

STRADTMANN

# STAHLROHR- HANDBUCH

11. AUFLAGE

zusammengestellt von Dieter Schmidt unter  
Mitarbeit von Walter G. von Baeckmann  
Karl-Heinz Brensing · Gunther Dette · Guido  
Dolder · Heinrich Engelmann · Robert  
Gillesen · Manfred Klöpsch · Karl Kubat †  
Werner Lindow · Helmut Pirchl · Baldur  
Sommer · Bernd Thier · Manfred Weber  
Walter Zimnik



**VULKAN-VERLAG**

# Inhaltsverzeichnis

<i>Geleitwort des Stahlrohrverband e. V.</i> . . . . .	<i>V</i>
<i>Vorwort</i> . . . . .	<i>VII</i>
<i>Autorenverzeichnis</i> . . . . .	<i>IX</i>
<i>I Einleitung</i> . . . . .	<i>1</i>
 <i>II Rohrstähle</i>	
1. Allgemeine Einteilung der Stahlsorten . . . . .	5
2. Herstellung des Rohrvormaterials . . . . .	6
2.1. Schmelzen . . . . .	6
2.2. Vergießen . . . . .	9
2.3. Warmformgebung . . . . .	10
2.3.1. Vormaterial für nathlose Rohre . . . . .	11
2.3.2. Vormaterial für geschweißte Rohre . . . . .	13
2.4. Äußere und innere Beschaffenheit des Rohrvormaterials . . . . .	14
2.5. Wärmebehandlung . . . . .	15
3. Werkstoffeigenschaften . . . . .	24
3.1. Kennzeichnung und Prüfung . . . . .	24
3.1.1. Mechanisch-technologische Eigenschaften . . . . .	24
3.1.2. Physikalische Eigenschaften . . . . .	26
3.1.3. Verhalten gegenüber chemischen Agenzien . . . . .	27
3.2. Einfluß auf die Werkstoffeigenschaften . . . . .	27
3.2.1. Stahlzusammensetzung und Gefügeausbildung . . . . .	28
3.3. Schweißen . . . . .	32
3.3.1. Allgemeine Anforderungen an geschweißte Bauteile . . . . .	32
3.3.2. Einfluß der chemischen Zusammensetzung . . . . .	33
4. Benennung der Stähle . . . . .	36
4.1. Systematik der Werkstoffnummern . . . . .	36
4.2. Kurznamen der Stahlsorten . . . . .	36
5. Vorschriften für Stahlrohre . . . . .	39
5.1. Allgemeine Anforderungen . . . . .	39
5.2. Allgemeine Vorschriften . . . . .	40
5.3. Rohrnormen-Übersicht . . . . .	41
6. Stähle für Rohre und Zubehör . . . . .	42

