DIN EN 13941-1:2019-12 (D/E)

Fernwärmerohre - Auslegung und Installation von gedämmten Einzel- und Doppelrohr-Verbundsystemen für direkt erdverlegte Heißwasser-Fernwärmenetze - Teil 1: Auslegung; Deutsche und Englische Fassung EN 13941-1:2019

District heating pipes - Design and installation of thermal insulated bonded single and twin pipe systems for directly buried hot water networks - Part 1: Design; German and English version EN 13941-1:2019

Inhalt

Seite

Europäisches Vorwort ... 7

Einleitung ... 9

1 Anwendungsbereich ... 10

2 Normative Verweisungen ... 10

3 Begriffe, Einheiten und Symbole ... 11
3.1 Begriffe ... 11
3.1.1 Symbole ... 12
3.1.2 Abkürzungen ... 17

4 Allgemeine Anforderungen ... 18
4.1 Funktionale Anforderungen ... 18
4.2 Nutzungsdauer ... 18
4.3 Voruntersuchungen ... 18
4.4 Bestimmung der Projektklasse ... 20
4.4.1 Risikobewertung ... 20
4.4.2 Projektklassen ... 20
4.5 Projektdokumentation ... 22
4.5.1 Allgemeines ... 22
4.5.2 Betriebsdaten ... 23
4.5.3 Daten bezüglich des Rohrleitungssystems ... 23
4.6 Trassenauswahl und Positionierung der Rohre ... 25
4.6.1 Mindestabstände zwischen parallelen Rohren ... 25
4.6.2 Parallele Aufgrabungen und Arbeiten von Dritten ... 26
4.6.3 Mindestabstände zwischen Fernwärmerohrleitungen und unterirdischen Strukturen ... 26
4.7 Entlüftung und Entleerung ... 27
4.8 Armaturen ... 27
4.9 Beschaffung von Werkstoffen ... 27
4.9.1 Hersteller der Rohrleitungskomponenten ... 27
4.10 Qualitätssicherung ... 27
4.10.1 Allgemeines ... 27
4.10.2 Auslegungsphase ... 28
4.10.3 Ausführungsphase ... 28

5 Anforderungen für Komponenten und Werkstoffe ... 29
5.1 Grundanforderungen ... 29
5.2 Stahlmediumrohrteile ... 29
5.2.1 Allgemeines ... 29
5.2.2 Spezifikation ... 29
5.2.3 Kennwerte für Stahl ... 30
5.2.4 Spezifische Anforderungen an Rohrbögen und T-Stücke ... 31
5.2.5 Spezifische Anforderungen für kleine Winkelabweichungen ... 32

5.2.6 Spezifische Anforderungen für Reduzierstücke 33
5.3 Polyurethan-Schaumstoffwärmedämmung 33
5.4 Ummantelung 33
5.5 Werkstoffe für Ummantelungen und die Wärmedämmung von Montagestößen 33
5.6 Dehnpolster 33
5.6.1 Allgemeines 33
5.6.2 Werkstoffe 34
5.6.3 Steifigkeitseigenschaften 34
5.6.4 Auswahl der erforderlichen Dicke der Dehnpolster 35
5.6.5 Kennzeichnung 35
5.7 Armaturen und Zubehör 36
5.7.1 Allgemeine Anforderungen 36
5.7.2 Kennzeichnung und Dokumentation 36

