

# Inhaltsverzeichnis

<b>1</b>	<b>Druckverlustberechnungen in der Praxis</b> .....	15
1.1	Druckverlustberechnungen für Flüssigkeiten .....	15
1.2	Druckverluste von Formstücken und Armaturen im laminaren Bereich .....	21
1.3	Druckverluste in Reduzierungen und Blenden .....	25
1.3.1	Druckverluste in Reduzierungen .....	25
1.3.2	Druckverluste für Reduzierstücke nach DIN 2616/EN 10253 .....	26
1.3.3	Druckverlustberechnungen für Rohrleitungen mit unterschiedlichen Durchmessern .....	28
1.3.4	Druckverlust für ein T-Stück mit reduziertem Abgang .....	30
1.3.5	Druckverlust von Drosselblenden .....	31
1.4	Druckverlustberechnungen für Gase und Dämpfe .....	32
1.5	Dimensionierung von Vakuumleitungen .....	37
1.6	Kompressibilitätsfaktor $z$ .....	39
1.7	Kavitationsgefahr durch Absenken des statischen Drucks .....	42
1.7.1	Absenkung des statischen Drucks bei höheren Strömungsgeschwindigkeiten .....	42
1.7.2	Zulässige Strömungsgeschwindigkeit zur Vermeidung von Kavitation .....	44
1.8	Berechnung der Rohrleitungskapazität für ein vorgegebenes $\Delta P$ und einen Rohrleitungswiderstandsfaktor $K_{ges}$ .....	47
1.8.1	Inkompressible Medien (Flüssigkeiten) .....	47
1.8.2	Kompressible Medien (Gase) .....	48
1.9	Leistungsbedarf von Pumpen, Gebläsen und Verdichtern .....	49
1.9.1	Ermittlung des Leistungsbedarfs $N$ von Pumpen .....	49
1.9.2	Ermittlung des Leistungsbedarfs $N$ von Gebläsen .....	49
1.9.3	Leistungsbedarf bei isothermer Verdichtung .....	50
1.9.4	Leistungsbedarf bei adiabater Verdichtung .....	50
1.9.5	Erwärmung durch adiabate Verdichtung .....	51
1.9.6	Kompressorberechnungen für Turboverdichter .....	52
1.10	Strukturviskose Nicht-Newton'scher Flüssigkeiten .....	59
1.10.1	Fließverhalten .....	59
1.10.2	Druckverlustberechnungen für Ostwald'sche Flüssigkeiten .....	62
1.10.3	Druckverluste in Formstücken und Armaturen .....	64
1.10.4	Druckverlustberechnungen für Bingham'sche Flüssigkeiten .....	64
1.11	Zweiphasenströmung .....	67
1.11.1	Strömungsformen .....	67
1.11.2	Druckverluste bei der Zweiphasenströmung .....	69
1.11.2.1	Berechnung der Reibungsdruckverluste $\Delta P_{TPR}$ .....	69

1.11.2.2	Reibungsverluste bei homogener Strömung .....	71
1.11.2.3	Reibungsdruckverlust bei heterogener Strömung .....	73
1.11.3	Dampfströmungsvolumenanteil $\epsilon_G$ .....	85
1.11.4	Berechnung des Beschleunigungsdruckverlustes $\Delta P_B$ .....	92
1.11.5	Berechnung des hydrostatischen Druckverlustes $\Delta P_H$ .....	94
1.11.6	Druckverlust in Armaturen und Formstücken .....	95
1.11.7	Kritische Zweiphasenströmung .....	97
1.11.8	Entspannungsdampf .....	98
<b>2</b>	<b>Armaturen</b> .....	<b>113</b>
2.1	Armaturenauswahl und -normen/-vorschriften .....	116
2.2	Automatisierung von Armaturen .....	118
2.3	Wofür benötigt man Rückschlagklappen und Rückschlagventile? .....	123
2.4	Wofür benötigt man Sicherheitsventile? .....	123
2.5	Sonstige Armaturen .....	125
<b>3</b>	<b>Regelventile</b> .....	<b>126</b>
3.1	Was ist wichtig bei der Auslegung und Auswahl eines Regelventils? .....	126
3.2	Berechnungsablauf für eine Regelventilauslegung .....	128
3.3	Regelventilauslegung mit Kontrollrechnungen .....	132
3.3.1	Berechnung des $k_V$ -Werts nach DIN EN 60534 .....	134
3.3.2	Ermittlung des maximal zulässigen Druckverlustes in Regelventilen und Stellklappen .....	135
3.4	Geometriefaktor $F_p$ .....	137
3.5	Expansionsfaktor $Y$ für Gase und Dämpfe .....	139
3.6	Auslegung eines Regelventils für Flüssigkeiten .....	140
3.7	Auslegung eines Regelventils für Gase und Dämpfe .....	144
3.8	Ventilkennlinien und Betriebskennlinien .....	150
3.9	Berechnung der Betriebskennlinien von Regelventilen .....	155
3.9.1	Grundkennlinien von Regelventilen .....	155
3.9.2	Betriebskennlinien von Regelventilen .....	156
<b>4</b>	<b>Kreiselpumpen</b> .....	<b>165</b>
4.1	Betriebseigenschaften von Kreiselpumpen .....	165
4.2	Pumpenkennlinie beim Hintereinanderschalten von zwei Kreiselpumpen .....	165
4.3	Pumpenkennlinie beim Parallelschalten von zwei Kreiselpumpen .....	167



