringt.

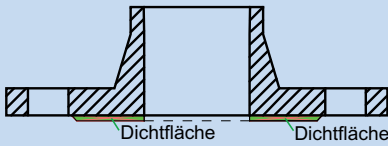
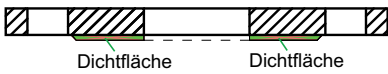
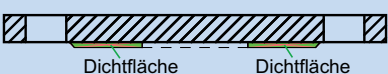
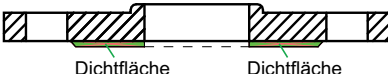


1.3 Flanschverbindung

Flansche sind mit Löchern versehene Scheiben am Ende des Rohres. Sie unterliegen Maßnormen, welche unabhängig von der Bauart der Flansche sind. So können sie bei gleicher Nennweite und gleichem Nenndruck untereinander ausgetauscht werden. Jeder Flansch besitzt eine durch vier teilbare Anzahl von Schraubenlöchern, die gleichmäßig auf dem Flansch verteilt sind.

1.3.1 Bauarten

Je nach Verwendungszweck werden verschiedene Bauarten eingesetzt, die in Tabelle 1-4 aufgeführt sind.

Tabelle 1-4 Flanschverbindungen

Flanschart	Grafische Darstellung	Beschreibung
Vorschweißflansch (Typ 11)		hat einen Ansatz zum Anschweißen und wird am Rohrende angesetzt
glatter Flansch (Typ 01)		hat keinen Ansatz zum Anschweißen; wird zum Verschweißen über das Rohr geschoben
Blindflansch (Typ 05)		so werden Blattflansche bezeichnet, die keine Durchgangsbohrung besitzen und das Rohrende verschließen
Gewindeflansch (Typ 13)		besitzt in der Regel ein Innengewinde (Whitworth), womit er auf das Rohrende geschraubt werden kann
loser Flansch (Bördelflansch; Typ 14)		wird lose über das Rohr geschoben und benötigt zur Befestigung am Rohrende einen Anschweißbördel; bleibt beweglich (drehbar)
Apparateflansch		wird vorzugsweise an Kesseln, Behältern und ähnlichen Bauteilen eingesetzt; besitzt andere Abmessungen

Weiterhin werden Flansche nach der Form ihrer Dichtflächen unterschieden. Die unterschiedlichen Formen der Dichtflächen werden mit Kennbuchstaben versehen. Als Basis für die Maße der Dichtflächen dient immer die Flanschblattdicke. Davon ausgehend werden die entsprechenden Ein- und Ausdrehungen für beispielsweise Nut- und Federausführungen der Dichtfläche vorgenommen.