6.1.	Nahtlose Rohre – Stahlgüten . . . . .	42
6.1.1.	Nahtlose Rohre aus unlegierten Stählen . . . . .	42
6.1.2.	Nahtlose Rohre aus Feinkornbaustählen für besondere Anforderungen . . . . .	42
6.1.3.	Nahtlose Rohre aus warmfesten Stählen und hochwarmfesten Stählen . . . . .	43
6.1.4.	Nahtlose Rohre aus kaltzähren Stählen . . . . .	44
6.1.5.	Nahtlose Rohre aus nichtrostenden Stählen . . . . .	44
6.2.	Geschweißte Rohre – Stahlgüten . . . . .	55
6.2.1.	Geschweißte Rohre aus unlegierten Stählen . . . . .	55
6.2.2.	Geschweißte Rohre aus Feinkornbaustählen für besondere Anforderungen . . . . .	70
6.2.3.	Geschweißte Rohre aus warmfesten Stählen . . . . .	70
6.2.4.	Geschweißte Rohre aus kaltzähren Stählen . . . . .	70
6.2.5.	Geschweißte Rohre aus nichtrostenden Stählen . . . . .	70
6.3.	Nahtlose und geschweißte Rohre – Stahlgüten . . . . .	70
6.3.1.	Rohre für Fernleitungen für brennbare Flüssigkeiten und Gase . . . . .	70
6.3.2.	Ölfeldrohre . . . . .	84
6.3.3.	Rohre für Wasserleitungen . . . . .	85
6.4.	Stähle für Rohrvormaterial . . . . .	85
6.4.1.	Allgemeine Baustähle . . . . .	85
6.4.2.	Wetterfeste und verschleißfeste Baustähle . . . . .	89
6.4.3.	Warmfeste und kaltzähre Stähle . . . . .	89
6.4.4.	Höherfeste und hochfeste schweißgeeignete Feinkornbaustähle . . . . .	98
6.4.5.	Hochwarmfeste Stähle . . . . .	98
6.4.6.	Druckwasserstoffbeständige Stähle . . . . .	114
6.4.7.	Nichtrostende Stähle . . . . .	114
6.4.8.	Hitzebeständige Stähle . . . . .	128
6.4.9.	Vergütungs- und Einsatzstähle . . . . .	128
6.5.	Warmfeste schweißgeeignete Stähle für Flansche . . . . .	132
6.6.	Schraubenstähle . . . . .	132
6.6.1.	Unlegierte Stähle . . . . .	132
6.6.2.	Warmfeste Stähle . . . . .	132
6.7.	Stähle für Halterungen bei hohen Betriebstemperaturen . . . . .	132
6.7.1.	Stähle für Schweißkonstruktionen . . . . .	132
6.7.2.	Warmfester und hitzebeständiger Stahlguß . . . . .	132
6.8.	Stähle für Schweißzusätze . . . . .	132
7.	Schrifttum . . . . .	140

### III Herstellverfahren

1.	Einleitung . . . . .	143
2.	Nahtlose Rohre . . . . .	146
2.1.	Schrägwalz-Pilgerschrittverfahren . . . . .	148
2.2.	Stopfenwalzverfahren . . . . .	153
2.3.	Rohrkontiverfahren . . . . .	156
2.4.	Stoßbankverfahren . . . . .	161
2.5.	Ziehpreßverfahren . . . . .	162
2.6.	Rohrstrangpreßverfahren . . . . .	164

2.7.	Schrägwalzverfahren . . . . .	165
2.7.1.	Asselwalzverfahren . . . . .	165
2.7.2.	Diescherwalzverfahren . . . . .	167
3.	Kaltweiterverarbeitung von Röhren . . . . .	167
3.1.	Kaltziehen . . . . .	168
3.2.	Kaltpilgern . . . . .	172
4.	Geschweißte Rohre . . . . .	174
4.1.	Preßschweißverfahren . . . . .	175
4.1.1.	Feuerpreßschweißen (Fretz-Moon-Verfahren) . . . . .	175
4.1.2.	Widerstandspreßschweißen . . . . .	176
4.1.2.1.	Gleichstromverfahren . . . . .	176
4.1.2.2.	Niederfrequenzverfahren . . . . .	176
4.1.2.3.	Hochfrequenzverfahren . . . . .	177
4.2.	Schmelzschweißverfahren . . . . .	183
4.2.1.	Unterpulver-Schweißverfahren . . . . .	183
4.2.2.	Schutzgas-Schweißverfahren . . . . .	186
4.2.3.	Längsnahtrohrherstellung (U-O-Verfahren) . . . . .	188
4.2.4.	Spiralrohrherstellung . . . . .	191
4.2.4.1.	Spiralrohrherstellung mit gemeinsamen Form- und Schweißanlagen . . . . .	193
4.2.4.2.	Spiralrohrherstellung mit getrennten Form- und Schweißanlagen . . . . .	196
5.	Schrifttum . . . . .	200

