

Rohrleitungs- und Apparatebau

Günter Scholz

Rohrleitungs- und Apparatebau

Planungshandbuch für Industrie- und
Fernwärmeversorgung



Springer Vieweg

Günter Scholz
Berlin
Deutschland

ISBN 978-3-642-25424-6 ISBN 978-3-642-25425-3 (eBook)
DOI 10.1007/978-3-642-25425-3
Springer Heidelberg Dordrecht London New York

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

Springer Vieweg

© Springer-Verlag Berlin Heidelberg 2012

Das Werk einschließlich aller seiner Teile ist urheberrechtlich geschützt. Jede Verwertung, die nicht ausdrücklich vom Urheberrechtsgesetz zugelassen ist, bedarf der vorherigen Zustimmung des Verlags. Das gilt insbesondere für Vervielfältigungen, Bearbeitungen, Übersetzungen, Mikroverfilmungen und die Einspeicherung und Verarbeitung in elektronischen Systemen.

Die Wiedergabe von Gebrauchsnamen, Handelsnamen, Warenbezeichnungen usw. in diesem Werk berechtigt auch ohne besondere Kennzeichnung nicht zu der Annahme, dass solche Namen im Sinne der Warenzeichen- und Markenschutz-Gesetzgebung als frei zu betrachten wären und daher von jedermann benutzt werden dürften.

Gedruckt auf säurefreiem und chlorfrei gebleichtem Papier

Springer Vieweg ist eine Marke von Springer DE.

Springer DE ist Teil der Fachverlagsgruppe Springer Science+Business Media
www.springer-vieweg.de

Vorwort

In diesem Buch wird das erforderliche theoretische und praktische Wissen, das für die Planung und Ausführung von Rohrleitungs- und Versorgungsrohrnetzen für Hochdruckdampf, Heißwasser, Druckluft und Kühlwasser benötigt wird, zur Verfügung gestellt.

In vollständig durchgerechneten Beispielen werden sowohl die strömungstechnischen als auch die konstruktiven Grundlagen und alle für den Rohrleitungs- und für den Apparatebau erforderlichen Berechnungsverfahren hergeleitet und deren Anwendung gezeigt.

Rohrleitungsanlagen für die Industrie und die Fernwärme beinhalten auch immer Wärmeerzeuger und Strömungsmaschinen wie Pumpen, Verdichter und Turbinen, die allerdings, um den Umfang des Buches in Grenzen zu halten, hier nicht aufgenommen werden konnten. Diese für die Funktion wichtigen Bauteile von Versorgungsanlagen sowie ihre Berechnung und Ausführung werden in separaten Fachbüchern behandelt, die demnächst im gleichen Verlag erscheinen. Weitere Hinweise zum Inhalt des Buches enthalten die Einleitungen zu den jeweiligen Kapiteln.

Tabellen mit Stoffwerten und Arbeitsdiagramme wurden in das Handbuch nur in dem Umfang aufgenommen, wie es für das Verständnis des behandelten Stoffes und die Durchführung von Berechnungsbeispielen erforderlich war. Die Diagramme aus der wärmetechnischen Arbeitsmappe oder aus dem VDI-Wärmeatlas wurden im kleinen Format wiedergegeben, um deren Anwendung und Handhabung zu zeigen. Dem Buch wurden keine eigenen Arbeitsblätter beigelegt, weil der Ingenieur sich diese nach eigenem Ermessen bei Verlagen oder im Fachhandel beschaffen kann und sicher auch noch aus seinem Studium über Taschenbücher und eine Dampftafel verfügt.

Die Berechnungen in den Beispielen wurden in unterschiedlicher Form ausgeführt bzw. dem behandelnden Stoff und der in der Praxis geeigneten Form entsprechend aufgebaut.

Ein Teil der Beispiele ist wie in den üblichen Lehrbüchern in der Form „Aufgabenstellung mit gegebenen und gesuchten Werten“ gegliedert, und das Ergebnis wird am Schluss ausführlich diskutiert. Andere Beispiele mit kurzen Lösungswegen sind wie in Taschenbüchern üblich in Kurzform aufgebaut, und die Diskussion der Ergebnisse erfolgt in einer Zusammenfassung für mehrere Beispiele.

