

Vogel Fachbuch

Kamprath-Reihe

Walter Wagner

# Rohrleitungs- technik

---

Walter Wagner

Rohrleitungstechnik

---

Kamprath-Reihe

Dipl.-Ing. Walter Wagner

# Rohrleitungstechnik

11., überarbeitete und erweiterte Auflage

Vogel Buchverlag

---

## Dipl.-Ing. WALTER WAGNER

Jahrgang 1941, absolvierte nach einer Lehre als Technischer Zeichner ein Maschinenbaustudium und war 1964 bis 1968 Anlagenplaner im Atomreaktorbau; nach einer Ausbildung zum Schweiß-Fachingenieur war er ab 1968 Technischer Leiter im Apparatebau, Kesselbau und in der Wärmetechnik. 1974 bis 1997 bekam Walter Wagner einen Lehrauftrag an der Fachhochschule Heilbronn, von 1982 bis 1984 zusätzlich an der Fachhochschule Mannheim und von 1987 bis 1989 an der Berufsakademie Mosbach. Im Zeitraum 1988 bis 1995 war er Geschäftsführer der Hoch-Temperatur-Technik Vertriebsbüro Süd GmbH. Seit 1992 ist er Leiter der Beratung und Seminare für Anlagentechnik: WTS Wagner-Technik-Service. Walter Wagner ist außerdem Obmann verschiedener DIN-Normen und öffentlich bestellter und vereidigter Sachverständiger für Wärmeträgertechnik, Thermischer Apparatebau und Rohrleitungstechnik.

Dipl.-Ing. WALTER WAGNER ist Autor folgender Vogel Fachbücher der Kamprath-Reihe:

Festigkeitsberechnungen im  
Apparate- und Rohrleitungsbau  
Kreiselpumpen und Kreiselpumpenanlagen  
Lufttechnische Anlagen  
Planung im Anlagenbau  
Regel- und Sicherheitsarmaturen  
Rohrleitungstechnik  
Strömung und Druckverlust  
Wärmeaustauscher  
Wärmeträgertechnik  
Wärmeübertragung  
Wasser und Wasserdampf im Anlagenbau  
DIETZEL/WAGNER: Technische Wärmelehre  
HEMMING/WAGNER: Verfahrenstechnik

Zur Themenreihe gehören ebenfalls  
aus dem Vogel Buchverlag:

H. J. BULLACK: (CD-Rom)  
Berechnung von Druckbehälter-Bauteilen  
Berechnung von Sicherheitseinrichtungen  
Berechnung von Kunststoffbehältern  
Flanschberechnungen nach EN 1591  
Pipe Elements/Rohrleitungsbauteile

---

## Weitere Informationen:

**[www.vogel-buchverlag.de](http://www.vogel-buchverlag.de)**



<http://twitter.com/vogelbuchverlag>



[www.facebook.com/vogel.buchverlag](http://www.facebook.com/vogel.buchverlag)



[www.vogel-buchverlag.de/rss/buch.rss](http://www.vogel-buchverlag.de/rss/buch.rss)

---

ISBN 978-3-8343-3283-7

11. Auflage. 2012

Alle Rechte, auch der Übersetzung, vorbehalten.  
Kein Teil des Werkes darf in irgendeiner Form  
(Druck, Fotokopie, Mikrofilm oder einem anderen  
Verfahren) ohne schriftliche Genehmigung des  
Verlages reproduziert oder unter Verwendung  
elektronischer Systeme verarbeitet, vervielfältigt  
oder verbreitet werden. Hiervon sind die in  
§§ 53, 54 UrhG ausdrücklich genannten  
Ausnahmefälle nicht berührt.

Printed in Germany

Copyright 1983 by Vogel Business Media  
GmbH & Co. KG, Würzburg

---

# Vorwort

---

Neben der Festigkeitsberechnung von Rohrleitungsbauteilen sind Planung und Auslegung von Rohrleitungsanlagen wichtige Aufgaben der Fachgebiete Apparatebau, Strömungs-, Verfahrens- und Wärmetechnik. In der Planung muss daher bereits darauf geachtet werden, dass das Fließbild der Anlage allgemeinverständlich dargestellt wird und den Regeln der Technik entspricht.

Im Wesentlichen werden Stahlrohrleitungen behandelt, die nicht im Erdreich verlegt sind und wie sie im industriellen Anwendungsbereich eingesetzt werden.

Dieses Buch ist gedacht für Studierende der Fachrichtungen Maschinenbau, Apparatebau, Versorgungstechnik und Verfahrenstechnik sowie für den in der Praxis tätigen Fachmann im Rohrleitungsbau. Neben den Grundkenntnissen der Mathematik, Festigkeitslehre und Strömungstechnik sind keine besonderen Grundlagen für das Verständnis des Buches erforderlich.

Die Anwendung der aufgeführten Sinnbilder und Gleichungen gestattet die Auslegung von Rohrleitungsanlagen, wobei zum Abschätzen von Elastizität, Rohrleitungsdruckverlusten sowie Dämmdicken entsprechende Tabellen und Diagramme mit aufgeführt werden. Am Schluss sind die entsprechenden Gleichungen nochmals zusammengefasst. Zur leichteren Einarbeitung wurden möglichst viele Anwendungsbeispiele eingefügt.

Resonanz aus Leserkreisen ist mir stets willkommen, E-Mail: [wagner@wts-online.de](mailto:wagner@wts-online.de). Dem Vogel Buchverlag danke ich für die sorgfältige Herstellung.

St. Leon-Rot

Walter Wagner



---

# Inhaltsverzeichnis

---

Vorwort .....	5
<b>Bedeutung der wichtigsten Formelzeichen .....</b>	<b>13</b>
<b>1 Planungsgrundlagen .....</b>	<b>17</b>
1.1 Allgemeines .....	17
1.2 Rohrleitungen innerhalb der Druckgeräterichtlinie (DGRL) .....	19
1.2.1 Allgemeines .....	19
1.2.2 Einstufung des Druckgerätes .....	19
1.2.3 Konformitätsbewertungsverfahren .....	20
1.2.4 Gefahrenanalyse .....	25
1.2.5 Betriebsanleitung .....	25
1.2.6 Anzuwendendes Regelwerk .....	26
1.2.7 Werkstoffe .....	26
1.2.8 Dauerhafte Verbindungen (Schweißen) .....	27
1.2.9 Zerstörungsfreie Prüfung .....	27
1.2.10 Prüfungen und Abnahmen .....	27
1.2.11 Dokumentation .....	27
1.2.12 CE-Kennzeichnung .....	28
1.2.13 Konformitätserklärung .....	29
1.3 Betriebssicherheitsverordnung .....	29
1.3.1 Prüfung vor Inbetriebnahme .....	29
1.3.2 Wiederkehrende Prüfungen .....	30
1.4 Fließbilder .....	30
1.4.1 Bildzeichen für Anlagensysteme .....	30
1.4.2 Bezeichnung von Anlagenelementen .....	40
1.4.3 Bildzeichen für die gerätetechnische Darstellung .....	42
1.4.4 Fließbildausführung .....	44
<b>2 Kennzeichnung und Abmessungen von Rohrleitungselementen .....</b>	<b>51</b>
2.1 Rohrherstellung .....	51
2.1.1 Geschichtliche Entwicklung .....	51
2.1.2 Nahtlose Rohre .....	51
2.1.2.1 Schrägwalz-Pilgerschrittverfahren .....	51
2.1.3 Geschweißte Rohre .....	53
2.1.3.1 Pressgeschweißte Rohre .....	53
2.1.3.2 Schmelzgeschweißte Rohre .....	54
2.2 DN-Kenngrößensystem (Nennweite) .....	56
2.3 Rohre .....	56
2.4 Formstücke zum Einschweißen .....	64
2.4.1 Rohrbögen .....	67
2.5 PN-Kenngrößensystem (Nenndruck) .....	111
2.5.1 Begriffe .....	111
2.6 Rohrleitungsverbindungen .....	113
2.6.1 Flanschverbindungen .....	113
2.6.2 Flansche .....	113
2.6.2.1 Grundregeln für die Berechnung der Flanschverbindungen .....	114
2.6.2.2 Maße .....	115
2.6.2.3 Dichtflächen .....	115
2.6.2.4 Bestimmung der Druck-Temperatur-Zuordnung .....	132
2.6.3 Dichtungen .....	148
2.6.4 Schrauben und Muttern .....	149

2.6.5	Schraubverbindung .....	153
2.6.5.1	Schraubverbindungen mit Abdichtungen im Gewinde .....	154
2.6.5.2	Rohrverschraubungen .....	155
2.6.6	Schweißverbindungen .....	155
2.6.6.1	Konstruktive Gestaltung .....	155
2.6.6.2	Schweißverfahren .....	160
2.6.6.3	Abgrenzung und Kombination üblicher Schweißverfahren .....	160
2.6.6.4	Anpassen der Innendurchmesser für Rundnähte von Verbindungen an nahtlosen Rohren .....	162
2.6.6.5	Schweißenden an Armaturen .....	162
<b>3</b>	<b>Rohrverlegung .....</b>	<b>165</b>
3.1	Rohrdehnung .....	165
3.2	Natürlicher Rohrdehnungsausgleich .....	168
3.2.1	Vereinfachte Grundsysteme .....	168
3.2.1.1	Einfacher Winkelbogen .....	171
3.2.1.2	Gleichschenkliger Z-Bogen .....	173
3.2.1.3	Symmetrischer Umbogen .....	173
3.2.1.4	U-Bogen-Dehnungsausgleicher .....	174
3.2.1.5	Vorspannung .....	177
3.2.2	Dehnung eines beliebig geformten Systems .....	177
3.2.3	Elastizität ebener Rohrsysteme .....	179
3.2.4	Verformung gebogener Rohre .....	183
3.2.4.1	Rohrbogen-Verformung .....	183
3.2.4.2	Bogenrohre .....	184
3.2.5	Berechnungsgang .....	185
3.2.5.1	Ebene Systeme .....	185
3.2.5.2	Räumliche Systeme .....	192
3.2.6	Spannungsermittlung .....	193
3.2.7	Berechnung der Rohrschenkellänge nach der Spannung-Index-Methode .....	200
3.2.7.1	Annahmekriterien .....	200
3.2.7.2	Zulässige Spannungen .....	208
3.2.8	Elastizitätskriterium von Rohrsystemen .....	208
3.3	Künstlicher Dehnungsausgleich .....	213
3.3.1	Kompensatoren .....	213
3.3.1.1	Axial-Kompensatoren .....	213
3.3.1.2	Gelenk-Kompensatoren .....	222
3.3.1.3	Gelenk-Kompensatoren (Lateral-Kompensatoren) .....	223
3.3.2	Stopfbuchsen-Dehnungsausgleicher .....	224
3.3.2.1	Nicht entlasteter Stopfbuchsen-Dehnungsausgleicher .....	224
3.3.2.2	Entlasteter Stopfbuchsen-Dehnungsausgleicher .....	225
3.4	Rohrabstützungen und Befestigungen .....	226
3.4.1	Stützweiten .....	226
3.4.2	Rohrbefestigungen .....	239
3.4.3	Rohrunterstützungen .....	243
3.4.4	Rohraufhängungen .....	248
3.4.4.1	Federnde Aufhängungen .....	248
3.4.4.2	Konstant-Federhänger .....	249
3.4.5	Festpunkte .....	251
3.4.6	Dimensionierung von Haltetraversen .....	251
3.5	Rohrleitungsschwingungen .....	252
3.5.1	Stoßbremsen und Gelenkstreben .....	254
3.5.2	Beurteilung von Rohrleitungsschwingungen .....	254
3.5.2.1	Schwingungsentstehung infolge stationärer Strömung .....	255
3.5.2.2	Wirbelablösungen an Rohreinbauten .....	255
3.5.2.3	Druckstöße .....	255
3.5.2.4	Druckpulsationen .....	255