#### IV Bemessung von Stahlrohren

1.	Druckabfallberechnung . . . . .	201
1.1.	Rohrdurchmesser . . . . .	201
1.2.	Druckabfall in geraden Röhren kreisförmigen Querschnitts . . . . .	204
1.3.	Druckabfall in Bogen kreisförmigen Querschnitts . . . . .	208
1.4.	Druckabfall in Einzelwiderständen . . . . .	208
1.5.	Hinweise zur Druckabfallberechnung . . . . .	209
1.6.	Druckabfall in Wasserleitungen . . . . .	213
1.7.	Druckabfall in Gas- und Luftleitungen . . . . .	226
1.8.	Druckabfall in Dampfleitungen . . . . .	235
1.9.	Druckabfall in Ölleitungen . . . . .	240
2.	Wärmedämmung . . . . .	244
2.1.	Theoretische Grundlagen . . . . .	244
2.2.	Ausführung . . . . .	249
3.	Festigkeitsberechnung von Stahlrohren . . . . .	253
3.1.	Allgemeines . . . . .	253
3.2.	Stahlrohre unter Innendruck nach DIN 2413 (Entwurf April 1989) . . . . .	257
3.2.1.	Rohrleitungen für vorwiegend ruhende Innendruckbeanspruchung bis zu 120 °C Berechnungstemperatur . . . . .	262
3.2.2.	Rohrleitungen für vorwiegend ruhende Innendruckbeanspruchung über 120 °C Berechnungstemperatur . . . . .	264
3.2.3.	Rohrleitungen für schwellende Innendruckbeanspruchung . . . . .	265

3.3.	Rohre als druckführende Teile von Druckbehältern nach AD-Merkblättern . . . . .	268
3.3.1.	Zylindrische Druckbehältermäntel unter innerem Überdruck (AD Merkblatt B1, Aug. Juni 86) . . . . .	277
3.3.2.	Zylindrische Schalen unter äußerem Überdruck (AD-Merkblatt B6, Aug. Jan. 86) . . . . .	278
3.4.	Rohre als druckführende Teile von Dampfkesseln nach TRD der Reihe 300 . . . . .	282
3.4.1.	Zylinderschalen unter innrem Überdruck (TRD 301) . . . . .	284
3.4.2.	Berechnung von Rohrbogen (TRD 301, Anlage 2) . . . . .	287
3.4.3.	Zylinderförmige Schalen unter äußerem Überdruck (TRD 306) . . . . .	288
3.5.	Eingeerdete Stahlrohre . . . . .	295
3.6.	Formstücke aus Stahlrohren (AD-Merkblatt B9 Aug. Juni 86) . . . . .	297
3.7.	Zylinderschalen mit Ausschnitten (TRD 301) . . . . .	299
3.8.	Sonstige Vorschriften . . . . .	302
3.8.1.	Acetylenleitungen TRAC 204 . . . . .	303
3.8.2.	Rohrleitungen zur Beförderung brennbarer Flüssigkeiten (TRbF 212) . . . . .	305
3.8.3.	Rohre in Wärmeübertragungsanlagen (DIN 4754 Aug. 1.1980) . . . . .	306
3.9.	Stützweite von Stahlrohren . . . . .	306
3.10.	Hydraulischer Druckstoß in Rohren . . . . .	307
4.	Schrifttum . . . . .	310

## V Rohrverbindungen

1.	Einleitung . . . . .	313
2.	Übersicht und Einteilung . . . . .	313
2.1.	Lösbare Verbindungen . . . . .	313
2.1.1.	Flanschverbindungen . . . . .	313
2.1.2.	Muffenverbindungen . . . . .	317
2.1.3.	Rohrverschraubungen . . . . .	318
2.1.4.	Sonderverbindungen . . . . .	321
2.2.	Unlösbare Verbindungen . . . . .	323
2.2.1.	Schweißverfahren . . . . .	323
2.2.2.	Schweißverbindungsform . . . . .	324
2.2.3.	Wärmebehandlung von Schweißverbindungen . . . . .	326
2.2.4.	Schweißnahtfehler; Schweißnahtprüfung . . . . .	327
3.	Betriebliche und planerische Aspekte . . . . .	328
3.1.	Normierung von Rohrleitungsverbindungen . . . . .	328
3.2.	Sicherheit/Dichtheitsgrad/Leckagerisiko . . . . .	328
3.3.	Werkstoffe, Werkstoffbeständigkeit . . . . .	330
3.4.	Mechanische Beanspruchung, Prüf- und Berechenbarkeit von Rohrverbindungen . . . . .	330
3.4.1.	Flanschverbindungen . . . . .	330
3.4.2.	Schweißverbindungen . . . . .	331
3.5.	Lösbarkeit, Montage . . . . .	332
3.6.	Reinhaltung, Spülbarkeit . . . . .	333
3.7.	Verschiedenes . . . . .	333
3.8.	Kostenbetrachtung . . . . .	333
4.	Schrifttum . . . . .	334