Einzelne sehr umfangreiche Beispiele im Kap. 3 enthalten keine Aufgabenstellung, sondern eine, wie in der Praxis üblich, Nutzerbeschreibung und die Anforderungen, die die Apparatekonstruktion zu erfüllen hat. Die Reihenfolge des Lösungsweges ergibt sich dann aus dem Gedankengang des Sachbearbeiters und aus der Tatsache, dass errechnete Teilergebnisse für die schrittweise Weiterführung des Lösungsweges benötigt werden, also zwangsweise vorher zu berechnen sind, und daraus, dass die getroffenen Annahmen durch Kontrollrechnungen anschließend zu überprüfen sind.

Die Zeichenerklärung zu den Berechnungsformeln wird immer im Zusammenhang mit den Formeln genannt. Diese Darstellung hat sich in bevorzugten Handbüchern in der Praxis bewährt, weil der nachschlagende Leser die Erklärung ebendort finden möchte, wo die Formel genannt und angewandt wird und nicht in einer Gesamtzusammenstellung am Anfang oder Ende des Handbuches.

Die anerkannten Regeln der Technik, die Gesetze des Bundes und der Länder und die von den Ländern eingeführten Baurichtlinien und Normblätter wurden und werden, wegen der Einführung von europäischen Normen (DIN-EN-Normen) und der Zurückziehung von nationalen Normen (DIN), noch ständig geändert. Die europäischen Normungsinstitute rechnen damit, dass die Bearbeitungsphase noch bis 2012 und 2013 andauern wird. Aus diesem Grund wurden im vorliegenden Buch überwiegend die nationalen DIN-Vorschriften genannt, und auf die bereits verfügbaren DIN-EN-Normen wurde immer dort hingewiesen, wo die europäischen Normen inzwischen vorliegen und wesentliche Änderungen gegenüber den nationalen Normen aufweisen. Es ist damit zu rechnen, dass die genannten DIN-Blätter bis zur Herausgabe des Buches und in den Jahren danach zurückgezogen und durch DIN-EN-Normen ersetzt werden oder einen nationalen Anhang erhalten.

Aus diesem Grund muss sich jeder Ingenieur, der Berechnungen und Planungsleistungen erstellt und diese bei Behörden und deren Überwachungsvereinen zur Genehmigung einreichen muss, vorher erkundigen, nach welchen Normen und Richtlinien die Berechnungen und konstruktiven Gestaltungsvorschriften anzufertigen sind. Die Überarbeitung der im Buch vorhandenen Berechnungsbeispiele von Druckbehältern und Flanschverbindungen kann erst nach Abschluss der EN-Normen und der AD 2000 in der nächsten Ausgabe erfolgen.

Der Verfasser bedankt sich bei den Firmen, die Fotos und Abbildungen zur Veröffentlichung zur Verfügung gestellt haben. Insbesondere bedanke ich mich bei meinem Sohn Dipl. Ing. Frank Scholz, der mich bei der Umsetzung des ursprünglichen Konzepts in das nun vorliegende Buch unterstützt hat, bei Frau Melanie Schmidt für die Erstellung der Abbildungen und bei Frau Béla Götze für die Ausführung der Reinschrift.

Anregungen, Hinweise und Ergänzungen, die zur Verbesserung und Vervollständigung des Buches beitragen, werden vom Herausgeber dankbar entgegengenommen.