	3.5.2.5 Fremdanregung .....	255
	3.5.2.6 Berechnung der Wechselspannung .....	255
	3.5.2.7 Zulässige Spannung .....	257
3.6	Rohrleitungen aus Kunststoff .....	258
3.6.1	Rohrverlegung .....	260
3.6.2	Biegeschenkellänge $L_A$ .....	261
3.6.3	Aufnahme der Längenänderung durch Kompensatoren .....	261
3.7	Spannungsanalyse .....	262
3.7.1	Spannungen aufgrund ständig wirkender Lasten .....	262
3.7.2	Spannungen aufgrund gelegentlich oder außergewöhnlich wirkender Lasten .....	262
3.7.3	Spannungsschwingbreite aufgrund Wärmedehnung und wechselnder Sekundärlasten .....	262
3.7.4	Zusätzliche Bedingungen für den Zeitstandsbereich .....	262
3.7.5	Spannungen aufgrund einmaliger Verschiebung von Rohrhalterungen .....	262
3.8	CAE in der Rohrleitungstechnik .....	263
3.8.1	CAD-unterstützte Rohrleitungsplanung .....	263
	3.8.1.1 Rohrklassenbezogene Verrohrung .....	263
	3.8.1.2 Armaturen .....	264
	3.8.1.3 Rohrhalterungen .....	264
	3.8.1.4 Zeichnungsableitungen und Auswertungen .....	264
3.8.2	Rechnergestützte Analyse .....	264
	3.8.2.1 Nennweiten und Wanddicken .....	265
	3.8.2.2 Druckverlustberechnung .....	265
	3.8.2.3 Modellierung .....	266
	3.8.2.4 Lastfalldefinition .....	266
	3.8.2.5 Berechnung .....	266
	3.8.2.6 Ergebnisse und Dokumentation der Druckverlustberechnung .....	267
	3.8.2.7 Optimierung und Anpassung der Berechnung .....	268
3.8.3	Elastizitätsberechnung .....	268
	3.8.3.1 Modellierung .....	269
	3.8.3.2 Lastfalldefinition .....	269
	3.8.3.3 Berechnung .....	270
	3.8.3.4 Ergebnisse und Dokumentation .....	270
	3.8.3.5 Optimierung und Systemanpassung .....	271
	3.8.3.6 Geltungsbereich und Berechnungsgrenzen .....	271
	3.8.3.7 Beispielberechnung .....	273
<b>4</b>	<b>Strömungstechnik</b> .....	<b>277</b>
4.1	Wahl der Strömungsgeschwindigkeit und des Rohrrinnendurchmessers .....	277
4.2	Druckabfallberechnung .....	279
	4.2.1 Inkompressible Medien (Flüssigkeiten) .....	279
	4.2.2 Kompressible Medien (Gase und Dämpfe) .....	282
4.3	Feststofftransport .....	282
	4.3.1 Gemische aus Gas und Feststoff (pneumatische Förderung) .....	282
	4.3.1.1 Wahl der Transportgasgeschwindigkeit .....	282
	4.3.1.2 Druckabfall .....	284
	4.3.2 Gemisch aus Flüssigkeit und Feststoff (hydraulische Förderung) .....	286
4.4	Rohrkennlinie (Anlagenkennlinie) .....	288
4.5	Kennlinien von Rohrssystemen .....	289
	4.5.1 Hintereinandergeschaltete Rohrleitungen .....	289
	4.5.2 Parallel geschaltete Rohrleitungen .....	292
	4.5.3 Beliebig geschaltete Rohrleitungen .....	296
4.6	Anwendungsgleichungen und Diagramme für die Druckverlustberechnung .....	297
	4.6.1 Basisgleichung der Druckverlustberechnung .....	297
	4.6.2 Bezugssysteme .....	299
	4.6.2.1 Gleichwertige Rohrleitungslängen der $\zeta$ -Werte .....	299

4.6.2.2	Rohrleitungen in $\zeta$ -Werte umformen .....	299
4.6.2.3	Druckverluste in $\zeta$ -Werte umformen .....	299
4.6.2.4	$\zeta$ -Wert-Ermittlung bei $k_v$ -Wert-Vorgabe bei Armaturen .....	299
4.6.2.5	Druckverlustberechnung mittels Bezugsquerschnitt .....	303
4.6.3	Randbedingungen .....	303
4.6.3.1	Strömungszustand (Gase und Flüssigkeiten) .....	303
4.6.3.2	Maximale Strömungsgeschwindigkeit (Gase) .....	303
4.6.3.3	Kavitationserscheinungen (Flüssigkeiten) .....	305
4.6.4	Anwendungsgleichungen .....	305
4.6.4.1	Wasserleitungen .....	305
4.6.4.2	Luftleitungen .....	305
4.6.4.3	Leistungsbedarf für die Überwindung des Druckverlustes .....	308
<b>5</b>	<b>Temperaturdämmung</b> .....	<b>311</b>
5.1	Dämmstoffe .....	311
5.1.1	Schaumstoffe .....	311
5.1.2	Fasermaterialien .....	313
5.1.2.1	Mineralfasern .....	313
5.1.2.2	Keramikfasern .....	314
5.1.3	Metallfolien .....	314
5.1.4	Hilfsmaterialien .....	314
5.2	Unterkonstruktion .....	314
5.3	Äußere Verkleidung .....	315
5.4	Ausführungen .....	316
5.4.1	Ausführung für Wärmedämmung .....	316
5.4.2	Ausführung für Kälte­dämmung .....	323
5.5	Bemessung der Dämmdicken .....	323
5.5.1	Wärme­verlustberechnung .....	323
5.5.2	Temperaturabfall im Rohr .....	326
5.5.3	Wirtschaftliche Dämmdicke .....	326
5.5.4	Minimal zulässige Dämmdicke (Berührungsschutz) .....	330
5.5.5	Ungedämmte Stellen im System .....	330
5.6	Kondensatanfall in Rohrleitungen .....	334
5.7	Schutz vor Taupunkt-Temperaturunterschreitung .....	335
<b>6</b>	<b>Bauvorschriften und Prüfungen</b> .....	<b>337</b>
6.1	Herstellung von Rohrleitungen aus Stahl .....	337
6.1.1	Anforderungen an Schweißverbindungen .....	339
6.2	Rohrleitungskennzeichnung .....	349
<b>7</b>	<b>Konstruktions- und Planungsrichtlinien</b> .....	<b>351</b>
7.1	Projektbearbeitungsschema .....	351
7.2	Auslegung .....	352
7.2.1	Lastfälle .....	352
7.2.2	Berechnung .....	352
7.2.3	Planungsabstände, Zwischenräume .....	352
7.2.4	Maßtoleranzen .....	353
7.2.5	Rohrleitungshalterungen .....	354
7.2.6	Rohrleitungsunterstützungen .....	355
7.2.7	Flanschverbindungen .....	355
7.2.8	Druckhaltende Ausrüstungsteile .....	356
7.2.9	Rohrleitungen an Pumpen und anderen Maschinen .....	356
7.2.10	Dampf- und Kondensatleitungen .....	356
7.2.11	Druckluft- und Steuerluftleitungen (getrocknete Luft mit 4,0...6,0 bar Überdruck) .....	357
7.2.12	Mantelrohrleitungen .....	357
7.2.13	Dokumentation, Protokolle, Prüfungen .....	357

---

7.3	Typische Konstruktionsrichtlinien	358
7.3.1	Entlüftungen	358
7.3.2	Entleerungen	359
7.3.3	Kondensatableitung	359
7.3.4	Sicherheits-Abblaseeinrichtungen	359
7.3.5	Warmgehende Rohrleitungen	359
7.3.6	Kaltgehende Rohrleitungen	361
7.3.7	Begleitheizung	361
7.4	Anschlüsse an Aggregaten und Apparaten	363
7.4.1	Kraft- und Arbeitsmaschinen	363
7.4.2	Apparate	363
7.5	Mess-, Steuer- und Regeltechnik (MSR)	365
7.5.1	Regelarmaturen	365
7.5.2	Messstellen	365
7.6	Rohrleitungsverlegung	365
7.6.1	Verlegung im Gebäude	365
7.6.2	Verlegung auf einer Rohrbrücke	366
7.7	Druckanstieg bei Wärmeeinwirkung auf eine eingeschlossene Flüssigkeit	367
7.8	Kondensatableitung	367
<b>8</b>	<b>Kostenermittlung</b>	<b>373</b>
8.1	Preiskalkulation	373
8.2	Vorausbestimmung der Montagedauer	374
<b>9</b>	<b>Zusammenfassung der wichtigsten Gleichungen</b>	<b>377</b>
	<b>Literaturverzeichnis</b>	<b>383</b>
	<b>Stichwortverzeichnis</b>	<b>385</b>



# Bedeutung der wichtigsten Formelzeichen

Die nachfolgenden wichtigsten Zeichen werden nach Möglichkeit grundsätzlich angewendet, wobei Abweichungen von diesen Formelzeichen jeweils bei den entsprechenden Gleichungen oder Bildern genannt sind. Nach Möglichkeit wurde versucht, die in den technischen Regelwerken bereits eingeführten Zeichen zu verwenden.