*VI Formstücke*

1.	Allgemeines . . . . .	335
2.	Richtungsänderungen des Rohrstranges . . . . .	335
3.	Querschnittsänderungen des Rohrstranges . . . . .	348
4.	Wanddicken/Werkstoffänderung des Rohrstranges . . . . .	352
5.	Stromvereinigung – Stromtrennung . . . . .	352
6.	Rohrverschlüsse . . . . .	356
7.	Form-Schweißen . . . . .	364
8.	Schrifttum . . . . .	364

*VII Korrosion und Korrosionsschutz*

1.	Allgemeines . . . . .	365
2.	Korrosionsmedien und Schutzmöglichkeiten . . . . .	366
2.1.	Korrosion in der Atmosphäre und in Gasen . . . . .	367
2.2.	Wässer . . . . .	367
2.3.	Erdböden . . . . .	368
2.3.1.	Einteilung nach Bodenarten . . . . .	371
2.3.2.	Spezifischer Bodenwiderstand . . . . .	371
3.	Korrosionsverhalten von Rohrstählen . . . . .	372
3.1.	Unlegierte und niedriglegierten Stähle . . . . .	372
3.2.	Nichtrostende Stähle . . . . .	373
4.	Korrosionsschutzbeschichtungen . . . . .	373
4.1.	Außenschutz . . . . .	374
4.1.1.	Oberflächenvorbereitung . . . . .	374
4.1.2.	Phosphatieren . . . . .	375
4.1.3.	Korrosionsschutz-Beschichtungen . . . . .	376
4.1.4.	Temporärer Korrosionsschutz . . . . .	376
4.1.5.	Rohrumhüllungen . . . . .	378
4.1.6.	Baustellenumhüllung . . . . .	381
4.1.7.	Schutz von Fernwärmeleitungen . . . . .	383
4.2.	Innenschutz . . . . .	383
4.2.1.	Epoxidharzauskleidung . . . . .	383
4.2.2.	Auskleidung auf bituminöser Basis . . . . .	383
4.2.3.	Auskleidung mit Zementmörtel . . . . .	384
4.3.	Metallische Überzüge . . . . .	384
4.3.1.	Feuerverzinkung . . . . .	384
4.3.2.	Elektrolytische Überzüge . . . . .	385
4.3.3.	Plattieren . . . . .	385
4.4.	Emaillieren . . . . .	386
5.	Elektrochemischer Korrosionsschutz . . . . .	386
5.1.	Kathodischer Schutz . . . . .	386
5.2.	Kathodischer Korrosionsschutz durch galvanische Anoden . . . . .	388
5.3.	Kathodischer Korrosionsschutz durch Fremdstrom . . . . .	389
5.4.	Kathodischer Schutzbereich von Rohrleitungen . . . . .	392

5.5.	Nachmessung und Überwachung des kathodischen Schutzes . . . . .	393
5.6.	Kathodischer Schutz bei Streustromeinfluß . . . . .	395
5.7.	Kathodischer Schutz für Stahlrohre von Gasaußendruckkabeln . . . . .	397
5.8.	Lokaler kathodischer Schutz von Rohrleitungen in Industrieanlagen . . . . .	397
5.9.	Kathodischer Innenschutz . . . . .	398
5.10.	Anodischer Korrosionsschutz . . . . .	399
6.	Maßnahmen bei der Hochspannungsbeeinflussung von Rohrleitungen . . . . .	401
6.1.	Kurzzeitbeeinflussung . . . . .	401
6.2.	Langzeitbeeinflussung . . . . .	406
7.	Schrifttum . . . . .	407
7.1.	Deutsche Normen . . . . .	407
7.2.	DVGW-Arbeitsblätter, VDI-Richtlinien, VDE-Bestimmungen . . . . .	408
7.3.	AfK-Empfehlungen . . . . .	409
7.4.	Technische Regeln für brennbare Flüssigkeiten . . . . .	409
7.5.	Bücher und Veröffentlichungen . . . . .	409