## Vorgefertigte Rohrleitungen und Komponenten **More than pipes**

BUTTING ist als Rohrhersteller weltweit bekannt: Die Kernkompetenzen liegen in der Umform-, Schweiß- und Werkstofftechnik. Das korrosionsbeständige Rohr dient als Ausgangsprodukt für die Herstellung von Spezialrohren und einbaufertigen Komponenten, von vorgefertigten Rohrleitungen und Schweißkonstruktionen.

BUTTING gilt als Lösungsanbieter für Produkte mit besonderen Oberflächen, Toleranzen, Formen und Geometrien. BUTTING gewährleistet eine Produktvielfalt und eine verlässliche Produktgüte. Darauf vertrauen Kunden aus allen Branchen – und aus der ganzen Welt.

**Fortschritt aus Tradition!**

**BUTTING Gruppe**  
Deutschland · Brasilien ·  
China · Kanada

Tel.: +49 5834 50-0  
info@butting.de  
[www.butting.com](http://www.butting.com)



**BUTTING**

<b>4.4</b>	<b>NPSH-Wert und Mindestdurchfluss zur Vermeidung von Kavitation</b> .....	168
<b>4.5</b>	<b>Regelung von Kreiselpumpen über Drosselung oder Drehzahl</b> .....	171
<b>4.6</b>	<b>Kavitation und Pumpensaughöhen</b> .....	173
4.6.1	Was bedeutet Kavitation? .....	173
4.6.2	NPSH-Werte .....	173
4.6.3	„Effektiver Dampfdruck“ .....	176
4.6.4	Gasvolumenanteil in der Fördermenge .....	178
4.6.5	Zulässige Saughöhen .....	181
<b>4.7</b>	<b>Probleme beim Ansaugen aus Leitungen oder Behältern</b> .....	195
<b>4.8</b>	<b>Rohrleitungsdimensionierung für Kreiselpumpen</b> .....	204
<b>4.9</b>	<b>Anlagenkennlinien für Serien- oder Parallelschaltung von Rohrleitungen</b> .....	211
<b>4.10</b>	<b>Kreiselpumpen-Probleme</b> .....	213
<b>4.11</b>	<b>Seitenkanalpumpen</b> .....	214
<b>4.12</b>	<b>Verdrängerpumpen</b> .....	215
4.12.1	Besonderheiten bei rotierenden Verdrängerpumpen .....	216
4.12.2	Kavitation und erforderliche Haltedruckhöhe .....	217
4.12.3	Hinweise zu den verschiedenen Pumpenbauarten .....	218
<b>5</b>	<b>Auslegen von Lochblenden zur Durchsatzbegrenzung</b> .....	221
5.1	Inkompressible Medien .....	221
5.2	Kompressible Medien .....	224
5.3	Schnellmethode zur Dimensionierung von Drosselblenden für Flüssigkeiten .....	225
5.4	Kavitationskontrolle von Drosselblenden .....	227
5.5	Auslegung von Mehrfachblenden in Serie .....	229
5.6	Schnellmethode zur Dimensionierung von Drosselblenden für Gase und Dämpfe .....	232
<b>6</b>	<b>Verschiedenes aus der Praxis</b> .....	235
<b>6.1</b>	<b>Wehrablauf-Kapazitäten</b> .....	235
6.1.1	Rechteck-Wehr .....	235
6.1.2	Dreieck-Wehr .....	235
6.1.3	Runder Überlauf .....	236
6.1.4	Bestimmung der Wassermenge aus der Spritzweite .....	236
<b>6.2</b>	<b>Dimensionierung einer Pumpenvorlage</b> .....	237
<b>6.3</b>	<b>Behälterdimensionierung für bestimmte Verweilzeiten</b> .....	238
<b>6.4</b>	<b>Syphonberechnungen</b> .....	239
6.4.1	Treibendes Gefälle für den Syphon .....	239
6.4.2	Wieviel strömt durch einen Syphon bei einem vorgegebenen $\Delta P$ ? .....	240