Inhalt

1	Strömungstechnische Berechnung von Rohrleitungsanlagen	1
1.1	Einleitung	1
1.2	Grundlagen für die Berechnung von Rohrnetzen für Wärmeträger	1
1.3	Druckverlust für die mit Reibung behaftete und volumenbeständige Rohrströmung von Flüssigkeiten	2
1.4	Druckverlust von Einzelwiderständen in Rohrnetzen	14
1.5	Druckverlustberechnung für kompressible Fluide	17
1.5.1	Druckverlust in Hochdruckdampfleitungen mit Wärmeverlusten	19
1.5.2	Druckverlust in Hochdruckgasleitungen	20
1.5.3	Druckverlust in Druckluftleitungen	22
1.6	Berechnungsbeispiele für den Abschn. 1.3 Inkompressible Strömungsvorgänge	23
1.7	Berechnungsbeispiele für das Kap. 1.5 Kompressible Strömungsvorgänge	35
1.7.1	Berechnung von Nieder- und Mitteldruckgasrohrnetzen	55
1.8	Grundlagen der Hydro- und Aerostatik	62
1.8.1	Stoffeigenschaften	62
1.8.2	Hydrostatischer Druck	63
1.8.3	Der hydrostatische Druck und seine Wirkung auf horizontale und vertikale Behälterflächen	63
1.8.4	Der Druckmittelpunkt bei vertikalen Flächen	64
1.8.5	Diskussion der Ergebnisse	68
1.8.6	Aerostatik	69
1.8.7	Der Auftrieb in Flüssigkeiten	70
1.8.8	Thermischer Auftrieb in Luft oder Gasen	71
1.9	Grundsätze der Hydrodynamik	72
1.9.1	Die Kontinuitätsgleichung	72
1.9.2	Die Energiegleichung der Strömungslehre	73
1.9.3	Ausfluss von Flüssigkeiten aus einem Gefäß	74
1.9.4	Der Impulssatz	75
1.9.5	Der Impulsmomentensatz	76
	Literatur	78

2 Grundlagen und Festigkeitsberechnung für den Rohrleitungsbau . . .	79
2.1 Einleitung	79
2.2 Statische und elastostatische Berechnungen im Rohrleitungsbau . . .	80
2.2.1 Allgemeine Grundlagen	80
2.2.2 Berechnungen der Längenänderung und der Kräfte, die bei behinderter Ausdehnung auftreten	81
2.2.3 Belastungsfälle und Spannungsbeanspruchungen in Rohrleitungen	86
2.2.4 Berechnung von Rohrbogen-Dehnungsausgleichern	91
2.2.5 Elastostatische Berechnungen von Reaktionskräften und Spannungen für ebene und räumliche Rohrleitungssysteme	101
2.2.6 Berechnung von Rohrbogen-Dehnungsausgleichern nach Schwedler-Jürgenson	127
2.3 Bauarten von handelsüblichen Kompensatoren und deren Einbau in Dampf- oder Heißwasserrohrleitungen	143
2.3.1 Einfache Wellrohr- oder Axialkompensatoren	143
2.3.2 Gelenkkompensator	151
2.3.3 Rohrgelenkstücke	158
2.4 Beanspruchung der Rohrleitungen durch den Betriebsdruck und durch Druckstöße	169
2.4.1 Beanspruchung der Rohrleitungen durch den Betriebsdruck	169
2.4.2 Druckstöße in Rohrleitungen	173
2.5 Biegebeanspruchung von Rohrleitungen durch Eigengewicht und Einbauten	178
2.5.1 Einleitende Erläuterungen zur Ermittlung der zulässigen Stützweite	178
2.5.2 Berechnung der zulässigen Stützweiten	179
2.6 Festigkeitshypothese für zusammengesetzte Beanspruchung im Rohrleitungsbau	184
2.7 Flanschverbindungen und Verteiler mit Flanschverbindungen	189
2.7.1 Berechnung und Beschreibung von Flanschverbindungen . . .	189
2.7.2 Berechnung der Schraubenkraft und Festlegung der Schrauben und der Schraubenanzugsmomente nach AD-Merkblatt B7 und VDI 2230	197
2.7.3 Verteiler für Wärmeträger mit Flanschverbindungen	203
2.8 Armaturen und direktwirkende Regel- und Sicherheitsarmaturen . . .	209
2.8.1 Allgemeine Hinweise zu Armaturen aus Gusswerkstoffen, Messing, Kupfer und Bronze	209
2.8.2 Auswahl geeigneter Absperrarmaturen	209
2.8.3 Auswahl von geeigneten Rückschlagventilen und rückflussverhindernden Armaturen	217
2.8.4 Auswahl von Sicherheitsarmaturen	219
2.8.5 Direktwirkende Regelarmaturen	220