## VIII Anwendungsgebiete

### 1. Rohrleitungen in Wärmekraftwerken

1.1.	Typische Schaltungsbeispiele . . . . .	413
1.1.1.	Kondensations-Kraftwerke . . . . .	413
1.1.2.	Heizkraftwerke . . . . .	418
1.1.3.	Industriekraftwerke . . . . .	420
1.2.	Bestimmung des lichten Rohrdurchmessers . . . . .	422
1.3.	Werkstoffauswahl . . . . .	423
1.4.	Wanddickenberechnung . . . . .	424
1.5.	Elastizitätsberechnung . . . . .	425
1.6.	Rohrunterstützungen und -Aufhängungen . . . . .	429
1.7.	Armaturen . . . . .	434
1.7.1.	Absperrarmaturen . . . . .	434
1.7.2.	Rückschlagventile und -Klappen . . . . .	441
1.7.3.	Regelventile . . . . .	443
1.7.4.	Sicherheitsventile . . . . .	443
1.7.5.	Sonderarmaturen . . . . .	447
1.7.6.	Kondensatableiter . . . . .	452

### 2. Fernwärmeleitungen

2.1.	Einleitung . . . . .	454
2.2.	Planung . . . . .	455
2.2.1.	Auslegung und Dimensionierung . . . . .	455
2.2.1.1.	Hydraulik . . . . .	456
2.2.1.2.	Festigkeit . . . . .	457
2.2.1.3.	Wärmeverluste . . . . .	458
2.2.2.	Bauplanung . . . . .	459

2.2.3.	Weitere Planungsaufgaben . . . . .	460
2.3.	Leitungsbau . . . . .	461
2.3.1.	Tiefbau . . . . .	461
2.3.2.	Verlegeverfahren . . . . .	461
2.3.2.1.	Freileitungen . . . . .	462
2.3.2.2.	Kanalverlegung . . . . .	463
2.3.2.3.	Kunststoff-Mantelrohre . . . . .	464
2.3.2.4.	Stahlmantelrohre . . . . .	466
2.3.2.5.	Asbestzement-Mantelrohre . . . . .	468
2.3.2.6.	Bitumengießverfahren . . . . .	469
2.4.	Rohrleitung und Zubehör . . . . .	469
2.4.1.	Mediumrohr . . . . .	470
2.4.2.	Rohrformstücke . . . . .	471
2.4.3.	Rohrhalterungen . . . . .	472
2.4.4.	Armaturen . . . . .	473
2.4.5.	Kompensation . . . . .	473
2.5.	Wärmedämmung . . . . .	474
2.6.	Schächte . . . . .	474

### *3. Rohrleitungen für hydroelektrische Kraftanlagen*

3.1.	Allgemeines . . . . .	476
3.2.	Bauarten . . . . .	476
3.2.1.	Die Kavernen-Kraftanlage . . . . .	476
3.2.2.	Oberirdisch verlegte Druckleitung mit Expansionen . . . . .	479
3.2.3.	Oberirdisch verlegte starre Druckleitung . . . . .	479
3.2.4.	Eingegrabene starre Druckleitung . . . . .	480
3.2.5.	Verteilleitungen . . . . .	480
3.3.	Bauelemente . . . . .	481
3.3.1.	Wasserfassung . . . . .	481
3.3.2.	Zylinderschütze . . . . .	483
3.3.3.	Rohre . . . . .	484
3.3.4.	Schweißnahtformen . . . . .	486
3.3.5.	Abstützungen . . . . .	488
3.3.6.	Expansionen . . . . .	488
3.3.7.	Fixpunkte . . . . .	489
3.3.8.	Mannlöcher . . . . .	490
3.3.9.	Flanschverbindungen . . . . .	490
3.3.10.	Abzweigrohre . . . . .	493
3.4.	Materialqualitäten . . . . .	495
3.4.1.	Allgemeine Schweißbarkeit, Kerbzähigkeit-Steilabfall, Festigkeit, Glühen . . . . .	495
3.4.2.	Kesselbleche . . . . .	496
3.4.3.	Feinkornstähle . . . . .	496
3.4.4.	Thermisch vergütete schweißbare Stähle . . . . .	496
3.5.	Berechnung . . . . .	497
3.5.1.	Festigkeit . . . . .	497