6 Auslegung und Berechnung 36
6.1 Allgemeines Verfahren 36
6.2 Rohrleitungskomponenten, Bereiche, Bedingungen und Schnittstellen, die in die Analyse einfließen müssen 37
6.2.1 Systemkomponenten 37
6.2.2 Bereiche, die spezifische Analysen erfordern 38
6.2.3 Besondere Bedingungen 38
6.2.4 Schnittstellen 39
6.3 Vereinfachtes Analyseverfahren 39
6.4 Einwirkungen 40
6.4.1 Allgemeines 40
6.4.2 Klassifizierung der Einwirkungen und Lastkombinationen 40
6.4.3 Temperaturschwankungen 43
6.4.4 Oberlast durch den Boden 43
6.4.5 Verkehrslasten 43
6.5 Globale Analyse und Wechselwirkung zwischen Rohr und Boden 45
6.5.1 Allgemeines 45
6.5.2 Modell für die Wechselwirkung zwischen Rohr und Boden 46
6.5.3 Rohr-Boden-Reibung (axial) 47
6.5.4 Horizontale Bodenreaktionskraft (lateral) 50
6.5.5 Kombinierte laterale Steife des Stahlmediumrohres, des PUR, der Dehnpolster und des Bodens 55
6.5.6 Bodeneigenschaften 57
6.5.7 Wärmeausdehnung von vergrabenen Rohrabschnitten 57
6.5.8 Rohrleitungssysteme mit Einmalkompensatoren (EKOs) 60
6.5.9 Spezifische Anforderungen an vertikale und horizontale Stabilität 62
6.5.10 Parallelaufgrabungen 65
6.5.11 Anforderungen für weiche Böden und Setzungsbereiche 66
6.5.12 Spezifische Auslegungsanforderungen für überirdische Rohrleitungen mit werkmäßig hergestellten Rohr- und Verbundformstücken 66
6.5.13 Verlegung in Schutzrohren 67
6.6 Bestimmung von Spannungen und Dehnungen 67
6.6.1 Allgemeines 67
6.6.2 Querschnittsanalysen, Stahl 67
6.6.3 Bewertung basierend auf einer resultierenden (äquivalenten) Spannung 70
6.6.4 Spannungen und Ovalisierung durch von oben wirkende Lasten 70
6.6.5 Auslenkung 73
6.6.6 Bögen 74
6.6.7 T-Stücke 74
6.6.8 Einmalkompensatoren (EKOs) 77
6.6.9 PUR und Ummantelung 78
6.7 Ermüdungsanalysen 79
6.7.1 Allgemeines 79
6.7.2 Lastwechsel 80

6.8 Weitere Maßnahmen ... 82

7 Grenzzustände ... 83
7.1 Allgemeines ... 83
7.2 Grenzzustände von Stahlmediumrohren ... 83
7.2.1 Allgemeines ... 83
7.2.2 Grenzzustand A: Versagen aufgrund plastischer Verformung ... 84
7.2.3 Grenzzustand B: Versagen aufgrund von Ermüdungsbruch ... 87
7.2.4 Grenzzustand C: Versagen aufgrund „Instabilität des Systems oder von dessen Teilen" ... 89
7.2.5 Grenzzustand D: Grenzzustand der Gebrauchstauglichkeit ... 92
7.2.6 Übersicht über die Grenzzustände für Stahl ... 92
7.3 Grenzzustände für PUR und PE ... 95
7.3.1 Druckspannung ... 95
7.3.2 Grenzzustand für Schubspannungen ... 95
7.3.3 Grenzzustand für PE ... 95
7.4 Grenzzustand für Armaturen ... 96

Anhang A (normativ) Auslegung von Rohrleitungsteilen unter Innendruck ... 97
A.1 Allgemeines ... 97
A.2 Gerade Rohre und Bögen ... 97
A.2.1 Gerade Rohre ... 97
A.2.2 Bögen ... 97
A.3 T-Stücke und Abzweige ... 98
A.3.1 Allgemeine Aspekte und Einschränkungen ... 98
A.3.2 Verstärkung ... 98
A.4 Reduzierstücke und Verlängerungen ... 101
A.5 Kappen ... 102
A.5.1 Allgemeines ... 102
A.5.2 Korbbögenförmige Kappe, erforderliche Mindestwanddicke bezogen auf den Innendruck ... 102
A.5.3 Gerade zylindrische Ummantelungen ... 102

Anhang B (informativ) Bodeneigenschaften und geotechnische Parameter für die Analyse von Rohr-Boden Wechselwirkungen ... 103
B.1 Allgemeine Anforderungen ... 103
B.2 Geotechnische Parameter für die globale Analyse (Wechselwirkung zwischen Rohr und Boden) ... 103
B.3 Geotechnische Studie ... 104
B.3.1 Feldstudie ... 104
B.3.2 Typische Werte in Bezug auf Mittelwerte ... 104
B.3.3 Untersuchung der Grenzflächenreibung ... 105
B.4 Kennwerte für Bodeneigenschaften ... 105
B.4.1 Typische Werte in Bezug auf Mittelwerte ... 105
B.4.2 Räumliche Variation der Bodeneigenschaften ... 106
B.5 Modellunsicherheit bei Bestimmung geotechnischer Parameter ... 107