2.8.6	Kondensatableiter und Wasserabscheider	230
2.8.7	Anzeigegeräte, Durchflussmessgeräte und Wärmeverbrauchszähler	235
2.9	Schweißverbindungen im Rohrleitungsbau	243
2.9.1	Vorbereiten der Schweißnaht	243
2.9.2	Ausführung der Schweißung	244
2.9.3	Prüfung der Schweißnähte	247
2.9.4	Nachbesserung der Schweißnähte	247
2.10	Wärme- und Kälte­dämmung von Rohrleitungen	248
2.10.1	Allgemeines zur Dämmung von Rohrleitungen	248
2.10.2	Erläuterungen zum Einsatz der verschiedenen Wärmedämmstoffe und Wärmedämmsysteme	250
2.10.3	Ausführung von Wärmedämmkappen für Armaturen und Flanschverbindungen	253
2.10.4	Berechnung von Wärmeverlusten in Rohrleitungen	256
2.10.5	Berechnung der wirtschaftlichen Dämmstoffdicke	259
	Literatur	262
3	Bauarten und wärmetechnische Berechnungen von Wärmeübertragungsapparaten, Wärmespeichern und Druckbehältern	263
3.1	Einleitung und allgemeine Hinweise zu den Wärmeübertragungsapparaten	263
3.2	Oberflächenwärmeüberträger als Gegenstromwärmeaustauscher	264
3.2.1	Bauarten von Wärmeaustauschern	264
3.2.2	Die Berechnung von Flächenwärmeaustauschern	269
3.2.3	Aufstellung und Ausrüstung von Oberflächenwärmeüberträgern	274
3.2.4	Oberflächenwärmeüberträger als Plattenwärmeaustauscher	275
3.3	Dampferzeuger als Wärmeüberträger mit HD-Dampf, Heißwasser oder Thermo-Öl als Heizmedium	314
3.3.1	Bauarten von Dampferzeugern	314
3.3.2	Berechnung des Dampferzeugers	318
3.3.3	Aufstellung und Ausrüstung von indirekt beheizten Dampferzeugern	328
3.4	Kaskadenwärmeüberträger zur Umformung von HD-Dampf in Heißwasser	329
3.4.1	Bauart und Funktionsbeschreibung	329
3.4.2	Berechnung und Konstruktion des Kaskadenumformers	333
3.4.3	Aufstellung, Schaltung und Ausrüstung von Kaskadenwärmeumformern	340
3.5	Oberflächenwärmeüberträger mit und ohne Speicherbehälter zur Gebrauchswarmwasseraufheizung	361

- 3.5.1 Bauarten von Gebrauchswasserspeichern und Oberflächenwärmeaustauschern 361
- 3.5.2 Berechnung der erforderlichen Wärmeleistung, Heizfläche und des Speichervolumens 364
- 3.5.3 Aufstellung und Ausrüstung von Wärmeüberträgern und Wärmespeichern für Trink- und Betriebswasser 366
- 3.6 Kondensatoren für Wasserdampf und Kältemitteldampf 366
 - 3.6.1 Bauarten und Funktion von Kondensatoren 367
 - 3.6.2 Berechnung von Kondensatoren 370
 - 3.6.3 Ausrüstung und Aufstellung von Kondensatoren 371
- 3.7 AusdehnungsgefäÙe, Dampfspeicher und Heißwasserwärmespeicher 373
 - 3.7.1 Funktion und Ausführung der MembranausdehnungsgefäÙe(MAG) 373
 - 3.7.2 Berechnung der erforderlichen Volumenaufnahme zur Auswahl des MembranausdehnungsgefäÙes (MAG) 374
 - 3.7.3 Aufstellung, Schaltung und Ausrüstung eines MAG 378
 - 3.7.4 Bauart und Funktion des DampfgefäÙespeichers 379
 - 3.7.5 DampfgefäÙespeicher als Düsenwärmeüberträger 385
 - 3.7.6 Bauart und Funktion eines Heißwasserspeichers und seine Schaltung ins Versorgungsnetz 386
- 3.8 Vorschriften für die Berechnung, Herstellung, Ausrüstung und den Betrieb von Druckbehältern 390
 - 3.8.1 Grundlagen und Vorschriften für die Durchführung von Festigkeitsberechnungen im Druckbehälterbau 390
 - 3.8.2 Werkstoffkennwerte 393
 - 3.8.3 Regelmäßige Prüfungen 395
 - 3.8.4 Schlussfolgerungen aus den Vorschriften für die Aufstellung und Betreibung von DruckgefäÙen 396
- Literatur 397
- Anhang** 399
- Sachverzeichnis** 405