

Inhaltsverzeichnis

Contents

1.	Allgemeines	12	1.	General	12
1.1	Bezeichnungen	14	1.1	Glossary of terms	15
2.	Grundlagen der statischen Berechnung	20	2.	Basis of the structural analysis	20
2.1	Normen und Richtlinien	20	2.1	Standards and codes of practice	20
2.1.1	Lastannahmen	20	2.1.1	Design loads	20
2.1.2	Bauausführung	20	2.1.2	Construction	20
2.1.3	Rohre	21	2.1.3	Pipes	21
2.1.4	Werkstoffe	22	2.1.4	Materials	22
2.2	Belastungen des Rohres	22	2.2	Loading	22
2.2.1	Äußere Belastungen	22	2.2.1	External loads	22
2.2.2	Innere Belastungen	22	2.2.2	Internal loads	22
2.2.3	Eigengewicht	23	2.2.3	Dead weight	23
2.2.4	Belastungen durch besondere Lagerung	23	2.2.4	Loads caused by special support conditions	23
2.2.5	Belastungen in Richtung der Rohrachse	23	2.2.5	Axial loads	23
2.3	Einbau der Rohre	23	2.3	Installation of pipes	23
2.3.1	Belastungs- und Einbaubedingungen	25	2.3.1	Load and installation conditions	25
3.	Berechnung der Belastungen	26	3.	Load analysis	26
3.1	Bodenarten	26	3.1	Types of soil	26
3.2	Erdlasten für überschüttete Rohre	26	3.2	Earth loads on buried pipes	26
3.2.1	Erdlastberechnung für biegesteife Rohre nach Marston	27	3.2.1	Earth load analysis for rigid pipes according to Marston	27
3.2.1.1	Vertikale Erdlast	28	3.2.1.1	Vertical earth load	28
3.2.1.1.1	Grabenbedingung	28	3.2.1.1.1	Trench condition	28
3.2.1.1.2	Dammbedingung	32	3.2.1.1.2	Embankment condition	32
3.2.1.1.3	Sonderbedingungen	36	3.2.1.1.3	Special conditions	36
3.2.1.2	Horizontaler Erddruck	37	3.2.1.2	Horizontal earth pressure	37
3.2.2	Erdlasten und Durchbiegung biegeweicher Rohre nach Marston/Spangler	37	3.2.2	Earth loads and deflection of flexible pipes according to Marston/Spangler	37
3.2.3	Erdlastberechnung für Rohre unterschiedlicher Steifigkeit nach dem ATV-Arbeitsblatt A 127	38	3.2.3	Earth load analysis for pipes of varying stiffness according to the ATV Sheet A 127	38
3.2.3.1	Belastungs- und Einbaubedingungen	39	3.2.3.1	Loading and installation conditions	39
3.2.3.2	Mittlere vertikale Bodenspannung in Rohrscheitelhöhe	46	3.2.3.2	Average vertical soil stress in plane of pipe crown	46
3.2.3.3	Lastaufteilung	47	3.2.3.3	Load distribution	47
3.2.3.3.1	Lastkonzentration über dem Rohr	48	3.2.3.3.1	Load concentration above pipe	48
3.2.3.3.2	Lastkonzentration neben dem Rohr	61	3.2.3.3.2	Load concentration adjacent to pipe	61
3.2.3.4	Auf das Rohr wirkende Erdlasten	62	3.2.3.4	Earth loads on pipe	62
3.2.4	Sonderbedingungen	62	3.2.4	Special conditions	62
3.2.4.1	Sonderbedingung Stufengraben und Doppelgraben	62	3.2.4.1	Special condition stepped trench and double trench	62