Anhang C (informativ) Flexibilität und Spannungserhöhungen von Rohrkomponenten ... 109
C.1 Allgemeines ... 109
C.2 Flexibilitätsfaktoren für Rohrkomponenten ... 109
C.2.1 Bögen ... 109
C.2.2 T-Stücke ... 110
C.2.3 Andere Komponenten ... 110
C.3 Spannungserhöhung in Rohrelementen ... 110
C.3.1 Stumpfschweißverbindungen ... 110
C.3.2 Bögen ... 110
C.3.3 T-Stücke ... 112
C.3.4 Kleine Winkelabweichungen ... 114
C.3.5 Reduzierstücke ... 115

Anhang D (informativ) Berechnung der Wärmeverluste ... 117

D.1 Allgemeines ... 117
D.2 Wärmeverlust von wärmegedämmten Rohren ... 117
D.2.1 Paar von Einzelrohren – Berechnung des spezifischen Wärmeverlustes ... 117
D.2.2 Symmetrische und (a) antisymmetrische Wärmeverlustfaktoren nach Multipol-Gleichungen nullter Ordnung: ... 118
D.2.3 Mittels einer Annäherung nullter Ordnung für die (s) symmetrischen und (a) antisymmetrischen Probleme kann die Wärmebeständigkeit berechnet werden: ... 118
D.2.4 Spezifischer Wärmeverlust von Rohren ... 119
D.2.5 Doppelrohre — Berechnung des spezifischen Wärmeverlustes ... 119
D.2.6 Temperatur von Rohren ... 120
D.2.7 (s) symmetrische und (a) antisymmetrische Wärmeverlustfaktoren nach Multipol-Gleichungen erster Ordnung: ... 121
D.2.8 Spezifischer Wärmeverlust von Rohren ... 122

Anhang E (informativ) Spezifische Anforderungen für Doppelrohrsysteme ... 123
E.1 Allgemeines ... 123
E.2 Komponenten und Werkstoffe ... 123
E.2.1 Doppelrohrsystem ... 123
E.2.2 Fixierungsplatten ... 124
E.3 Max. erlaubte Spannungen für spezifische Elemente von Doppelrohrsystemen ... 124
E.3.1 Projektklassen ... 124
E.3.2 Bodenreibung, Reibungslänge von Doppelrohren und Rohrausdehnung ... 125
E.3.3 Axiale Spannung in Vorlauf- und Rücklaufstahlmediumrohren ... 127
E.3.4 Maße der Fixierungsplatten ... 129
E.3.5 Dehngrenze der Fixierungsplatte ... 133
E.3.6 Nachweis der Schweißnähte ... 134
E.3.7 Vertikale und horizontale Stabilität von Doppelrohrsystemen im Boden ... 137
E.3.8 Spannungserhöhungsfaktoren für Bögen, T-Stücke ... 137
E.3.9 Ermüdung ... 137
E.4 Verlegungsanforderungen ... 137
E.4.1 Verlegeverfahren ... 137
E.4.2 Abschlüsse von geraden Rohrabschnitten ... 137
E.4.3 Einsatz von gedämmten Doppelrohrarmaturen ... 137
E.4.4 Einsatz von Übergangselementen (Doppelrohr — Einzelrohr) ... 137
E.4.5 Anforderungen hinsichtlich des Schweißens und Prüfens von Stahlrohrmediumverbindungen ... 137

Anhang F (normativ) Druckprüfung von Dehnpolstern ... 138

Anhang G (informativ) Grundsätze zur Bestimmung der Biegemomente und Axialkräfte zur Prüfung von Fernwärmearmaturen ... 140
G.1 Einleitung ... 140
G.2 Allgemeine Erwägungen zur Bestimmung der Prüfwerte für Biegemomente ... 140
G.3 Bestimmung von Biegemomenten aus Bodensetzungen ... 141
G.4 Berechnungsergebnisse und Bewertung ... 142
G.5 Beständigkeit gegenüber axialen Kräften ... 144

Anhang H (informativ) Anwendungsbereich der EN 13941 in Bezug auf die Druckgeräterichtlinie (PED), 2014/68/EU, 15. Mai 2014 ... 145
H.1 Allgemeines ... 145
H.2 Leitlinien ... 146

Anhang I (informativ) Qualitätssicherungsprogramm und Dokumentation ... 149

Anhang J (informativ) Ummantelung: Gleichungen für Miner-Regel ... 152

Anhang K (informativ) Festigkeitsberechnung beim horizontalen Richtbohren ... 154
K.1 Einleitung ... 154
K.2 Bestimmung der Zugkräfte ... 155
K.2.1 Zugkraft, resultierend aus dem Rollensystem ... 155
K.2.2 Zugkraft, resultierend aus einem geraden Abschnitt des Bohrloches ... 156