3.5.1.1.	Allgemeines . . . . .	497
3.5.1.2.	Belastungen . . . . .	497
3.5.1.3.	Berechnungsmethoden . . . . .	498
3.5.2.	Hydraulische Berechnung . . . . .	503
3.5.2.1.	Druckleitungen . . . . .	503
3.5.2.2.	Verteilleitungen . . . . .	503
3.6.	Ortsmontagen . . . . .	503
3.6.1.	Montage im Tagbau . . . . .	503
3.6.2.	Montage unter Tag . . . . .	506
3.6.3.	Vormontage in einer Feldwerkstatt . . . . .	508
3.6.4.	Montage großer Verteilleitungen . . . . .	510
3.7.	Wartung und Betrieb . . . . .	513

#### 4. Rohrleitungen in verfahrenstechnischen Anlagen

4.1.	Berechnung – Beanspruchung – Auslegung . . . . .	515
4.1.1.	Wärmedehnung . . . . .	515
4.1.2.	Elastizitätsberechnung . . . . .	515
4.1.3.	Kompensation . . . . .	516
4.1.4.	Druckstöße . . . . .	518
4.1.5.	Auslegung der Rohrleitungen für oszillierende Verdrängerpumpen . . . . .	519
4.1.6.	Gaspulsation . . . . .	521
4.2.	Planung und Abwicklung . . . . .	521
4.2.1.	Arbeitsablauf der Rohrleitungsplanung . . . . .	521
4.2.2.	R & I-Fließbild . . . . .	524
4.2.3.	Rohrleitungsspezifikation . . . . .	524
4.2.4.	EDV-Einsatz bei der Rohrleitungsplanung . . . . .	526
4.3.	Rohrleitungstechnik – Betriebstechnik . . . . .	528
4.3.1.	Fertigung . . . . .	528
4.3.2.	Betriebssicherheit . . . . .	531
4.3.2.1.	Verfahrenstechnische Lösungen der Sicherheitsprobleme am Druckbehälter . . . . .	532
4.3.2.2.	Sicherheitsschaltung am Polymerisationsreaktor . . . . .	533
4.3.2.3.	Überdruck- und Unterdruckabsicherung . . . . .	534
4.3.2.4.	Sicherheitstechnische Checkliste . . . . .	536
4.4.	Werkstoffe . . . . .	538
4.4.1.	Beanspruchung durch Druckwasserstoff . . . . .	538
4.4.2.	Rohre aus korrosionsbeständigen Stählen . . . . .	539
4.5.	Erfahrungen – Schäden . . . . .	540
4.5.1.	Wasserstoffinduzierte Spannungsrißkorrosion an Rohrleitungen aus hochfesten Stählen . . . . .	541
4.5.2.	Überbeanspruchung von Rohrleitungsteilen durch Temperaturgradienten im Rohrwerkstoff beim Anfahren . . . . .	543
4.5.3.	Folgeschäden durch Nicht-Berücksichtigung der instationären Rohrleitungsdehnung bei katalytischen Prozessen . . . . .	544
4.5.4.	Erosions- und Korrosionsschäden an Rohrleitungen unter hohem Druck mit korrosiven Gasen gesättigter Flüssigkeiten . . . . .	546

4.5.5.	Schaden an einer austenitischen Leitung infolge Spannungsrißkorrosion durch Aufkonzentration von Chloriden auf der Rohraußenseite durch Verdampfung der durch eine undichte Isolierung eingebrachten Feuchtigkeit . . . . .	548
--------	---	-----