Formelzeichen	Bedeutung	Einheiten	Bemerkung
$A$	Fläche	mm <sup>2</sup>	
$B$	Brennstoffmenge	kg	
$\dot{B}$	Brennstoffstrom	kg/s	
$C$	Strahlungskonstante	W/(m <sup>2</sup> · K <sup>4</sup> )	
$C_s$	Strahlungskonstante des schwarzen Körpers	W/(m <sup>2</sup> · K <sup>4</sup> )	$C_s = 5,67 \cdot 10^{-8} \text{ W} / (\text{m}^2 \cdot \text{K}^4)$
$D$	Durchmesser	mm	
$E$	Elastizitätsmodul	N/mm <sup>2</sup>	
$E$	Energie	J	
$F$	Kraft	N	
$Fr$	Froude-Zahl	–	$Fr = \frac{\bar{w}}{\sqrt{d_i \cdot g}}$
$G$	Gewichtskraft	N	$G = m \cdot g$
$H$	Höhe	m	
$H$	Förderhöhe, Verlusthöhe	m	
$H_A$	Anlagehöhe	m	
$H_u$	Heizwert, spezifisch	J/kg	
$I$	Flächenträgheitsmoment	mm <sup>4</sup>	
$I_x$	Linienträgheitsmoment	mm <sup>3</sup>	
$I_{xy}$	Linienzentrifugalmoment	mm <sup>3</sup>	
$I_{x,s}$	Linienträgheitsmoment	mm <sup>3</sup>	bezogene auf Schwerachse
$I_{xy,s}$	Linienzentrifugalmoment	mm <sup>3</sup>	bezogene auf Schwerachse
$K$	Festigkeitskennwert	N/mm <sup>2</sup>	
$K$	Kármán-Faktor	–	
$K$	Kosten	€/...	
$K_w$	Wärmepreis	€/GJ	
$L$	Länge	mm	
$\Delta L$	Längenänderung	mm	
$M$	Moment	N · m	$1 \text{ N} \cdot \text{m} = 1 \text{ J} = 1 \text{ W} \cdot \text{s}$
$M_b$	Biegemoment	N · m	
$M_x$	Linienmoment	m <sup>2</sup>	bezogen auf $x$ -Achse
$O$	Oberfläche	mm <sup>2</sup>	
$P$	Leistung	W	
$Q$	Wärmemenge	J	$1 \text{ J} = 1 \text{ W} \cdot \text{s}$
$\dot{Q}$	Wärmestrom	W	$1 \text{ W} = 1 \text{ J/s}$
$R$	Radius	mm	

## 14 Bedeutung der wichtigsten Formelzeichen

Formelzeichen	Bedeutung	Einheiten	Bemerkung
$R$	Gaskonstante, spezifisch	$J/(kg \cdot K)$	$Re = \frac{\bar{w} \cdot d_i}{\nu}$
$Re$	Reynolds-Zahl	–	
$R$	Strömungs-Widerstand	$kg/m^7$	
$S$	Sicherheitsbeiwert	–	
$T$	Temperatur, thermodynamisch	K	
$U$	Umfang	mm	
$V$	Volumen	$m^3$	
$\dot{V}$	Volumenstrom	$m^3/s$	
$V$	Vorspannung	%	
$W$	Widerstandsmoment	$mm^3$	
$W$	Arbeit	J	
$a$	Beschleunigung	$m/s^2$	
$a$	Abstand zwischen 2 Festpunkten	mm	
$b$	Breite	mm	
$c$	Wärmekapazität, spezifisch	$J/(kg \cdot K)$	
$c$	Federkoeffizient	N/mm	
$c_1$	Zuschlag zum Ausgleich der zulässigen Wanddicken-Unterschreitung	mm	
$c_1'$	Zul. Wanddicken-Unterschreitung	%	
$c_2$	Zuschlag für Korrosion bzw. Abnutzung	mm	
$d$	Durchmesser	mm	
$d_a$	Außendurchmesser	mm	
$d_i$	Innendurchmesser	mm	
$e$	Schwerpunkt Abstand	mm	
$f$	Faktor	–	
$g$	Fallbeschleunigung	$m/s^2$	$g_n \approx 9,81 m/s^2$
$h$	Höhe, Abstand	mm	
$h$	Enthalpie	J/kg	
$\Delta h_v$	Verdampfungsenthalpie, spezifisch	J/kg	
$i$	Trägheitsradius	mm	
$k$	Wärmedurchgangskoeffizient	$W/(m^2 \cdot K)$	
$k$	Rauigkeitshöhe	mm	
$k$	Heizmittelkosten, spezifisch	€/kg	
$l$	Länge	mm	
$m$	Masse	kg	
$\dot{m}$	Massenstrom	kg/s	
$n$	Drehzahl	1/s	
$n$	Wellenzahl am Kompensator	–	$1 s^{-1} = 1 Hz$
$P$	Druck	bar	
$\Delta p$	Druckabfall	bar	$1 bar = 10^5 Pa = 10^5 N/m^2$
$\dot{q}$	Wärmestromdichte	$W/m^2$	
$r$	Radius	mm	
$s$	Weglänge, Wanddicke	mm	
$s_v$	rechnerische Wanddicke ohne Zuschläge	mm	
$t$	Zeit	s	
$v$	Volumen, spezifisch	$m^3/kg$	$v = 1 / \rho$
$w$	Geschwindigkeit	m/s	

Formelzeichen	Bedeutung	Einheiten	Bemerkung
$\bar{w}$	mittlere Strömungsgeschwindigkeit	m/s	
$w_s$	Sinkgeschwindigkeit	m/s	
$\alpha$	Winkel	–	
$\alpha$	Wärmeübergangskoeffizient	W/(m <sup>2</sup> · K)	
$\bar{\beta}_L$	Längenausdehnungskoeffizient	1/K	
$\varepsilon$	Dehnung	–	$\varepsilon = \Delta L / L$
$\zeta$	Widerstandsbeiwert	–	
$\eta$	Wirkungsgrad	–	
$\eta$	dynamische Viskosität	Pa · s	
$\vartheta$	Temperatur, Celsius	°C	
$\Delta\vartheta$	Temperaturdifferenz	K	$\vartheta = T - T_0$ $T_0 = 273,15 \text{ K}$
$\lambda$	Wärmeleitfähigkeit	W/(m · K)	
$\lambda$	Schlankheitsgrad	–	
$\lambda_B$	Rohrbogenkoeffizient	–	
$\lambda_D$	Wärmeleitfähigkeit von Dämmstoffen	W/(m · K)	
$\lambda$	Rohrreibungszahl	–	
$\mu$	Reibungszahl	–	$\mu = F_R / F_n$
$\mu_o$	Haftreibungszahl	–	
$\mu_{pn}$	Materialaufladung bei pneumatischer Förderung	–	
$\mu_h$	Volumenverhältnis bei hydraulischer Förderung	–	
$\nu$	kinematische Viskosität	m <sup>2</sup> /s	$\nu = \eta / \rho$
$\nu$	Querkontraktionszahl	–	$\nu = 0,3$ für Stahl
$\rho$	Dichte	kg/m <sup>3</sup>	
$\sigma$	Spannung	N/mm <sup>2</sup>	
$\sigma_l$	Spannung in Längsrichtung	N/mm <sup>2</sup>	
$\sigma_u$	Spannung in Umfangsrichtung	N/mm <sup>2</sup>	
$\sigma_r$	Spannung in Radialrichtung	N/mm <sup>2</sup>	
$\sigma_{zul}$	zulässige Beanspruchung bei ruhender Belastung	N/mm <sup>2</sup>	
$\tilde{\sigma}_{zul}$	zulässige Beanspruchung bei schwellender Belastung	N/mm <sup>2</sup>	
$\sigma_B$	Zugfestigkeit	N/mm <sup>2</sup>	
$\sigma_s$	Streckgrenze bei 20 °C	N/mm <sup>2</sup>	
$\sigma_{0,2}$	0,2%-Dehngrenze bei 20 °C	N/mm <sup>2</sup>	
$\sigma_{Sch/D}$	Dauerschwellfestigkeit	N/mm <sup>2</sup>	
$\sigma_{Sch/n}$	Zeitschwellfestigkeit	N/mm <sup>2</sup>	
$\sigma_v$	Vergleichsspannung (Anstrengung)	N/mm <sup>2</sup>	
$\sigma_1$	1%-Dehngrenze bei 20 °C	N/mm <sup>2</sup>	
$\check{\sigma}_{0,2/\vartheta}$	Warmstreckgrenze bzw. 0,2%-Dehngrenze bei $\vartheta$	N/mm <sup>2</sup>	Mindestwert
$\check{\sigma}_{1/\vartheta}$	1%-Dehngrenze bei $\vartheta$	N/mm <sup>2</sup>	Mindestwert
$\bar{\sigma}_{B/2 \cdot 10^5}$	Zeitstandfestigkeit für 200 000 Stunden bei $\vartheta$	N/mm <sup>2</sup>	Mittelwert
$\bar{\sigma}_{B/10^5 / \vartheta}$	Zeitstandfestigkeit für 100 000 Stunden bei $\vartheta$	N/mm <sup>2</sup>	Mittelwert
$\bar{\sigma}_{1/10^5 / \vartheta}$	1%-Zeitdehngrenze für 100 000 Stunden bei $\vartheta$	N/mm <sup>2</sup>	Mittelwert
$\sigma_{prop}$	Spannung an der Proportionalgrenze	N/mm <sup>2</sup>	

## 16 Bedeutung der wichtigsten Formelzeichen

Formelzeichen	Bedeutung	Einheiten	Bemerkung
$\sigma_K$	Knickspannung	N/mm <sup>2</sup>	
$\tau$	Schubspannung, Scherspannung	N/mm <sup>2</sup>	
$\varphi$	Winkel	-	
$\psi$	Winkel	-	
<b>Vorzeichen</b>			
$\Delta$	Differenz		
d	differentiell		
$\delta$	partiell		
$\Sigma$	Summe		
$\exp(\dots) = e^{(\dots)}$	Exponentialfunktion		
<b>Diakritische Zeichen (Kopfzeiger)</b>			
-	Mittelwert		
·	auf die Zeit bezogene Größe		
^	maximal		
v	minimal		
~	wechselnd		
<b>Indizes</b>			
a	außen		
a	Austritt		
e	Eintritt		
e	Ende		
ges	gesamt		
h	hydraulisch		
i	innen		
l	längs		
n	Normzustand		
r	radial		
res	resultierende Kraft		
u	Umfang		
ü	Überdruck		
x-	Richtung		
y-	Richtung		
z-	Richtung		
zul	zulässig		
D	Dichtung, Dämmstoff		
Fl	Flüssigkeit		
H	horizontale Richtung		
K	Konvektion		
L	Bezug auf Länge, laminar		
Str	Strahlung		
T	Turbulent		
V	vertikale Richtung, Vergleich		
$\vartheta$	Bezug auf Temperatur		
0	Anfangswert		
1	Anfang, Eingang		
2	Ende, Ausgang		
$\infty$	unendlich		



---

# 1 Planungsgrundlagen

---

## 1.1 Allgemeines

Rohrleitungsanlagen (Bild 1.1) dienen vorwiegend der Verbindung von Erzeugungsstätten mit Verbrauchersystemen und können je nach Anwendungszweck in 2 Hauptgruppen eingeteilt werden:

- Produktionsleitungen und
- Transportleitungen.