K.2.3 Zugkraft, resultierend aus gebogenen Abschnitten des Bohrloches 157
K.2.4 Gesamtzugkraft 159
K.3 Bestimmung des Längsbiegemoments 160
K.4 Bestimmung des umlaufenden Biegemoments durch Oberlast 160
K.5 Bestimmung der Spannung 160
K.6 Bewertung eines möglichen Zusammenbruchs der Rohrleitung aufgrund des externen Bohrspülungsdrucks oder des externen Grundwasserdrucks (Risiko des Ausknickens) 160
K.7 Bewertung des maximalen Bodendrucks auf dem PUR und der Ummantelung 161
K.8 Bestimmung des höchsten zulässigen Drucks im Bohrloch 161
K.9 Vertikale Bodenlast nach Fertigstellung des horizontalen Richtbohrens (HDD) 161
K.9.1 Einleitung 161
K.9.2 Wölbung 161
K.9.3 Berechnungsverfahren für vertikale Bodenlasten (homogene Bodenmasse) 161
K.9.4 Berechnungsverfahren zur Bestimmung des horizontalen Stützdrucks (mit reduzierter vertikaler Last) 163

Literaturhinweise 164

Contents

Page

European foreword 8

Introduction 10

1 Scope 11

2 Normative references 11

3 Terms and definitions, units and symbols 12
3.1 Terms and definitions 12
3.1.1 Symbols 13
3.1.2 Abbreviations 19

4 General requirements 19
4.1 Functional requirements 19
4.2 Service life 19
4.3 Preliminary investigations 20
4.4 Determination of project class 21
4.4.1 Risk assessment 21
4.4.2 Project classes 21
4.5 Design documentation 23
4.5.1 General 23
4.5.2 Operational data 24
4.5.3 Data related to the pipe system 24
4.6 Route selection and positioning of the pipes 26
4.6.1 Minimum distances between parallel pipes 26
4.6.2 Parallel excavations and works of third parties 27
4.6.3 Minimum distance between district heating pipes and underground structures 27
4.7 Venting and draining 27
4.8 Valves 27
4.9 Procurement of materials 28
4.9.1 Manufacturer of pipeline components 28
4.10 Quality control 28
4.10.1 General 28
4.10.2 Design phase 28
4.10.3 Installation phase 28

5 Requirements for components and materials 29
5.1 Basic requirements 29
5.2 Steel service pipe components 29
5.2.1 General 29
5.2.2 Specification 30
5.2.3 Characteristic values for steel 30
5.2.4 Specific requirements for bends and T-pieces 31
5.2.5 Specific requirements for small angular deviations 32
5.2.6 Specific requirements for reducers 33
5.3 Polyurethane foam thermal insulation 33
5.4 Casing 33
5.5 Materials for casing and thermal insulation of field joints 33
5.6 Expansion cushions 33
5.6.1 General 33
5.6.2 Materials 34

5.6.3 Stiffness properties 34
5.6.4 Selecting required thickness of expansion cushions 35
5.6.5 Marking 35
5.7 Valves and accessories 35
5.7.1 General requirements 35
5.7.2 Marking and documentation 36
6 Design and calculation 36
6.1 General procedure 36
6.2 Pipeline components, areas, conditions and interfaces to be included in the analyses 37
6.2.1 Components 37
6.2.2 Areas requiring specific analyses 38
6.2.3 Special conditions 38
6.2.4 Interfaces 38
6.3 Simplified analysis procedure 39
6.4 Actions 39
6.4.1 General 39
6.4.2 Classification of actions and load combinations 39
6.4.3 Temperature variations 41
6.4.4 Top load from soil 42
6.4.5 Traffic loads 42
6.5 Global analysis and pipe-soil interaction 44
6.5.1 General 44
6.5.2 Modelling pipe-soil interaction 44
6.5.3 Pipe to soil friction (axial) 46
6.5.4 Horizontal soil reaction (lateral) 48
6.5.5 Combined lateral stiffness of steel service pipe, PUR, expansion cushions and soil . 53
6.5.6 Soil properties 55
6.5.7 Thermal expansion of buried pipe sections: 55
6.5.8 Pipe systems with single use compensators (SUC's) 58
6.5.9 Specific requirements for vertical and horizontal stability 60
6.5.10 Parallel excavations 63
6.5.11 Requirements for soft soils and settlement areas 64
6.5.12 Specific design requirements for above-ground pipelines with factory made pipe and fitting assemblies 64
6.5.13 Insertion into protection pipe 64
6.6 Determination of stresses and strains 65
6.6.1 General 65
6.6.2 Cross section analyses, steel 65
6.6.3 Assessment on the basis of a resultant (equivalent) stress 66
6.6.4 Stresses and ovalization from top load 67
6.6.5 Deflection 69
6.6.6 Bends 69
6.6.7 T-pieces 70
6.6.8 Single Use Compensators (SUC's) 73
6.6.9 PUR and casing 74
6.7 Fatigue analyses 75
6.7.1 General 75
6.7.2 Action cycles 75
6.8 Further actions 77
7 Limit states 77
7.1 General 77
7.2 Limit states for service pipes of steel 78