## 5. Rohrfernleitungen für gasförmige, flüssige und feste Transportgüter

5.1.	Einführung . . . . .	550
5.2.	Transportmedien . . . . .	552
5.3.	Planung und Entwurf . . . . .	554
5.3.1.	Trassierung und Rechtserwerb . . . . .	555
5.3.2.	Vermessung . . . . .	556
5.3.3.	Konstruktion . . . . .	557
5.3.3.1.	Fließbilder . . . . .	557
5.3.3.2.	Rechnergestützte Konstruktion . . . . .	558
5.3.3.2.1.	Eingangsdaten für das Konstruieren . . . . .	560
5.3.3.2.2.	Hardware . . . . .	561
5.3.3.2.3.	Konstruktionsarten . . . . .	561
5.3.4.	Bauteile . . . . .	567
5.3.4.1.	Stahlrohre und Formstücke . . . . .	567
5.3.4.1.1.	Festigkeit und Zähigkeit . . . . .	567
5.3.4.1.2.	Sicherheitsbeiwerte . . . . .	569
5.3.4.2.	Absperrarmaturen . . . . .	569
5.3.4.3.	Molchschießen . . . . .	571
5.3.4.4.	Dehnungsausgleicher . . . . .	572
5.4.	Leitungsbau . . . . .	573
5.4.1.	Schweißtechnik . . . . .	573
5.4.2.	Verlegung . . . . .	574
5.4.3.	Kreuzungsbauwerke . . . . .	575
5.4.3.1.	Straßen und Bahnkreuzungen . . . . .	575
5.4.3.2.	Wasserlaufkreuzungen . . . . .	577
5.4.	Druckprüfungen . . . . .	580

## 6. Seeverlegte Leitungen für Öl und Gas

6.1.	Allgemeines . . . . .	581
6.2.	Transportalternativen . . . . .	581
6.3.	Öl- und Gasleitungen in der Nordsee . . . . .	584
6.4.	Fernleitungen in sehr tiefem Wasser . . . . .	587
6.5.	Verlegetechnik . . . . .	589
6.5.1.	Technische Planung . . . . .	589
6.5.2.	Lay-Barge-Methode . . . . .	590
6.5.2.1.	Verlegeschiiff . . . . .	591
6.5.2.2.	Verlegevorgang . . . . .	596
6.5.2.3.	Festigkeitsfragen . . . . .	597
6.5.2.4.	Komponenten des Rohres . . . . .	600

6.5.2.5.	Schweißverfahren . . . . .	603
6.5.2.6.	Einbettung und Sicherung . . . . .	607
6.5.2.7.	Überwachung . . . . .	609
6.5.3.	Reel-Ship-Methode . . . . .	609
6.5.4.	Bottom-pull-Methode . . . . .	612
6.6.	Leitungseinbindungen . . . . .	613

## 7. Transport fester Stoffe in Rohrleitungen

7.1.	Das Förderprinzip und seine Varianten . . . . .	617
7.1.1.	Hydraulische Förderung . . . . .	618
7.1.2.	Pneumatische Förderung . . . . .	618
7.1.3.	Hydro-pneumatische Förderung . . . . .	619
7.1.4.	Vertikale Förderung . . . . .	619
7.1.5.	Horizontale Förderung . . . . .	623
7.2.	Berechnung strömungstechnischer Rohrförderung . . . . .	627
7.2.1.	Berechnung hydraulischer Rohrförderung . . . . .	627
7.2.1.1.	Homogene hydraulische Förderung . . . . .	627
7.2.1.2.	Pseudohomogene hydraulische Förderung . . . . .	628
7.2.1.3.	Heterogene hydraulische Förderung . . . . .	629
7.2.2.	Berechnung pneumatischer Förderung . . . . .	632
7.2.2.1.	Flugförderung . . . . .	632
7.2.2.2.	Strähnen-, Ballen- und Dünenförderung . . . . .	632
7.2.2.3.	Propfen-, Schub- und Fließförderung . . . . .	633
7.2.2.4.	Berechnung horizontaler pneumatischer Förderung . . . . .	633
7.2.2.5.	Berechnung vertikaler pneumatischer Förderung . . . . .	637
7.3.	Förderanlagen . . . . .	638
7.3.1.	Komponenten von Strömungsförderanlagen . . . . .	638
7.3.2.	Beispiele von Strömungsförderanlagen . . . . .	639
7.4.	Rechenbeispiele . . . . .	640
7.4.1.	Rechenbeispiele – Hydraulische Förderung . . . . .	640
7.4.2.	Rechenbeispiel – Pneumatische Förderung . . . . .	646