Die Rohrleitungen selbst haben hierin die Aufgabe, das Fluid (Flüssigkeiten, Gase, Dämpfe und Feststoffe) zu führen und fortzuleiten. Bei Produktionsleitungen handelt es sich um Leitungen, die innerhalb einer Produktionsstätte benötigt werden, und bei Transportleitungen (Pipelines) dienen diese zum Transport des Mediums über größere Entfernungen.

Ein wesentliches Merkmal von Rohrleitungsanlagen ist auch die Verlegungsart, ob diese im Erdboden eingebettet oder frei verlegt sind.

Sobald Rohrleitungen auch durch das Medium eine andere Temperatur als die Umgebungstemperatur annehmen können, sind besonders die möglichen **Längenänderungen** bei der Planung und Ausführung zu berücksichtigen. Zusätzlich ist hierbei erforderlichenfalls ein Wärme- bzw. Kälteschutz durch Anbringung einer Dämmung vorzusehen.

Es sind bei Planung und Bau von Rohrleitungen neben den speziell dafür geltenden Normen auch andere Regeln, Richtlinien, Arbeits- oder Merkblätter zu beachten, die sich mit den zu verbindenden Anlagen oder Einrichtungen befassen und von verschiedenen

Bild 1.1  
Rohrleitungssysteme in der  
chemischen Industrie



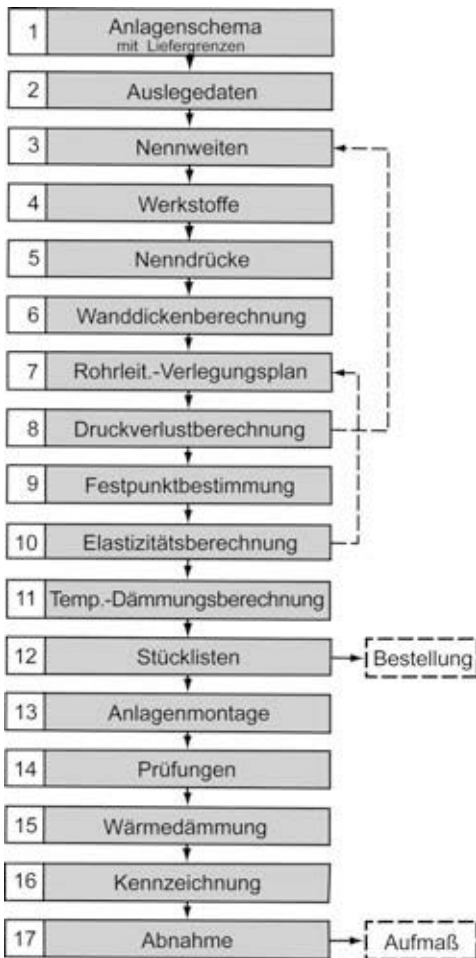


Bild 1.2  
Planungs- und Bauablauf eines  
Rohrleitungssystems

Verbänden und Körperschaften aufgestellt wurden.

Allgemein kann der Planungsablauf eines Rohrleitungssystems gemäß Bild 1.2 wie folgt beschrieben werden, wobei zu beachten ist, dass je nach Genauigkeit und geforderter Wirtschaftlichkeit einzelne Größen durch Iterationsrechnung bestimmt werden müssen.

1. Auf der Grundlage des erforderlichen Verfahrensablaufs wird ein Anlagenschema einschließlich der Rohrleitungsorgane und

Messstellen angefertigt (nach DIN EN ISO 10628 und DIN 19227).

2. Für die einzelnen Rohrleitungsstränge werden die Auslegedaten, wie Medium, Förderstrom, Druck und Temperatur, festgelegt.
3. Mit Hilfe der wirtschaftlichen Geschwindigkeit und des Förderstromes wird der Rohrrinnendurchmesser bzw. die Nennweite (DN) in ihrer Abstufung (nach DIN EN ISO 6708 ermittelt).
4. Rohrwerkstofffestlegung aus Medium, Druck und Temperatur, wobei berücksichtigt werden muss, dass bestimmte Vorschriften oder Normen Beachtung finden z.B. DIN EN 13480-2.
5. Bestimmung des Nenndruckes (PN) der Rohrstränge aus Werkstoff, Druck und Betriebstemperatur (nach DIN EN 1333).
6. Wanddickenberechnung von Rohr- und Formstücken aus Druck, Temperatur, Werkstoff und Korrosionseinfluss sowie nach Herstellungsgüte, s. «Festigkeitsberechnungen im Apparate- und Rohrleitungsbau» [3.1]
7. Mit Hilfe der Maßzeichnungen der Rohrleitungsteile, wie Pumpen, Armaturen usw., sowie dem Anlagen-Lageplan wird ein Rohrleitungsplan erstellt, wobei Dämmdicken, Bedienbarkeit von Geräten und Mindestabstände zu Nachbarrohren, Wänden usw. berücksichtigt werden müssen.
8. Berechnung der Druckverluste und gegebenenfalls Änderung primär der Rohrnennweite bzw. Änderung der Rohrverlegung.
9. Festlegung der systembedingten Festpunkte, wie z.B. Großaggregate und Strömungsmaschinen.
10. Elastizitätsberechnung des Rohrleitungssystems, wobei eventuell hierdurch der Rohrplan nochmals geändert werden muss.
11. Dämm- und Wärmeverlustberechnung, z.B. nach DIN EN ISO 12241 wobei Mindestdämmdicken wegen Berührungsschutz bzw. Brandgefahr berücksichtigt werden müssen.
12. Erstellung von Stücklisten und Bestellung der Bauteile.
13. Anlagenmontage, wobei zuerst Transportmaße und Einbringungsmöglichkeiten berücksichtigt werden müssen.

14. Prüfungen nach DIN EN 13 480-5.
15. Temperaturdämmung (Berechnung n. DIN EN ISO 12241, Ausführung z.B. nach DIN 4140).
16. Kennzeichnung des Rohrleitungssystems (vorzugsweise DIN EN 13480-4 u. DIN 2403).
17. Abnahme durch Betreiber und evtl. einer Abnahmebehörde sowie, wenn vereinbart wurde, Aufmaß der Anlage (z. B. nach VOB). Überarbeitung der Unterlagen nach dem Ist-stand.

## 1.2 Rohrleitungen innerhalb der Druckgeräterichtlinie (DGRL)

### 1.2.1 Allgemeines

Ein Druckgerät kann nach DGRL ein Behälter, eine Rohrleitung, ein Ausrüstungsteil mit Sicherheitsfunktion, ein druckhaltendes Ausrüstungsteil oder eine Baugruppe, also eine Zusammenfügung mehrerer Druckgeräte sein. Eine Rohrleitung dient der Durchleitung von Fluiden und verbindet Bauteile eines Drucksystems miteinander.

Das Rohrleitungssystem kann umfassen:

- ❑ Einzelteile ohne CE-Kennzeichnung (z.B. Rohre, Bögen, Formstücke, Flansche, Schrauben, Mutter, Dichtungen),
- ❑ Druckbehälter mit gesonderter CE-Kennzeichnung (z.B. Kompensatoren),
- ❑ Ausrüstungsteile mit Sicherheitsfunktion, die eine gesonderte CE-Kenzeichnung tragen (z.B. Sicherheitsventile),
- ❑ sonstige Komponenten, die nicht druckbeaufschlagt sind, aber für den sicheren Betrieb der Rohrleitung unerlässlich sind (z.B. Rohrhalterungen).

Zur Rohrleitung gehören auch Anschweißungen und andere unlösbar angebrachte Teile wie integrale Halterungsanschlüsse, angeschweißte Rohrhalterungen, Halterungsnocken als Tragkonstruktion der Dämmung, Nocken für Gefällemessung, Aufschweißstützen für Druck- und Temperaturmessung, Transportbefestigungen, Transportösen und angeschweißte Schilderhalter.

Ein Rohrleitungssystem ist definiert durch ein Fluid mit einem bestimmten Druck und einer zulässigen Temperatur, das für den vorgegebenen Verwendungszweck vorgesehen ist. Es beginnt, endet und wird unterbrochen

- ❑ am Stutzen oder hinter der Absperrarmatur einer Ausrüstung (z.B. Pumpe, Turbine),
- ❑ am Stutzen oder hinter der Absperrarmatur eines Druckbehälters,
- ❑ vor oder hinter einer Druckreduzierung ggf. kombiniert mit einer Temperaturreduzierung (z.B. an einer Umleitstation, Sicherheitsventil oder Kondensatableiter).

### 1.2.2 Einstufung des Druckgerätes

#### Fluidgruppe

Entsprechend Artikel 9 der DGRL ist die Fluidgruppe durch das später in dem Bauteil fließende bzw. befindliche Medium bestimmt. Die DGRL unterscheidet 2 Fluidgruppen (Tabelle 1.1):

- **Fluidgruppe 1:** gefährliche Fluide, die als explosionsgefährlich, hochentzündlich, leicht entzündlich, entzündlich (wenn die maximal zulässige Temperatur über deren Flammpunkt liegt), sehr giftig, giftig oder brandfördernd eingestuft werden,
- **Fluidgruppe 2:** weniger gefährliche und ungefährliche Fluide, also alle die, die nicht in die Fluidgruppe 1 eingruppiert werden.

Tabelle 1.1 Fluidgruppen

Fluidgruppe		Fluideigenschaften
1	gefährliche Fluide	explosionsgefährlich hochentzündlich leicht entzündlich entzündlich <sup>1)</sup> sehr giftig giftig brandfördernd
2	weniger gefährliche und ungefährliche Fluide	alle nicht zur Gruppe 1 gehörenden Fluide

<sup>1)</sup> wenn die maximal zulässige Temperatur über dem Flammpunkt liegt

«Fluide» sind Gase, Flüssigkeiten und Dämpfe

Mit Hilfe der Richtlinie 67/548/EG (zuletzt geändert durch die Richtlinie 94/69/EG) umgesetzt in der Gefahrstoffverordnung, werden Stoffe mit ihren Gefährlichkeits- und Risikomerkmale beschrieben. Die dort verwendeten Symbole wie z.B. T oder T+ und die Einstufung in Fluidgruppen nach DGRL sind allerdings nicht identisch. So können krebserregende Stoffe zwar nach Gefahrstoffverordnung mit dem Symbol T (wie giftig) gekennzeichnet sein, fallen aber trotzdem, nicht in die Fluidgruppe 1. Trotz dieser Nichtübereinstimmung zwischen DGRL und Gefahrstoffverordnung bietet die Symbolik und das Risikomerkmale eine gute Hilfe für die Einstufung in die richtige Fluidgruppe.

