

Inhalt

Vorwort	V
Autorenverzeichnis	VII
0 Vorbemerkungen zu Drücken und Temperaturen	1
0.1 Bezugsbasis und Einheiten für Drücke	1
0.2 Bezugsbasis und Einheiten für Temperaturen	2
0.3 Definition der zulässigen Parameter	2
0.4 Definition der Arbeitsparameter	3
0.5 Definition der Konstruktionsparameter	4
0.6 Definition der Berechnungsparameter	5
0.7 Definition der Ratingparameter	6
0.8 Definition der Prüfparameter	7
1 Strömungstechnische Berechnungen	9
1.1 Grundgleichungen für den Druckverlust	9
1.2 Wasserleitungen	26
1.2.1 Kaltwasserleitungen	26
1.2.2 Feuerlöschwasserleitungen	36
1.2.3 Warm- und Heißwasserleitungen	36
1.2.4 Leitungen für Sattwasser (Siedewasser)	39
1.3 Ölleitungen und andere Flüssigkeitsleitungen	42
1.4 Dampfleitungen	44
1.5 Luft- und Gasleitungen	51
1.6 Feststoffleitungen	59
1.6.1 Einteilung, Kenngrößen	59
1.6.2 Homogene und pseudohomogene hydraulische Förderung	65
1.6.3 Heterogene hydraulische Förderung	65
1.6.4 Pneumatische Förderung	67
1.6.5 Praktische Berechnung	69
1.7 Warmhalteleitungen	71
1.7.1 Allgemeines	71
1.7.2 Berechnung	72
1.7.3 Beispiel	75
1.8 Berechnung von Dampfabblasleitungen	78
2 Berechnung der Wärme- und Temperaturverluste	85
2.1 Wärmeverluste nichtgedämmter Rohrleitungen	85
2.2 Wärmeverluste gedämmter Rohrleitungen	85
2.3 Temperaturveränderung längs einer Rohrleitung	92
2.4 Oberflächentemperatur	95
2.5 Bestimmung der Dämmschichtdicke zur Vermeidung von Tauwasserbildung	96

X	Inhalt	
2.6	Auskühlzeiten abgesperrter Wasserleitungen	96
2.7	Wirtschaftliche Dämmenschichtdicke	97
3	Zulässige Spannungen und Bruchhypothesen für Festigkeitsberechnungen	101
3.1	Werkstoffkennwerte	101
3.1.1	Stahl	101
3.1.2	Stahlguss	106
3.1.3	Gusseisen	106
3.1.4	Kupfer und Aluminium	107
3.1.5	Thermoplastische Kunststoffe	107
3.1.6	Duroplastische Kunststoffe	108
3.2	Festigkeitshypothesen	109
3.3	Zulässige Spannungen	111
3.4	Primärspannungen, Sekundärspannungen und Spannungsspitzen	113
3.5	Bruchmechanik – Ziele, Grundlagen, Konzepte, Methoden	118
3.5.1	Aufgaben der Bruchmechanik	118
3.5.2	Grundlagen	118
3.5.3	Bruchmechanische Konzepte	122
3.5.4	Berechnungsmethoden	123
3.5.5	Anforderungen an die Prüftechnik zur Feststellung von Ungänzen	124
3.5.6	Anwendungsbeispiele	124
4	Festigkeitsberechnung von Rohren und Rohrleitungsbauten	127
4.1	Grundlegende Betrachtungen zum geraden Rohr unter Innendruckbelastung	127
4.1.1	Grundgleichungen	127
4.1.2	Schweißnahtfaktor	133
4.1.3	Bestellwanddicke s_n	133
4.1.4	Unrundheit	135
4.1.5	Aufdachungen und Abflachungen (Einbeulungen)	136
4.2	Berechnung von Rohrbogen und -biegungen sowie Segmentkrümmern auf Innendruck	136
4.2.1	Wanddickenbestimmung unter Anwendung des Kräftegleichgewichts (Flächenvergleichsmethode)	136
4.2.2	Wanddickenbestimmung nach der rechnerischen Mindestwanddicke des geraden Rohres	141
4.2.3	Formabweichungen durch Unrundheit	141
4.2.4	Wellenbildung am Intrados in Längsrichtung der Biegung	145
4.2.5	Berücksichtigung von Biegemomenten aus dem Rohrleitungssystem	146
4.2.6	Berechnung von Segmentkrümmern auf Innendruck	146
4.3	Reduzierungen (Erweiterungen)	148
4.4	Ebene Böden	150
4.4.1	Geflanschte Böden	150
4.4.2	Verschweißte Böden (Vorschweißblinddeckel)	153
4.5	Gewölbte Böden	155
4.6	Abzweige und Ausschnitte	156