3.2.4.2	Anwendung des Modells „Schubsteifer Balken“ auf besondere Einbaubedingun- gen	62	3.2.4.2	Application of the “shear-resistant beam” model for special installation conditions	62
3.3	Erdlasten für Durchpreßrohre	71	3.3	Earth loads on jacking pipes	71
3.3.1	Bodenarten	71	3.3.1	Types of soil	71
3.3.2	Erdlastberechnung nach Terzaghi	71	3.3.2	Earth load analysis according to Terzaghi	71
3.4	Oberflächenlasten	74	3.4	Surface loads	74
3.5	Bauwerkslasten	74	3.5	Structure loads	74
3.6	Verkehrslasten	75	3.6	Live loads	75
3.6.1	Straßenverkehrslasten	75	3.6.1	Road traffic loads	75
3.6.2	Eisenbahnverkehrslasten	80	3.6.2	Railway loads	80
3.6.3	Flugzeugverkehrslasten	81	3.6.3	Aircraft loads	81
3.6.4	Sonstige Verkehrslasten	83	3.6.4	Other live loads	83
3.7	Wasserfüllung, Grundwasser bis Rohrscheitel	84	3.7	Water fill, groundwater level up to pipe crown	84
3.8	Wasserüberdruck	84	3.8	Water pressure	84
3.9	Temperatur	84	3.9	Temperature	84
3.9.1	Materialverhalten bei Temperaturbean- spruchung	85	3.9.1	Material behaviour due to temperature stress	85
3.9.2	Stationäre Temperatur	86	3.9.2	Uniform temperature	86
3.9.3	Instationäre Temperatur	87	3.9.3	Non-uniform temperature	87
4.	Berechnung der Schnittkräfte	94	4.	Analysis of internal forces	94
4.1	Allgemeines	94	4.1	General	94
4.2	Belastungsverteilung und Lagerungsfälle	94	4.2	Load distribution and bedding classes	94
4.2.1	Vertikale Belastung und Auflagerreaktion	95	4.2.1	Vertical loading and bedding reaction	95
4.2.2	Horizontale Belastung (Seitendruck)	97	4.2.2	Horizontal loading (lateral pressure)	97
4.3	Schnittkräfte des Kreisringes	97	4.3	Internal forces of the circular ring	97
4.3.1	Beispiel einer Schnittkraftberechnung	98	4.3.1	Example of an analysis of internal forces	98
4.3.1.1	Berechnung des Lastfalles A	101	4.3.1.1	Analysis of load case A	101
4.3.1.2	Berechnung des Lastfalles B	103	4.3.1.2	Analysis of load case B	103
4.3.2	Schnittkräfte und Schnittkraftvorwerte für beliebige Lastfälle	105	4.3.2	Internal forces and coefficients of internal forces for any load cases	105
	Lastfall 1: Zweiliniennlast	105		Load case 1: Two linear loads	105
	Lastfall 2: Dreiliniennbelastung	105		Load case 2: Three linear loads	105
	Lastfall 3: Vertikale Auflast, rechteckför- mig verteilt	106		Load case 3: Vertical surcharge, rect- angular distribution	106
	Lastfall 4: Vertikale Auflast, dreieckför- mig verteilt	106		Load case 4: Vertical surcharge, tri- angular distribution	106
	Lastfall 5: Vertikale Auflast, parabelför- mig verteilt	107		Load case 5: Vertical surcharge, parabolic distribution	107
	Lastfall 6: Rohreigengewicht	108		Load case 6: Dead weight of pipe	108
	Lastfall 7: Vollständige Wasserfüllung bei druckfreiem Rohrscheitel	108		Load case 7: Complete water fill with no pressure at pipe crown	108
	Lastfall 8: Äußerer Wasserdruck bei überdruckfreiem Rohrschei- tel, Stützung in der Rohr- sohle	109		Load case 8: External water pressure with no pressure above atmospheric pressure at pipe crown, support at pipe base	109