6.4.3	Was ist die maximal zulässige Heberhöhe $h_{1_{\max}}$ ?	241
6.4.4	Berechnung des Drucks $P_S$ im Syphonscheitel	242
6.4.5	Berechnung der maximalen Heberhöhe $h_{2_{\max}}$ des Ablaufschenkels	243
6.5	<b>Maximal zulässige Fallrohrhöhen</b>	245
6.6	<b>Dimensionierung von Kondensatleitungen</b>	246
6.7	<b>Flüssigkeitsausdehnung und Volumenkompensator</b>	247
6.8	<b>Druckstoßberechnungen</b>	249
6.9	<b>Auslegung eines Verteilers für Flüssigkeiten</b>	252
6.10	<b>Auslegung von Ausdehnungsgefäßen</b>	256
6.10.1	Offener Flüssigkeitskreislauf	256
6.10.2	Geschlossenes Ausdehnungsgefäß mit Gaspolster	258
6.11	<b>Dimensionierung von Gefälleleitungen</b>	261
6.11.1	Gefälleströmung in vollen horizontalen Rohrleitungen	261
6.11.2	Gefälleströmung in teilgefüllten horizontalen Freispiegelleitungen	264
6.11.3	Berechnungen für die Auslegung von Gefälleleitungen	265
6.11.4	Auslegungsempfehlungen	271

**Know-how und  
Kontinuität**  
im Dienste Ihrer Anlagen



Ein Unternehmen der Weber Unternehmensgruppe  
**Industrieller Rohrleitungsbau & Anlagenbau**  
 Instandhaltungsservice | Kraftwerkservice | Engineering  
 Armaturen- und Pumpenservice | Gerüstbau  
[www.weber-unternehmensgruppe.com](http://www.weber-unternehmensgruppe.com)

<b>7</b>	<b>Gasausströmung aus Behältern und Rohrleitungen</b> .....	273
7.1	Unterkritische Gasausströmung ohne Rohrleitung .....	274
7.2	Überkritische Gasausströmung aus Behältern ohne angeschlossene Rohrleitung .....	276
7.3	Gasausströmung aus Behältern mit angeschlossener Rohrleitung bei überkritischen Druckverhältnissen .....	284
7.4	Maximale Schluckfähigkeit kompressibler Medien in Verengungen .....	289
<b>8</b>	<b>Auslaufzeiten aus Behältern</b> .....	295
8.1	Berechnung der Auslaufmenge bei konstanter Flüssigkeitshöhe .....	295
8.2	Berechnung der Entleerungszeit ohne Rohrleitung .....	296
8.3	Auslaufzeiten für Behälter mit angeschlossener Rohrleitung .....	297
8.4	Leerlaufzeit für Behälter mit angeschlossener Rohrleitung .....	299
8.5	Niveauausgleich zwischen zwei Behältern .....	302
<b>9</b>	<b>Mechanische Rohrleitungsplanung</b> .....	303
9.1	Wanddickenermittlung .....	303
9.1.1	Wanddicke $s$ für Rohre .....	303
9.1.2	Rohrbogenwanddicke .....	304
9.1.3	Wanddicke von T-Stücken .....	304
9.2	Zulässige Stützweiten $L$ .....	305
9.3	Resultierende Normalspannung $\sigma_{Nges}$ im Rohr .....	306
9.4	Rohrleitungsausdehnung und Dehnglieder .....	310
9.5	Kompensatoren .....	313
9.5.1	Axialkompensator für geringe Drücke .....	314
9.5.2	Angularkompensator mit Gelenksystem .....	315
9.6	Flexibilität von Rohrleitungssystemen .....	316
9.6.1	Thermospannung durch Temperaturerhöhung .....	316
9.6.2	Festpunktbelastung durch Thermospannungen .....	317
9.6.3	Dehnglieder .....	318
9.6.4	Spannungsanalyse .....	320
9.6.5	Zulässige Stutzenbelastungen .....	323
9.6.6	Rohrleitungslager .....	325
9.7	Rohrbrückenbelastung .....	330

<b>10</b>	<b>Wärmeverluste isolierter Rohrleitungen und Abkühlung in Rohrleitungen sowie Auslegung von Begleitheizungen für Rohrleitungen</b> .....	334
10.1	Berechnung der Wärmeverluste $Q_{VL}$ pro m isoliertes Rohr .....	334
10.2	Berechnung der Wärmeverluste $Q_{VO}$ pro $m^2$ Isolieroberfläche .....	334
10.3	Praktische Wärmeverlustberechnung für $Q_{VL}$ pro m Rohr .....	335
10.4	Berechnung der Oberflächentemperatur $t_O$ .....	335
10.5	Auslegungstabelle für wärmeisolierte Rohre in Innenräumen .....	337
10.6	Abkühlung in durchströmten Rohrleitungen .....	339
10.7	Abkühlung in stehenden Rohrleitungen mit der Zeit .....	341
10.8	Berechnung der Abkühlzeit bis zur Eisbildung .....	342
10.9	Begleitheizungen für Rohrleitungen .....	343
10.9.1	Wärmebedarfsermittlung .....	343
10.9.2	Heizleistungen verschiedener Begleitheizsysteme .....	344
<b>11</b>	<b>Checkliste für Verrohrungen</b> .....	348
11.1	Allgemein .....	348
11.2	Produkteigenschaften .....	348
11.3	Anlagendetails .....	348
11.4	Gefahrenpunkte .....	348
11.5	Sicherheitseinrichtungen .....	348
11.6	Molchbare Leitungen .....	348
	<b>Literatur</b> .....	349
	Literatur für die praktische Anlagenplanung .....	352
	<b>Stichwortverzeichnis</b> .....	353