4.6.1	Allgemeines	156
4.6.2	Bauformen	161
4.6.3	Berechnung	163
4.7	Kugelformstücke, Ausschnitte in Böden und zylindrische Y-Formstücke	164
4.8	Rohre unter äußerem Überdruck	166
4.9	Nocken und Knaggen als integrale Halterungsanschlüsse	171
4.9.1	Grundlagen	171
4.9.2	Allgemeine Randbedingungen und zulässige Spannungen	172
4.9.3	Definitionen und spezielle Randbedingungen	172
4.9.4	Bestimmung der lokalen Spannungen	176
4.9.5	Spannungsanalyse für das Grundrohr unter Einbeziehung der lokalen Spannungen	177
4.10	Ermüdung	178
4.10.1	Grundlagen	178
4.10.2	Spitzenspannungen durch Innendruck	180
4.10.3	Spitzenspannungen durch Temperaturbelastung	182
4.10.4	Lineare Temperaturänderungen	182
4.10.5	Kombination von Druck- und Temperaturschwankungen; Erschöpfungsgrad	184
4.11	Kriechen und Relaxieren	185
5	Berechnung von Flanschverbindungen	189
5.1	Allgemeines	189
5.2	Berechnungsgrundlagen	190
5.3	Nachweis der Tragfähigkeit und der Dichtheit der Flanschverbindung	194
5.4	Zulässige Innendrücke für Flanschverbindungen	198
5.5	Erforderliches Schraubenanzugsmoment zur Sicherung der Dichtheit	201
6	Statische Rohrsystemanalyse	203
6.1	Allgemeines	203
6.2	Elastizität des Rohrleitungssystems	204
6.3	Belastungen des Rohrleitungssystems	206
6.4	Beanspruchung des Rohrleitungssystems	208
6.4.1	Allgemeines	208
6.4.2	Spannungen auf Grund ständig wirkender Belastungen	209
6.4.3	Spannungen auf Grund ständig und gelegentlich wirkender Belastungen	209
6.4.4	Spannungen infolge von Wärmedehnung und Wechselbeanspruchung	210
6.4.5	Zusätzlicher Nachweis für den Zeitstandbereich	211
6.4.6	Spannungen infolge einmaliger Lagerstellerverschiebung	211
6.4.7	Nachweis der Anschlussbelastungen	211
6.5	Beanspruchbarkeit eines Rohrleitungssystems	212
6.6	Wärmespannungen	212
6.7	Vereinfachte Berechnung von ebenen Systemen	214
6.8	Vereinfachte Berechnung von U-, Z- und L-Ausgleichern	216