Lastfall 9: Äußerer Wasserdruck bis Rohrscheitel, Stützung im Rohrscheitel	109	Load case 9: External water pressure up to pipe crown, support at pipe crown	109
Lastfall 10: Belastung ringsum radial gerichtet, \cos^2 -förmig (Lagerungsfall V)	109	Load case 10: Load all round in radial direction, \cos^2 -shaped (class V bedding)	109
Lastfall 11: Belastung ringsum radial gerichtet, \sin^2 -förmig (Seiten- druck Lagerungsfall V)	110	Load case 11: Load all round in radial direction, \sin^2 -shaped (class V bedding)	110
Lastfall 12: Seitlicher Erddruck, recht- eckig, beliebige Höhe	110	Load case 12: Lateral earth pressure, rectangular, any desired height	110
Lastfall 13: Seitlicher Erddruck, trapez- förmig, beliebige Höhe	110	Load case 13: Lateral earth pressure, trapezoidal, any desired height	111
Lastfall 14: Auflagergegendruck, recht- eckig (Lagerungsfall I)	112	Load case 14: Bedding reaction pres- sure, rectangular (class I bedding)	112
Lastfall 15: Auflagergegendruck, gleich- förmig, radial (Lagerungsfall II)	112	Load case 15: Bedding reaction pres- sure, uniform, radial (class II bedding)	112
Lastfall 16: Auflagergegendruck, \cos - förmig, radial	113	Load case 16: Cos-shaped bedding re- action pressure, radial	113
Lastfall 17: Auflagergegendruck, \cos^2 - förmig, Sonderfall $\alpha' = 90^\circ$ (Lagerungsfall V, Vortriebs- rohre)	114	Load case 17: Bedding reaction pres- sure, \cos^2 -shaped, special case $\alpha' = 90^\circ$ (class V bed- ding, jacking pipes)	114
Lastfall 18: Zweiliniengegendruck, radial	114	Load case 18: Two linear support reac- tions, radial	114
Lastfall 19: Zweiliniengegendruck, verti- kal	115	Load case 19: Two linear support reac- tions, vertical	115
Lastfall 20: Innerer Wasserüberdruck	115	Load case 20: Internal water pressure above atmospheric pres- sure	115
Lastfall 21: Äußerer Wasserüberdruck	116	Load case 21: External water pressure above atmospheric pres- sure	116
Lastfall 22: Bettungsreaktionsdruck pa- rabelförmig	116	Load case 22: Horizontal bedding reac- tion pressure, parabolic distribution	116
4.3.3 Schnittkraftvorwerte	117	4.3.3 Coefficients of internal forces	117
4.3.4 Durchbiegung des Kreisringes	117	4.3.4 Deflection of the circular ring	117
Lastfall 1 a: Zweilinielenbelastung	117	Load case 1 a: Two linear loads	117
Lastfall 3 + 14: Rechteckförmig verteilte Belastung	117	Load case 3 + 14: Rectangularly dis- tributed load	117
4.3.5 Statische Berechnung von Rohren mit veränderlicher Wanddicke	118	4.3.5 Structural analysis of pipes with variable wall thickness	118
4.3.6 Schnittkräfte in Ringrichtung	120	4.3.6 Internal forces in the circumferential direction	120
4.4 Schnittkräfte in Rohrlängsrichtung	121	4.4 Internal forces along the pipe	121
5. Bemessung	122	5. Structural design	122
5.1 Sicherheiten	122	5.1 Factors of safety	122
5.2 Spannungsnachweis	126	5.2 Stress analysis	126
5.2.1 Tragfähigkeitsnachweis mittels Bettungs- ziffern	127	5.2.1 Proof of bearing capacity using coefficients of soil reaction	127

5.2.2	Bemessung von Rohren aus Stahlbeton	129	5.2.2	Structural design of reinforced concrete pipes	129
5.2.3	Spannungsnachweis für Spannbetonrohre	132	5.2.3	Stress analysis for prestressed concrete pipes	132
5.3	Verformungsnachweis	133	5.3	Deformation analysis	133
5.4	Stabilitätsnachweis	134	5.4	Stability analysis	134
5.5	Nachweis der Dauerschwingfestigkeit	135	5.5	Proof of fatigue strength	135
6.	Sonderbelastungen	138	6.	Special loads	138
6.1	Sonderbelastungen des Durchpreßrohres	138	6.1	Special loads on jacking pipes	138
6.1.1	Bauzustand	138	6.1.1	Installation state	138
6.1.1.1	Belastung quer zur Rohrachse	138	6.1.1.1	Loads transverse to pipe axis	138
6.1.1.1.1	Mindesttragfähigkeit	140	6.1.1.1.1	Minimum bearing capacity	140
6.1.1.2	Belastungen längs zur Rohrachse	141	6.1.1.2	Axial loads	141
6.1.1.2.1	Spannungen im Rohr	141	6.1.1.2.1	Stresses in the pipe	141
6.1.1.2.2	Spannungen in der Fuge	141	6.1.1.2.2	Stresses in the joints	141
6.1.1.2.3	Zulässige Vorpreßkraft	144	6.1.1.2.3	Permissible jacking force	144
6.1.1.2.4	Längsbiegespannungen	145	6.1.1.2.4	Axial bending stress	145
6.1.1.3	Mehrachsigiger Spannungszustand	146	6.1.1.3	Multi-axial stress	146
6.1.2	Betriebszustand	146	6.1.2	Operational state	146
6.1.3	Schnittkraftberechnung	146	6.1.3	Analysis of internal forces	146
6.2	Sonderbelastung der Schacht- und Brunnenrohre	149	6.2	Special loads on shaft or well pipes	149
7.	Berechnungsbeispiele	153	7.	Calculation examples	153
7.1	Beispiel 1: Betonrohr DIN 4032 DN 500 (Form KW)	153	7.1	Example 1: Concrete pipe DIN 4032 DN 500 (shape KW)	153
7.2	Beispiel 2: Betonrohr DIN 4032 DN 500 mit Fuß (Form KFW)	162	7.2	Example 2: Concrete pipe DIN 4032 DN 500 with base (shape KFW)	162
7.3	Beispiel 3: Steinzeugrohr DIN 1230 DN 200 verstärkte Ausführung (V)	171	7.3	Example 3: Vitrified clay pipe DIN 1230 DN 200 strengthened type (V)	171
7.4	Beispiel 4: PVC-Rohr DIN 19534 DN 400	180	7.4	Example 4: PVC-pipe DIN 19534 DN 400	180
7.5	Beispiel 5: Stahlbetonrohr DIN 4035 DN 2000	203	7.5	Example 5: Reinforced concrete pipe DIN 4035 DN 2000	203
7.6	Beispiel 6: Stahlbetonrohr DIN 4035 DN 2500 eingebaut als Vortriebsrohr	212	7.6	Example 6: Reinforced concrete pipe DIN 4035 DN 2500 installed as jacking pipe	212
8.	Schrifttum	223	8.	Literature	223
Anhang:	Schnittkraft Tabellen	225	Appendix:	Tables of internal forces	225
Stichwortverzeichnis		292	Subject index		294