**Bestimmung des Aggregatzustandes**

Ausgehend von der Einteilung, dass ein Fluid im gasförmigen Zustand unter Druck ein höheres Gefahrenpotential in sich birgt, als im flüssigen Zustand, ist für das vorliegende Fluid zu bestimmen, ob der Dampfdruck bei

der zulässigen maximalen Temperatur (TS) in der Rohrleitung um mehr als 0,5 bar oder höchstens 0,5 bar oberhalb des normalen Atmosphärendruckes von 1013 mbar liegt. Für einen Dampfdruck um mehr als 0,5 bar oberhalb des Atmosphärendruckes, wird das Fluid als Gas behandelt und entsprechend seiner Fluidgruppe in Diagramm 6 oder 7 der DGRL eingestuft. Liegt der Dampfdruck höchstens 0,5 bar über dem normalen Atmosphärendruck, kommen die Diagramme 8 und 9 je nach Fluidgruppe zur Anwendung (siehe Bilder 1.3 bis 1.6).

**1.2.3 Konformitätsbewertungsverfahren**

Ausgehend von den Auslegungsdaten für die Rohrleitung wird aus dem maximal zulässigen Druck (PS) in bar und der Nennweite der Rohrleitung (DN) das dimensionslose Produkt «PS x DN» ermittelt. Entsprechend der bereits festgelegten Bestimmung des Aggregatzustandes in Kombination mit der Fluidgruppe, er-

Tabelle 1.2 Konformitätsbewertungsverfahren in Abhängigkeit von der Kategorie

Art des Druckgerätes	Kategorie	Modul für Konformitätsbewertung	Bezeichnung des Konformitätsbewertungsverfahrens nach Anhang III der Druckgeräterichtlinie		
Rohrleitungen, druckhaltende Ausrüstungsteile	I	A	interne Fertigungskontrolle		
	II	A1	interne Fertigungskontrolle mit Überwachung der Abschlussprüfung		
		D1	Qualitätssicherung Produktion		
		E1	Qualitätssicherung Produkt		
	III	B1 + D	EG-Entwurfsprüfung +	Qualitätssicherung Produktion	
		B1 + F		Prüfung der Produkte	
		B + E	EG-Baumusterprüfung +	Qualitätssicherung Produkt	
		B + C1		Konformität mit der Bauart	
		H	Umfassende Qualitätssicherung		
	Ausrüstungsteile mit Sicherheitsfunktion, druckhaltende Ausrüstungsteile	IV	B + D	EG-Baumusterprüfung +	Qualitätssicherung Produktion
B + F			Prüfung der Produkte		
G			EG-Einzelprüfung		
H1			umfassende Qualitätssicherung mit Entwurfsprüfung und besonderer Überwachung der Abschlussprüfung		

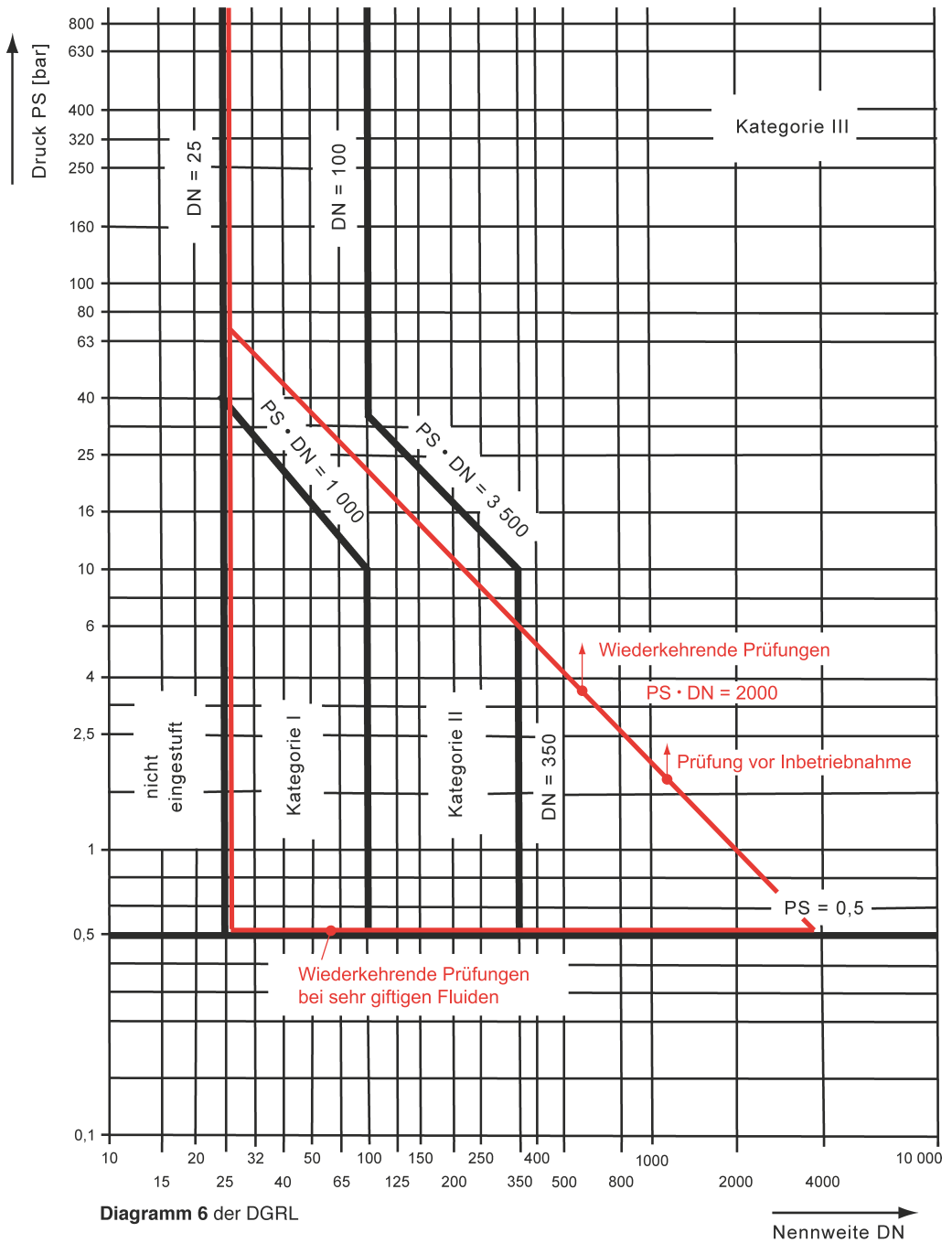


Bild 1.3 Einstufung von Rohrleitungen für gefährliche Gase und Dämpfe sowie Flüssigkeiten, deren Dampfdruck bei Betriebstemperatur  $> 0,5$  bar über Atmosphärendruck liegt

$p_{\text{Dampf, TS}} > 0,5$  bar, ü  
Fluide der Gruppe 1

s. Betriebssicherheitsverordnung (Abschnitt 1.3)

Als Ausnahme hiervon sind Rohrleitungen, die für instabile Gase bestimmt sind und nach Diagramm 6 unter die Kategorie I oder II fallen, in die Kategorie II einzustufen.

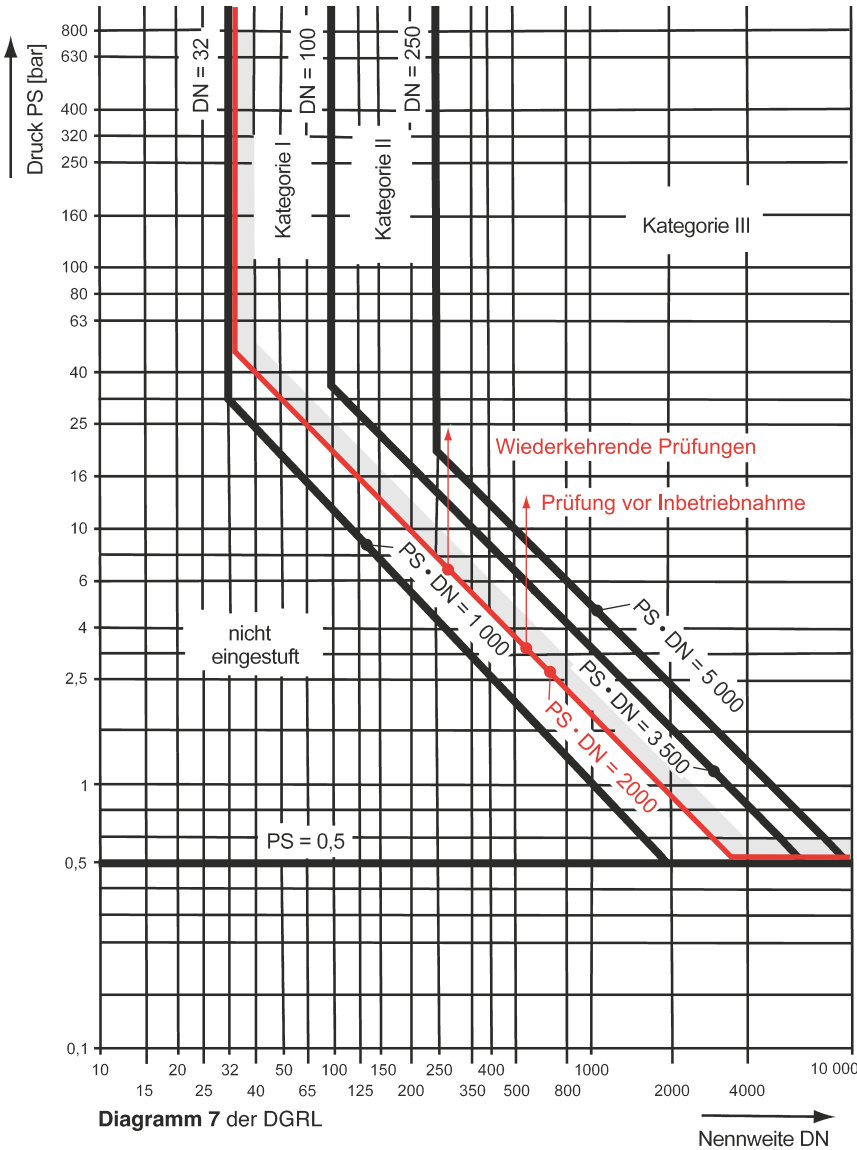


Bild 1.4 Einstufung von Rohrleitungen für wenig gefährliche und ungefährliche Gase und Dämpfe sowie Flüssigkeiten, deren Dampfdruck bei Betriebstemperatur >0,5 bar über Atmosphärendruck liegt (bei Wasser >110 °C)

$$p_{\text{Dampf, TS}} > 0,5 \text{ bar, ü}$$

Fluide der Gruppe 2

s. Betriebssicherheitsverordnung (Abschnitt 1.3)

Als Ausnahme hiervon sind Rohrleitungen, die Fluide mit Temperaturen von mehr als 350 °C enthalten und nach Diagramm 7 unter die Kategorie II fallen, in die Kategorie III einzustufen.