6.9	Ermittlung der Lasten für Bauangaben	216
6.9.1	Übersicht der Lastfälle	216
6.9.2	Bezeichnung der Lasten für Bauangaben	221
6.9.3	Lastfall „Eigengewicht“	223
6.9.4	Lastfall „Behinderte Wärmedehnung“	223
6.9.5	Lastfall „Reibung“	224
6.9.6	Lastfall „Innendruck“	226
6.9.7	Spezielle Belastungen	226
6.10	Berücksichtigung von Erdbebenbelastungen	226
6.10.1	Allgemeine Vorgehensweise	226
6.10.2	Berechnung auf der Grundlage von DIN EN 13480-3	226
6.10.3	Berechnung nach KTA-Regelwerk	227
6.11	Rechenprogramme für röhrstatische Berechnungen	227
7	Berechnung von Rohrhalterungen	229
7.1	Allgemeines	229
7.2	Belastungsannahmen	229
7.3	Belastungsfälle	230
7.4	Bauangaben aus den Belastungen der Unterstützungskonstruktion ...	231
7.5	Auflagerarten und Belastungen	232
7.6	Stützweitenberechnung	234
7.7	Berechnungsgrundlagen für Rohrhalterungen	238
7.7.1	Spannungsnachweise	238
7.7.2	Bemessungsspannung dynamisch beanspruchter Bauteile	243
7.7.3	Stabilitätsnachweise	243
7.7.4	Vergleich verschiedener Regelwerke	244
7.7.5	Experimentelle Auslegung und Überprüfung von Standardrohrhalterungen	245
7.8	Berechnung von Stützkonstruktionen	246
8	Berechnung von Kompensatoren	247
8.1	Allgemeines	247
8.1.1	Auslegungsvorschriften	247
8.1.2	Standard-Baureihen	247
8.2	Ermittlung der Bewegungsgrößen	248
8.2.1	Wärmedehnungen	248
8.2.2	Druckdehnungen	250
8.2.3	Schwingungen	250
8.2.4	Sonstige Bewegungen	251
8.2.5	Reale Gesamtbewegungen	252
8.3	Gelenksysteme	252
8.4	Regeln für die Kompensator-Auswahl	253
8.4.1	Schiebe- und Dreh-Kompensatoren	254
8.4.2	Weichstoff-Kompensatoren	256
8.4.3	Gummi-Kompensatoren	257
8.4.4	PTFE-Kompensatoren	259
8.4.5	Metall-Kompensatoren	260
8.5	Festpunktkräfte	266
8.5.1	Axiale Druckkraft	266

8.5.2	Verstellkraft von Kompensatoren und Kompensationssystemen	267
8.5.3	Reibungskraft zwischen Rohrleitung und Auflagern	268
8.5.4	Zentrifugalkraft und sonstige anlagenbedingte Kräfte	268
8.6	Berechnung der Anschlusskräfte und -momente für Metall-Kompensatoren	269
8.6.1	Bezugsbasis der Berechnungsgleichungen	269
8.6.2	Berechnungsmodell	269
8.6.3	Zwei-Gelenk-System	270
8.6.4	Drei-Gelenk-System in U-Anordnung	272
8.6.5	Räumliches Drei-Gelenk-System in L-Anordnung	273
8.7	Führungen bei kompensierten Leitungen	274
9	Fluidodynamische Berechnungen	279
9.1	Instationäre Strömungsvorgänge, Druckstoß	279
9.2	Vereinfachte Berechnungen	279
9.2.1	Ermittlung der Schallgeschwindigkeit	280
9.2.2	Druckstöße und dynamische Kräfte	288
9.3	Rechenverfahren für komplexe Systeme	290
9.4	Berechnungsbeispiele	291
9.4.1	Pumpenausfall	291
9.4.2	Turbinenschneellschluss	291
9.5	Fluid-Struktur-Wechselwirkung	296
10	Erdverlegte Kunststoffmantelrohrsysteme	305
10.1	Allgemeines	305
10.2	Verlegemethoden	305
10.2.1	Kaltverlegung	307
10.2.2	Verlegung mit Vorwärmung	308
10.2.3	Konventionelle Verlegung	309
10.2.4	Einmalkompensatoren (E-Muffen)	310
10.2.5	Dauerkompensatoren zur Teilentlastung	310
10.3	Kompensation der Endverschiebungen	311
10.4	Systemgerechte Trassierung	313
10.5	Abzweige und Hausabgänge	315
10.6	Grundlagen der Elastizitätsberechnung bei KMR-Systemen	317
10.6.1	Reibungskraft F_R' bei Axialverschiebung	317
10.6.2	Axialkräfte infolge inneren Überdruckes	322
10.6.3	Bettungskraft Q_v infolge Querverschiebung	326
10.6.4	Resultierender Bettungswiderstand	329
11	Berechnung warmgehender erdverlegter Stahlmantelrohrsysteme	335
11.1	Allgemeines	335
11.2	Lagerung des Mediumrohrs im Mantelrohr	335
11.3	Lagerbelastungen infolge Eigengewicht	337
11.4	Querbelastungen in abgewinkelten Vorspannstrecken	338
11.5	Querbelastungen infolge behinderter Dehnung	338