Verzeichnis der Tafeln

Seite	
26	Tafel 1: Bodenkennwerte
33	Tafel 2: $K_a \cdot \mu$ für die Böden nach Tafel 1
40	Tafel 3: Bodenkennwerte und Verformungsmoduln für das ATV-Verfahren
43	Tafel 4: Überschüttungsbedingungen für die Grabenverfüllung
44	Tafel 5: Einbettungsbedingungen für die Rohrleitung
45	Tafel 6: Verformungsmoduln E_1 und E_{20}
54	Tafel 7: Werkstoffkennwerte
56	Tafel 8: Verformungsbeiwerte
57	Tafel 9: Erddruckverhältnis K_2
72	Tafel 10: Bodenkennwerte für biegesteife Vortriebsrohre
82	Tafel 11: Bemessungsfahrzeuge und Bemessungsflugzeuge für Flughäfen
118	Tafel 12: Verformungsbeiwerte c_v und c_n , Lagerungsfall I
124	Tafel 13: Sicherheitsbeiwerte
128	Tafel 14: Faktor \bar{m}
129	Tafel 15: Bettungsziffer B_z
130	Tafel 16: Rechenwerte der Betonfestigkeit β_R und der Stahlzugspannung σ_s
136	Tafel 17: Faktoren α zur Berechnung der nicht vorwiegend ruhend anzusetzenden Verkehrsbelastungen
139	Tafel 18: Belastungszustände eines Vortriebsrohres
150	Tafel 19: Schnittkraftvorwerte m_φ , n_φ für die Lagerungsfälle I bis V
151	Tafel 20: Schnittkraftvorwerte m_φ , n_φ für den Lagerungsfall V
152	Tafel 21: Schnittkraftvorwerte m_φ , n_φ für eiförmige Rohre mit Fuß nach DIN 4032, Form EF

Contents of Tables

page	
26	Table 1: Characteristic soil values
33	Table 2: $K_a \cdot \mu$ for the soils listed in Table 1
40	Table 3: Soil parameters and moduli of deformation for the ATV method
43	Table 4: Backfill conditions for trench
44	Table 5: Pipe embedment conditions
45	Table 6: Moduli of deformation E_1 and E_{20}
54	Table 7: Characteristic values of materials
56	Table 8: Deformation coefficients
57	Table 9: Earth pressure ratio K_2
72	Table 10: Characteristic soil parameters for rigid jacking pipes
82	Table 11: Standard design vehicles and aircraft for airports
118	Table 12: Coefficients of deflection c_v and c_n , class I bedding
124	Table 13: Factors of safety
128	Table 14: Factor \bar{m}
129	Table 15: Coefficient of soil reaction B_z
130	Table 16: Calculation values for the concrete strength β_R and the reinforced tensile stress σ_s
136	Table 17: Factors α to determine applicable not predominantly static loads
139	Table 18: Loading conditions of a jacking pipe
150	Table 19: Coefficients of internal forces m_φ , n_φ for classes I to V bedding
151	Table 20: Coefficients for internal forces m_φ , n_φ for class V bedding
152	Table 21: Coefficients of internal forces m_φ , n_φ for vertical elliptical pipes with base (oval cross-section) according to DIN 4032, shape EF