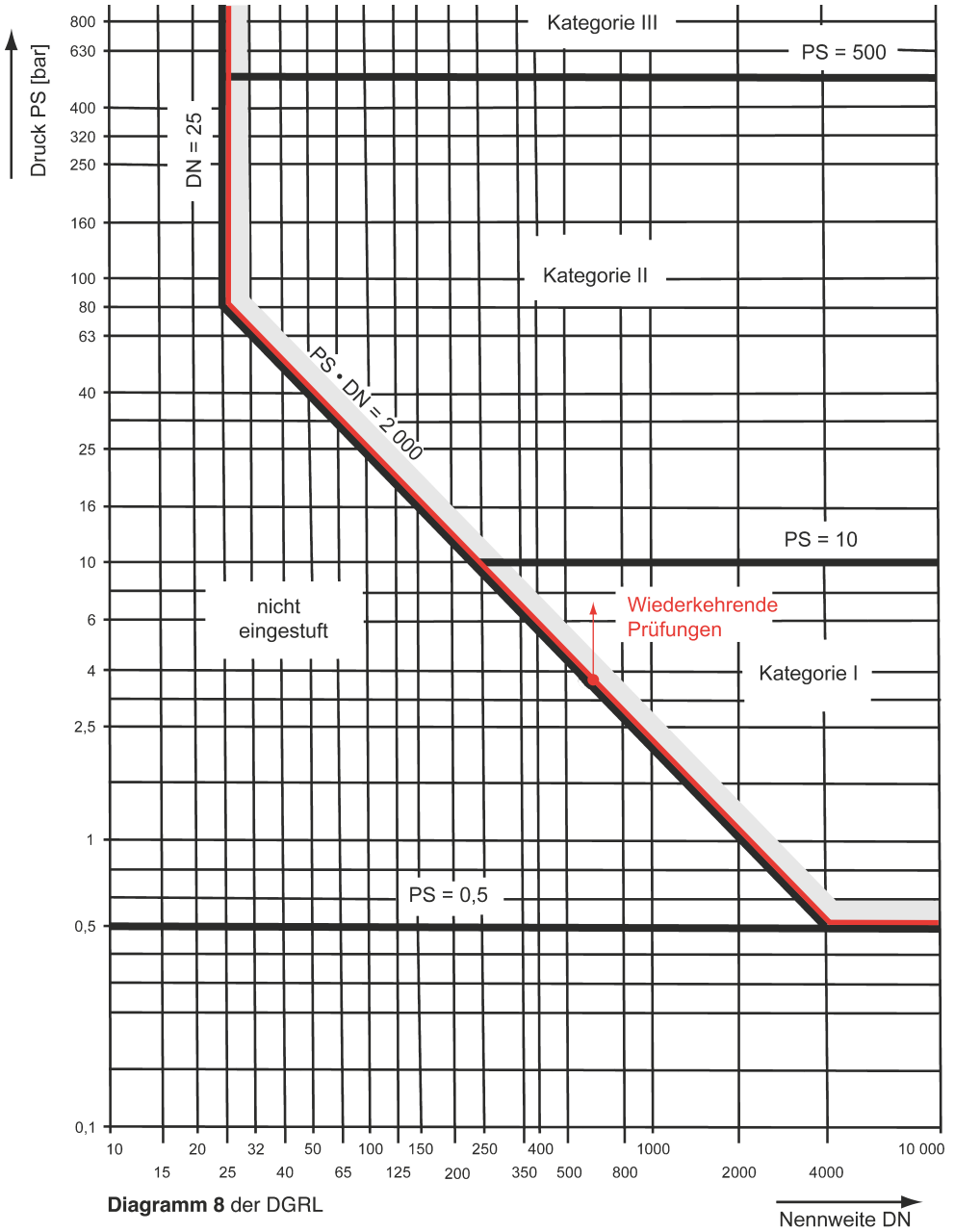


Bild 1.5 Einstufung von Rohrleitungen für gefährliche Flüssigkeiten, deren Dampfdruck bei Betriebstemperatur  $< 0,5$  bar über Atmosphärendruck liegt

$$p_{\text{Dampf, TS}} \leq 0,5 \text{ bar, } \ddot{u}$$

Fluide der Gruppe 1

s. Betriebssicherheitsverordnung (Abschnitt 1.3)

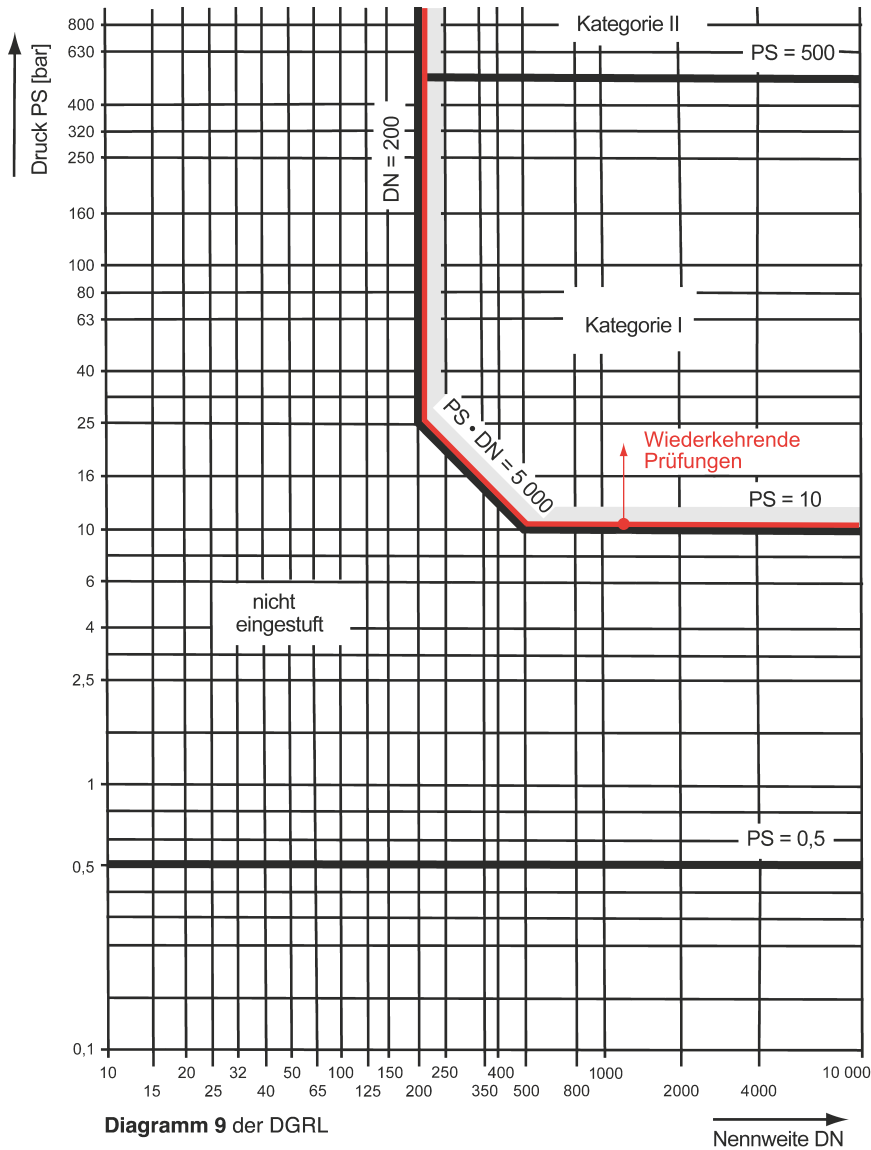


Diagramm 9 der DGRL

Bild 1.6 Einstufung von Rohrleitungen für wenig gefährliche und ungefährliche Flüssigkeiten, deren Dampfdruck bei Betriebstemperatur  $< 0,5$  bar über Atmosphärendruck liegt (bei Wasser  $< 110$  °C)

$$p_{\text{Dampf, TS}} \leq 0,5 \text{ bar, ü}$$

Fluide der Gruppe 2

s. Betriebssicherheitsverordnung (Abschnitt 1.3)



gibt sich aus den entsprechenden Diagrammen 6, 7, 8 oder 9 der DGRL die **Kategorie**.

Innerhalb dieser Kategorien ist es nun dem Hersteller freigestellt, welches **Modul** bzw. **Modulkombination** er für die Auftragsabwicklung zur Herstellung seiner Rohrleitung wählt (Tabelle 1.2).

Eine Anleitung für den Gebrauch des Konformitätsbewertungsverfahrens enthält die DIN EN 13 480 – Teil 7.

#### 1.2.4 Gefahrenanalyse

Um als Hersteller auftreten und später alle Anforderungen der DGRL erfüllen zu können, ist sowohl im Anfragestadium wie auch im Auftragsfall ausreichende Kenntnis über die spätere Verwendung des Druckgerätes beim Betreiber notwendig.

Hierzu ist der Hersteller verantwortlich, alle relevanten Daten zu beschaffen. Fehlen in Anfragen/Aufträgen die Bestellspezifikationen mit diesen Vorgabedaten, ist es die Aufgabe des Herstellers des Druckgerätes, diese zu befragen. Diese Daten sind im Wesentlichen:

- Kenntnis des Prozesses in den das Druckgerät eingebunden wird (Verwendung wofür),
- Auslegungsbedingungen (Medium, Betriebsweise, Lastwechsel, Drücke, Temperaturen),
- Äußere Belastungen (Windlasten, Korrosionsbedingungen usw.).