11.6	Reaktionen und Verschiebungen an den Kompensationsstellen	338
11.7	Axialbelastungen der Koppelpunkte	339
11.7.1	Grundlagen der Berechnung von Vorspannstrecken	339
11.7.2	Mechanisches Vorspannen	341
11.7.3	Thermisches Vorspannen	344
11.7.4	Verschiebung und Belastung des Koppelpunktes bei Betrieb	350
11.7.5	Berechnung der Verschiebungen und Belastungen mit Computer-Programmen	354
11.8	Anwendungsbeispiel	356
12	Berechnung kaltgehender erdverlegter Rohrleitungen	359
12.1	Mechanisches System „Fahrbahn-Boden-Rohr“	359
12.1.1	Mechanische Eigenschaften der Rohrwerkstoffe	360
12.1.2	Mechanische Eigenschaften der Boden und Verfüllmaterialien	363
12.1.3	Verlege- und Einbaubedingungen	366
12.1.4	Belastungsverhältnisse	368
12.2	Berechnungsmethoden für erdverlegte Rohrleitungen	373
12.2.1	Grundlagen	373
12.2.2	Berechnung gegen Innendruck	374
12.2.3	Berechnung mit vereinfachten Verfahren	376
12.2.4	Berechnung mit analytischen Verfahren	387
12.2.5	Berechnung mit der Finite-Elemente-Methode	388
12.3	Rohrkennfelder für erdverlegte Rohre	389
12.4	Sicherheitskonzepte für erdverlegte Rohrleitungen	392
12.4.1	Konventionelles Sicherheitskonzept	392
12.4.2	Statistisches Sicherheitskonzept	393
13	Lärm bei Rohrleitungen	395
13.1	Vorbemerkungen	395
13.2	Lärmquellen bei Rohrleitungen	395
13.3	Lärmemission von Armaturen	398
13.3.1	Grundlagen, Voraussetzungen	398
13.3.2	Armaturen für Gase und Dämpfe	399
13.3.3	Armaturen für Flüssigkeiten	401
13.3.4	Absperr- und Rückschlagarmaturen	405
13.4	Strömungslärm	406
13.4.1	Gase und Dämpfe	406
13.4.2	Flüssigkeiten	407
13.4.3	Feststoffe	408
13.5	Schallübertragung innerhalb der Rohrleitung	408
13.6	Schall in geschlossenen Räumen	408
13.6.1	Schallabstrahlung und Schalldämmung	408
13.6.2	Luftschallausbreitung im Raum	410
13.6.3	Überlagerung von Schallleistungspiegeln	411
13.7	Zulässige Schallemissionen	412