8. Schrifttum . . . . .	651
-------------------------	-----

## IX Normung

1.	Allgemeines . . . . .	657
2.	DIN-Normen . . . . .	658
2.1.	Normen für Stahl allgemein . . . . .	659
2.2.	Grundnormen für Rohrleitungen . . . . .	663
2.3.	Normen für Rohre . . . . .	665

2.3.1.	Berechnungsnormen . . . . .	665
2.3.2.	Maßnormen . . . . .	678
2.3.3.	Gütenormen und Technische Lieferbedingungen . . . . .	681
2.3.4.	Prüfnormen . . . . .	686
2.4.	Normen für Rohrformstücke . . . . .	687
2.5.	Normen für Flansche, Dichtungen und Schrauben . . . . .	690
2.6.	Armaturennormen . . . . .	698
2.7.	Anwendungsnormen . . . . .	701
2.8.	Schweißtechnische Normen . . . . .	703
3.	In Deutschland angewendete technische Regeln, die nicht im DIN-Normenwerk enthalten sind . . . . .	704
3.1.	AD-Merkblätter . . . . .	704
3.2.	Dampfkessel-Bestimmungen (TRD) . . . . .	704
3.3.	Bestimmungen über brennbare Flüssigkeiten (TRbF) . . . . .	705
3.4.	Regelwerke des DVGW Deutscher Verein des Gas- und Wasserfaches e. V. . . . .	705
3.5.	Technische Regeln für Gashochdruckleitungen (TRGL) . . . . .	705
4.	Ausländische und internationale Normen . . . . .	705
4.1.	Amerikanische Normen . . . . .	706
4.1.1.	Einführung . . . . .	706
4.1.2.	ANSI-Normen . . . . .	706
4.1.3.	API-Normen . . . . .	707
4.1.4.	ASTM-Normen . . . . .	707
4.1.5.	Amerikanische Flanschabmessungen . . . . .	708
4.2.	Britische Normen . . . . .	716
4.3.	Französische Normen . . . . .	716
4.4.	Europäische Normen . . . . .	716
4.5.	Internationale Normen . . . . .	717

### *X Anhang Gegenüberstellung der gesetzlichen und technischen Einheiten mit Umrechnungsfaktoren*

1.	Einleitung . . . . .	719
2.	Vorsätze zu den Einheiten und ihre Kurzzeichen . . . . .	721
3.	SI-Basisgrößen und Basiseinheiten . . . . .	722
3.1.	Übersicht . . . . .	722
3.2.	SI-Basisgrößen „Länge“ . . . . .	722
3.3.	SI-Basisgröße „Masse“ . . . . .	722
3.4.	SI-Basisgröße „Zeit“ (auch Zeitspanne, Dauer) . . . . .	722
3.5.	SI-Basisgröße „elektr. Stromstärke“ . . . . .	723
3.6.	SI-Basisgröße „Temperatur“ . . . . .	723
4.	Gesetzliche abgeleitete SI-Einheiten und gesetzliche abgeleitete Einheiten . . . . .	723
4.1.	Abgeleitete Größe „Kraft“ . . . . .	724
4.2.	Abgeleitete Größe „Druck, Festigkeit (mechan. Spannung)“ . . . . .	724
4.3.	Abgeleitete Größe „Energie, Arbeit, Wärmemenge“ . . . . .	725

---

4.4.	Abgeleitete Größe „Leistung, Energiestrom, Wärmestrom“ . . . . .	725
4.5.	Abgeleitete Größe „Dichte“, Formzeichen $\rho$ . . . . .	726
4.6.	Abgeleitete Größe „Frequenz“ (Periodenfrequenz) . . . . .	726
4.7.	Abgeleitete Größe „Drehzahl“ (Umdrehungsfrequenz) . . . . .	726
4.8.	Abgeleitete Größe „Viscosität“ (Zähigkeit) . . . . .	726
5.	Zusammenstellung einiger Umrechnungsfaktoren . . . . .	727

<i>XI</i>	<i>Stichwortverzeichnis</i> . . . . .	729
-----------	---------------------------------------	-----

<i>Firmenverzeichnis zum Anzeigenteil</i> . . . . .	
---	--

Anzeigenseite 37