Die Gefahrenanalyse enthält:

- Definition des Produktes,
- Bestimmungen der einschlägigen Richtlinien,
- Bestimmung der zutreffenden Anforderungen,
- Maßnahmen zur Erfüllung der Anforderungen (z.B. auf Grundlage harmonisierter Normen),
- Festlegung der noch verbleibenden Gefahren,
- Beurteilung der nicht vernachlässigbaren Gefahren,
- Hinweise auf Gefahren bei unsachgemäßer Verwendung,
- Tolerierbarkeit der Restgefahren,
- Maßnahmen gegen tolerierbare Restgefahren (z.B. durch Hinweise, Piktogramme usw.).

Für Rohrleitungen lässt sich diese Gefahrenanalyse (hazard analysis) weitgehend standardisieren. Zweckmäßig ist eine tabellarische Anordnung in die 4 Spalten Gefahr, Grund, Maßnahmen/Schutzmaßnahmen und Hinweise. Eine Gefahr stellt z.B. das mechanische Versagen der drucktragenden Wand dar. Gründe hierfür können Konstruktionsfehler, Fertigungsfehler, Montagefehler oder äußere Korrosion sein. Jedem dieser Gründe werden nun stichwortartig Maßnahmen zur Vermeidung dieser Einflussgrößen zugeordnet. Z.B. der Einsatz von durch die benannte Stelle vorgeprüften Rohrklassen im Chemierohrleitungsbau. In der Rubrik Hinweise kann dort dann zusätzlich auf normierte Rohrklassen des Auftraggebers hingewiesen werden.

Die Gefahrenanalyse ist frühzeitig bereits in der Planungsphase zu erstellen. Maßnahmen gegen tolerierbare Restgefahren sind in die Betriebsanleitung zu übernehmen.

Die Gefahrenanalyse ist Bestandteil der Entwurfsprüfunterlagen.

#### 1.2.5 Betriebsanleitung

Für jedes Druckgerät ist eine Betriebsanleitung zu erstellen (siehe auch EN 764-6). Sie enthält im Wesentlichen alle notwendigen Informationen für:

- Montage, einschließlich der Verbindung an andere Druckgeräte,
- Inbetriebnahme,
- Benutzung (Betrieb),
- Wartung und Inspektion,
- Entleerungs- und Entlüftungsmöglichkeiten,
- Hinweise auf Restgefahren und auf besondere Merkmale, die sich aus der Gefahrenanalyse ergeben,
- Füllen und Entleeren,
- Ausschlüsse z.B. der Fahrweise, des Fluids, des Druckes, der Temperatur usw.,
- Hinweise auf Gefahren bei unsachgemäßer Verwendung.

Diese Betriebsanleitung ist Bestandteil des Konformitätsbewertungsverfahrens und muss der benannten Stelle vorgelegt und von ihr inhaltlich bewertet werden. Auch diese Be-

triebsanleitung lässt sich für Rohrleitungen weitgehend standardisieren. Allerdings sind die sich aus der Gefahrenanalyse ergebenden unvermeidbaren Restgefahren, insbesondere Gefahren durch das Fluid, deutlich in der Betriebsanleitung hervorzuheben. Die Betriebsanleitung muss dem Druckgerät eindeutig und unverwechselbar zuzuordnen sein.

### 1.2.6 Anzuwendendes Regelwerk

Für die Planung, Konstruktion, Herstellung und Errichtung sind Regelwerke (Codes) anzuwenden, die die Anforderungen der DGRL erfüllen. Dies sind harmonisierte unterstützende EN-Normen und harmonisierte Produktnormen, die den Anhang I der DGRL umsetzen und im Amtsblatt der Europäischen Union veröffentlicht wurden. Zurzeit können für Rohrleitungen die DIN EN 13480 Teile 1 bis 7 «Metallische industrielle Rohrleitungen» oder z.B. das AD-2000-Regelwerk herangezogen werden.

Es können aber auch andere Regelwerke verwendet werden, sofern sie die grundlegenden Sicherheitsanforderungen des Anhangs I der DGRL erfüllen, jedoch liegt die Beweislast gegenüber der benannten Stelle hinsichtlich der Erfüllung beim Hersteller. In jedem Fall ist aber das einmal angezogene Regelwerk für **alle** Stadien (Konstruktion, Berechnung, Herstellung, Prüfung) durchgängig anzuwenden. Insbesondere ist zu prüfen, ob es eine Kundenvorgabe hinsichtlich des anzuwendenden Regelwerkes gibt (z.B. DIN EN 13480, AD 2000 usw.).

Weiterhin ist vom Hersteller im Zuge der Erstellung der Entwurfsunterlagen eine Aufstellung der für den Auftrag ganz oder teilweise angewendeten Normen zu erstellen. Diese Aufstellung dient der Erfüllung des Artikels 5 der DGRL zum Nachweis der Konformitätsvermutung der angewendeten Regelwerke für Konstruktion, Fertigung und Funktion.

### 1.2.7 Werkstoffe

Die zur Anwendung kommenden Werkstoffe einschließlich der Schweißzusatzwerkstoffe müssen den Anhang I der DGRL erfüllen. Der

Hersteller muss also Angaben zur Einhaltung der Werkstoffvorschriften der Richtlinie machen. In der Liste der eingesetzten Werkstoffe sind diese Querverweise zu geben auf:

- geeignete Werkstoffe in harmonisierten Produktnormen z.B. DIN EN 13480-2,
- Werkstoffe, für die eine europäische Werkstoffzulassung für Druckgeräte vorliegt. Die Auflistung dieser Werkstoffe wird im Amtsblatt der Europäischen Union veröffentlicht;
- Einzelgutachten zu den Werkstoffen.

Für jede Rohrleitung sind die Werkstoffe mit Angabe über Halbzeugart und Normen aufzulisten und im Rahmen der Entwurfsprüfung durch den Hersteller bei Kategorie II bzw. durch die benannte Stelle bei Kategorie III und IV zu bestätigen.

Hinsichtlich der Zeugnisbelegung von Halbzeugen (Rohre, Flansche, Schmiedestücke usw.) ist zu beachten, dass für Halbzeuge für Druckgeräte, die in Kategorie I fallen, ein Werkszeugnis nach DIN EN 10204 Typ 2.2 erforderlich ist.

Für Halbzeuge, die in Druckgeräten nach Kategorie II, III oder IV eingesetzt werden, ist

- ein Abnahmeprüfprotokoll nach DIN EN 10204-3.2 oder Abnahmeprüfzeugnis 3.1.C erforderlich bei spezifischer Prüfung der Produkte über eine direkte Prüfung **oder**,
- ein Abnahmeprüfzeugnis Typ 3.1.B bei spezifischer Prüfung der Produkte über ein Qualitätssystem z.B. von einem Halbzeughersteller mit AD-W 0 Zulassung mit DIN-EN-ISO-9001/9002-Zertifizierung **oder**
- ein Abnahmeprüfzeugnis Typ 3.1.B z.B. von einem Halbzeughersteller mit Zertifizierung nach Druckgeräterichtlinie.

Wenn auf den Zeugnissen für das Halbzeug nicht die Querverweise auf AD-W 0, DIN EN-ISO-9001/9002 oder DGRL vorhanden sind, müssen diese Nachweise den Zeugnissen beigefügt sein.

Hinsichtlich der Zeugnisbelegung für Verbindungselemente (Schrauben, Bolzen, Muttern, Schweißzusätze) ist mindestens ein Werkszeugnis nach DIN EN 10204-2.2 beizufügen.

### 1.2.8 Dauerhafte Verbindungen (Schweißen)

Die Herstellung von Schweißverbindungen geschieht durch Schweißer mit gültiger Schweißerprüfungsbescheinigung nach DIN EN 287-1. Je nach Wahl des zugrunde liegenden Regelwerkes z.B. AD 2000 gilt dann in weiterer Verknüpfung die Anforderung an Schweißer aus AD 2000 Merkblatt HP 3. Für Schweißverbindungen in den Kategorien II, III oder IV müssen diese Prüfungsbescheinigungen durch eine benannte Stelle zugelassen sein. Dies gilt auch für Personal von Lieferanten oder AÜG-Firmen! Meist geschieht dies durch einen zusätzlichen Stempelaufdruck auf der Schweißerprüfungsbescheinigung mit Unterschrift durch eine benannte Stelle.

Arbeitsverfahren für die Herstellung von Schweißverbindungen werden durch Verfahrensprüfungen nach z.B. DIN EN 288-3 bzw. mit Zusatzforderungen AD 2000 Merkblatt HP 2/1 belegt. Diese Verfahrensprüfungen müssen für Schweißverbindungen in den Kategorien II, III oder IV durch eine benannte Stelle zugelassen sein. Dies gilt natürlich auch für Arbeitsverfahren von Lieferanten! Es hat sich als zweckmäßig herausgestellt, die in den Fertigungsbetrieben vorliegende Übersicht der Schweißverfahrensprüfungen durch die benannte Stelle abstem-peln und unterschreiben zu lassen.

### 1.2.9 Zerstörungsfreie Prüfung

Die Prüfung von Schweißverbindungen geschieht durch Personal mit Bescheinigungen

nach DIN EN 473. Für Schweißverbindungen in den Kategorien III und IV müssen diese Prüfungsbescheinigungen durch eine benannte Stelle gebilligt sein (Tabelle 1.3). Dies gilt auch für Personal von Lieferanten oder AÜG-Firmen! «Gebilligt sein» bedeutet, eine unabhängige Prüfstelle bestätigt, dass die vorgelegte Qualifizierung der DGRL entspricht. Auf den Kompetenzzertifikaten nach DIN EN 473 findet sich heute dann auch direkt der Hinweis: «einschließlich der Prüfung von dauerhaften Verbindungen nach DGRL».

### 1.2.10 Prüfungen und Abnahmen

Prüfungen, wie zerstörungsfreie Prüfungen und Festigkeitsprüfungen, geschehen nach dem jeweils gewählten Code in uneingeschränktem Umfang. Es sei denn, der Vertrag mit dem Kunden schreibt etwas anderes vor. Für jeden Auftrag empfiehlt es sich einen spezifischen Prüfplan zu erstellen, in dem alle Tätigkeitsschritte für die Beteiligten wie Hersteller, Lieferanten oder benannte Stelle festgelegt und dokumentiert werden.