14	Auslegung der Rohrleitungen von Abblase-systemen	415
14.1	Vorbemerkungen	415
14.2	Zuleitung zum Sicherheitsventil	415
14.2.1	Auslegungsgrundlagen	415
14.2.2	Innendurchmesser der Zuführungsleitung	418
14.2.3	Maximal zulässige Länge der Zuführungsleitung	420
14.2.4	Berechnungsbeispiel	422
14.3	Abblaseleitung und -schacht	424
14.3.1	Auslegungsgrundlagen	424
14.3.2	Innendurchmesser des Abblaseschachtes	424
14.3.3	Eigengegendruck	426
14.3.4	Kontrolle auf unzulässige Schallgeschwindigkeit	428
14.3.5	Dimensionierung von Staustufen	429
14.4	Notwendigkeit eines Abblaseschalldämpfers	430
14.4.1	Austrittsquerschnitt der Abblasemündung	430
14.4.2	Berechnung der Austrittsgeschwindigkeit	430
14.4.3	Schallleistungspegel	431
14.4.4	Schallausbreitung im Freien	431
14.4.5	Zulässige Immissionsrichtwerte	433
14.4.6	Erfordernis eines Abblaseschalldämpfers	434
14.5	Kräfte beim Abblasevorgang	434
15	Auslegung von Ausblasesystemen	437
15.1	Beschreibung des Reinigungsverfahrens	437
15.2	Berechnungsgrundlage	438
15.2.1	Sauberkeitskriterium	438
15.2.2	Erforderlicher Massenstrom zum Ausblasen	441
15.3	Strömungstechnische Berechnung des Ausblasesystems	442
15.3.1	Ausblasemündung	442
15.3.2	Gegendruck nach Drosselventil	442
15.3.3	Auslegungsdruck der provisorischen Ausblaseleitung	444
15.3.4	Kontrolle auf unzulässige Schallgeschwindigkeit	444
15.3.5	Auslegungsdruck und Druckverlust der Zuführungsleitung	445
15.3.6	Berechnungsablauf	445
15.4	Ermittlung der Schallemission	446
15.5	Kräfte an der Ausblasemündung	446
16	Häufig angewendete Berechnungs-Software.....	447
16.1	Strömungstechnische Berechnungen	447
16.1.1	Programmsystem SINETZ, SIFLOW, FWNETZ und SPRINK	447
16.1.2	Programm SISHYD zur hydraulischen und thermischen Rohrnetzberechnung	448
16.1.3	LV-Programme: Module Bereich Strömungstechnik	449
16.2	Berechnung der Dämmung und der Wärmeverluste	449
16.2.1	Programm ROBERT und WANDA	449
16.2.2	LV-Programme: Modul Bereich Wärmeleitung	450
16.2.3	Programm FERO: Modul zur Berechnung von Dämmdicken	450
16.3	Festigkeitsberechnungen	450
16.3.1	Programmsystem FERO	450
16.3.2	Programm PROBAD	451

16.3.3	Mathcad-Dateien KONDROL	452
16.3.4	LV-Programme: Module Festigkeitsberechnungen	453
16.3.5	Programm AD	453
16.3.6	Programm CENFLA für Flanschverbindungen	453
16.3.7	Programm ADRIESS und ACRIESS	454
16.3.8	FEM-Programmpaket ANSYS	454
16.4	Rohrsystemanalyse	455
16.4.1	Programmsystem ROHR2 und R2STOSS	455
16.4.2	Programmsystem KWUROHR	456
16.4.3	Programmsystem P10 (Pipe-Stress-Analysis)	457
16.4.4	Programmsystem EASYPIPE und KEDRU	457
16.4.5	Programmsystem CAESAR II	458
16.4.6	Programmsystem AutoPIPE	459
16.5	Betriebsbegleitende Berechnungen	459
16.5.1	Programm ConLife zur Lebensdauerüberwachung	459
16.5.2	Programm „Boiler Life“ zur Lebensdauerüberwachung	460
16.5.3	Programm FERO: Modul zur Betriebsüberwachung	461
16.6	Programm FLEXPERTE zur Auswahl von Kompensatoren	461
16.7	Berechnung von Rohrhalterungen	461
16.7.1	Berechnung von Hilfs- und Stützkonstruktionen (Stahltragwerken)	461
16.7.2	Programm LICAD zur Auswahl und Berechnung von Standardhalte- rungen	462
16.7.3	Programm PSS 2005 zur Auswahl und Berechnung von Standard- halterungen	463
16.7.4	Programm CASCADE zur Auswahl und Berechnung von Standard- halterungen	463
16.7.5	Programm HTA zur Auswahl und Berechnung von Ankerschienen, Applikationen für Powerclick	463
16.8	Berechnung erdverlegter Rohrleitungen	464
16.8.1	Software-Paket KEROHR zur statischen Berechnung erdverlegter Rohrleitungen	464
16.8.2	Software-Paket MARC und MENTAT zur Strukturanalyse erdverlegter Rohrleitungen	464
16.8.3	Programm sisKMR zur Berechnung warmgehender Kunststoff- und Stahlmantel-Rohrleitungen	465
16.8.4	Programm FERO: Modul für eingeardete Rohrleitungen	466
17	Verzeichnis der Normen und Regeln	467
17.1	Deutsche Normen	467
17.2	Deutsche Regeln	472
17.3	Ausländische Normen und Regeln	476
17.4	Ungültige Normen und Regeln	476
18	Literaturverzeichnis	477
	Stichwortverzeichnis	485