### 1.2.11 Dokumentation

Die Dokumentation muss die im gewählten Code geforderten Umfänge enthalten, wie z.B.:

- die Entwurfsprüfung einschl. Gefahrenanalyse und Entwurfsprüfbescheinigung der benannten Stelle,
- Schweißerprüfungsbescheinigungen mit DGRL-Konformität,

Tabelle 1.3 Zulassungen für die Herstellung und Prüfung von Werkstoffverbindungen z.B. Schweißverbindungen

Anforderung an die Herstellung	Zulassung erforderlich für Kategorie					Zulassungsstelle
	ohne	I	II	III	IV	
qualifiziertes, geprüftes und befähigtes Personal zur Herstellung der Verbindungen			X	X	X	benannte Stelle oder
Herstellung nach fachlich einwandfreien Arbeitsverfahren	gesonderte Zulassung nicht erforderlich		X	X	X	anerkannte Prüfstelle
zerstörungsfreie Prüfung durch qualifiziertes und befähigtes Personal					X	X

- Nachweis der Verfahrensprüfungen nach DGRL,
- Werkstoffnachweise,
- Berechnungen mit Berechnungsisometrien,
- Qualifikationsnachweise des ZfP-Personals,
- ZfP-Berichte,
- Schweißnahtdokumentationen,
- Wärmeführungsnachweise,
- Maßprüfungen,
- Abweichungsberichte,
- Abnahmeberichte.

In Tabelle 1.4 ist eine Zusammenfassung der Dokumentation einer Rohrleitungsanlage nach DIN EN 13 480-5: 2002 dargestellt.

### 1.2.12 CE-Kennzeichnung

Die CE-Kennzeichnung ist ausschließlich im Zuständigkeitsbereich der Druckgeräterichtlinie anzuwenden. Das CE-Kennzeichen kann nur vom Hersteller angebracht werden. Wenn das Rohrleitungsbauunternehmen als Liefer-

Tabelle 1.4 Dokumentation der Rohrleitungsanlage nach EN 13 480-5: 2002

Nr.	Unterlagen	Abschnitt-Nr.	Gefahrenklasse				Rohrleitung unter 0,5 bar
			III	II	I	0	
1	Rohrleitungs- und Instrumentierungsschaltbild	6.2	x	x	x	x <sup>1)</sup>	x <sup>1)</sup>
2	Zusammenstellung der Auslegungs- und Betriebsbedingungen		x	x	x	x <sup>1)</sup>	x <sup>1)</sup>
3	Zeichnungen des Anlagen-Schemas der Rohrleitung und Rohrhalterungen mit Maßen (kann isometrische Darstellungen enthalten, Ausführungszeichnungen, Schnittzeichnungen, Grundrisspläne).	6.2 6.3.1	x	x	x	x <sup>1)</sup>	x <sup>1)</sup>
4	Stückliste für Rohrleitungsbauteile mit Maßen, Normen, Werkstoffen	6.2	x	x	x <sup>1)</sup>	x <sup>1)</sup>	–
5	Werkstoffbescheinigungen für Grundwerkstoffe und Schweißzusätze und -hilfsstoffe, falls verlangt	7.2.2	x	x	x <sup>1)</sup>	siehe EN 13 480-2	–
6	Unterlagen für verschiedene Bauteile, z.B. Armaturen, Sicherheitseinrichtungen	6.3.1	x	x	x <sup>1)</sup>	x <sup>1)</sup>	x <sup>1)</sup>
7	Schweißunterlagen	6.2.3	x	x	x <sup>1)</sup>	x <sup>1)</sup>	–
8	ZfP-Unterlagen	6.2.2 8.8	x	x	x	–	–
9	Unterlagen über die Wärmebehandlung	6.2.2	x	x	x	–	–
10	Druckprüfungs- oder gleichwertige Prüfungsunterlagen	6.2.2	x	x	x	x <sup>1)</sup>	–
11	Kennzeichnungsangaben	EN 13 480-4: 2002, 11.2	x	x	x	x	x <sup>1)</sup>
12	Herstellereklärung zur Auslegung	6.5	x	x	x	–	–
13	Herstellereklärung für die Fertigung/Verlegung der Rohrleitung	10	x	x	x	–	–
14	Bescheinigung der Druckprüfung	9.3.4	x	x	x	–	–
15	Herstellereklärung	10	x	x	x	–	–
16	Betriebsanleitungen	9.5.3	x	x	x	x	x

<sup>1)</sup> Je nach Entscheidung des Herstellers.

ant (verlängerte Werkbank) auftritt, darf es keine CE-Kennzeichnung anbringen.

### 1.2.13 Konformitätserklärung

Der Hersteller stellt die Konformitätserklärung aus. Tritt das Rohrleitungsbauunternehmen als Lieferant auf, kann und darf es keine solche Konformitätserklärung ausstellen. Diese Konformitätserklärung muss folgendes enthalten (siehe DGRL Anhang VII):

- Name und Anschrift des Herstellers,
- Beschreibung des Druckgerätes oder der Baugruppe,
- Angewandtes Konformitätsbewertungsverfahren,
- Name und Anschrift der benannten Stelle,
- Verweis auf EG-Entwurfsprüfungsbescheinigung,
- Hinweis auf angewandte Normen,
- Rechtsverbindliche Unterschrift des Herstellers.

In Bild 1.7 ist ein Ablaufdiagramm nach der DGRL dargestellt.

## 1.3 Betriebssicherheitsverordnung

Diese Verordnung gilt auch für Überwachungsbedürftige Anlagen im Sinne des § 2 Abs. 2a des Gerätesicherheitsgesetzes (GSG), soweit es sich um Rohrleitungen unter innerem Überdruck für entzündliche, leichtentzündliche, hochentzündliche, ätzende oder giftige Gase, Dämpfe oder Flüssigkeiten handelt.

### 1.3.1 Prüfung vor Inbetriebnahme

Eine Überwachungsbedürftige Anlage darf erstmalig und nach einer wesentlichen Veränderung nur in Betrieb genommen werden, wenn die Anlage unter Berücksichtigung der vorgesehenen Betriebsweise durch eine zugelassene Überwachungsstelle auf ihren ordnungsgemäßen Zustand hinsichtlich der Montage, der Installation, den Aufstellungsbedingungen und der sicheren Funktion geprüft worden ist.

Rohrleitungen, die nach:

- Diagramm 6 (Bild 1.3), sofern das Produkt aus maximal zulässigem Druck PS und Nennweite DN nicht mehr als 2000 beträgt und die Rohrleitung nicht für sehr giftige Fluide verwendet wird, oder

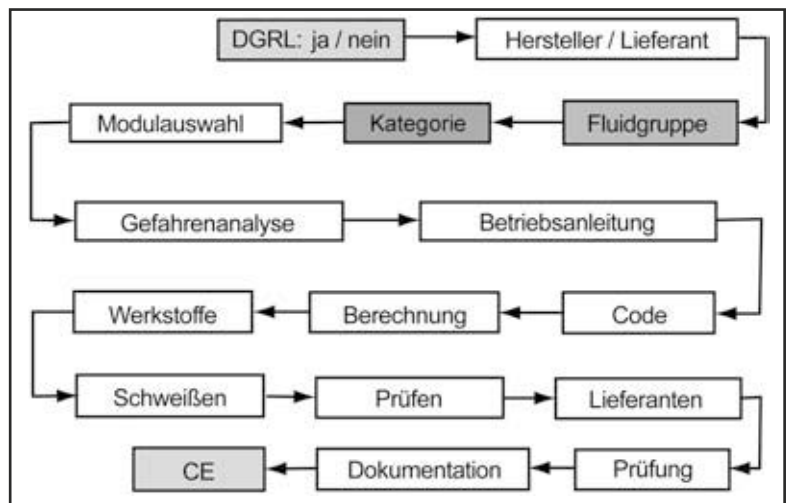


Bild 1.7  
Ablaufdiagramm  
nach der DGRL

Tabelle 1.5 Fristen für wiederkehrende Prüfungen

Einstufung des Druckgeräts gemäß Artikel 9 in Verbindung mit Anhang II der Richtlinie 97/23/EG nach	Äußere Prüfung	Innere Prüfung	Festigkeitsprüfung
Diagramm 6 in die a) Kategorie I, sofern die Rohrleitung für sehr giftige Fluide verwendet wird, oder b) Kategorie II oder III, sofern die Rohrleitung für – sehr giftige Fluide oder – andere Fluide, wenn das Produkt aus maximal zulässigem Druck PS und Nennweite DN mehr als 2000 beträgt, verwendet wird	5 Jahre	–	5 Jahre
Diagramm 7 in die a) Kategorie I, sofern das Produkt aus maximal zulässigem Druck PS und Nennweite DN mehr als 2000 beträgt, oder b) Kategorie II oder III			
Diagramm 8 in die Kategorie I, II oder III			
Diagramm 9 in die Kategorie I oder II			

- Diagramm 7 (Bild 1.4), sofern das Produkt aus maximal zulässigem Druck PS und Nennweite DN nicht mehr als 2000 beträgt, können durch befähigte Personen geprüft werden.

### 1.3.2 Wiederkehrende Prüfungen

Eine überwachungsbedürftige Anlage und ihre Anlagenteile sind in bestimmten Fristen wiederkehrend auf ihren ordnungsgemäßen Zustand hinsichtlich des Betriebs durch eine zugelassene Überwachungsstelle zu prüfen. Der Betreiber hat die Prüf Fristen der Gesamtanlage und der Anlagenteile auf der Grundlage einer sicherheitstechnischen Bewertung zu ermitteln. Prüflisten für Rohrleitungen s. Tabelle 1.5.

Prüfungen besonderer Druckgeräte, § 17 der BetrSichV, sind im Anhang 5 der Verordnung genannt.

## 1.4 Fließbilder

Das Fließbild (Anlagenschema, Fließschema, Wärmeschaltplan, Rohrleitungsplan usw.) ist eine mit Hilfe von Bild- und Schriftzeichen

vereinfachte zeichnerische Darstellung von Aufbau und Funktion von Anlagen. Es dient der Verständigung der an solchen Anlagen beteiligten Stellen.

Aufbau und Darstellungsart des Planes ist freizügig dem Verwendungszweck anzupassen. Es ist der Darstellungsart der Vorzug zu geben, die am einfachsten, übersichtlichsten und einprägsamsten ist. Diesem Ziel kommt man am nächsten, wenn die Bildzeichen innerhalb der Pläne in waagerechter wie in senkrechter Richtung geordnet werden, wenn der Linienzug der Hauptleitung möglichst wenig Umlenkungen erhält und wenn Kreuzungen weitgehend vermieden werden.

### 1.4.1 Bildzeichen für Anlagensysteme

Bildzeichen sollen die zeichnerische Ausführung von Fließbildern mit einfachen Zeichen darstellen. Sie sind Symbole für Einzelteile. Die konstruktive Ausführung wird nur soweit berücksichtigt, als dies zur Erzielung leichtverständlicher Zeichen und Bilder erforderlich ist. Sie können in jeder Lage, entsprechend dem jeweiligen Verlauf der Leitungen, in die Pläne eingefügt werden.