7.2.1 General 78
7.2.2 Limit state A: Failure caused by plastic deformation 78
7.2.3 Limit state B: Failure caused by fatigue 81
7.2.4 Limit state C: Failure caused by instability of the system or part of it 84
7.2.5 Limit state D: Serviceability limit state 86
7.2.6 Survey of limit states for steel 86
7.3 Limit states for PUR and PE 89
7.3.1 Compressive stress 89
7.3.2 Limit state for shear stress 89
7.3.3 Limit state for PE 89
7.4 Limit states for valves 89
Annex A (normative) Design of piping components under internal pressure 91
A.1 General 91
A.2 Straight pipe and bends 91
A.2.1 Straight pipes 91
A.2.2 Bends 91
A.3 T-pieces and branch connections 92
A.3.1 General aspects and limitations 92
A.3.2 Reinforcement 92
A.3.2.1 General 92
A.3.2.2 Dissimilar material of shell and reinforcement 92
A.3.2.3 Thickness ratio 93
A.3.2.4 Calculation method for reinforcement area 93
A.3.2.5 Reinforcement by increased wall thickness 93
A.3.2.6 Reinforcement by compensating plates 94
A.4 Reducers and extensions 95
A.5 Dished ends 95
A.5.1 General 95
A.5.2 Ellipsoidal Dished Head Minimum required wall thickness for internal pressure 96
A.5.3 Straight cylindrical shells 96
Annex B (informative) Soil properties and geotechnical parameters for pipe/soil interaction analyses 97
B.1 General requirements 97
B.2 Geotechnical parameters for global analysis (pipe-soil interaction) 97
B.3 Geotechnical Study 98
B.3.1 Field study 98
B.3.2 Typical values, referred to mean value 98
B.3.3 Investigation of interface friction 98
B.4 Characteristic values for soil properties 98
B.4.1 Typical values, referred to mean value 98
B.4.2 Spatial variation of soil properties 99

B.5 Model uncertainty when determining geotechnical parameters 100
Annex C (informative) Flexibility and stress concentration of pipe components 102
C.1 General 102
C.2 Flexibility factors for pipe components 102
C.2.1 Bends 102
C.2.2 T-pieces 102
C.2.3 Other components 103
C.3 Stress concentration in pipe elements 103
C.3.1 Butt welds 103
C.3.2 Bends 103
C.3.2.1 Stress concentration factors for bends: Simplified method 103
C.3.2.2 Stress concentration factors for bends: exact calculation 104
C.3.3 T-pieces 105
C.3.3.1 General 105
C.3.4 Small angular deviations 107
C.3.5 Reducers 108
Annex D (informative) Calculation of heat losses 110
D.1 General 110
D.2 Heat losses of thermal insulated pipes 110
D.2.1 Pair of single pipes — calculation of specific heat loss 110
D.2.2 symmetrical and (a) antisymmetrical heat loss factors according to zero-order multipole formulae: 111
D.2.3 Using Zero-order approximation for (s) symmetrical and (a) antisymmetrical problem the heat resistance can be calculated: 111
D.2.4 specific heat loss of pipes 112
D.2.5 Twin Pipes — calculation of specific heat loss 112
D.2.6 temperatures of pipes 113
D.2.7 (s) symmetrical and (a) antisymmetrical heat loss factors according to first-order multipole formula: 114
D.2.8 specific heat loss of pipes 115
Annex E (informative) Specific requirements for twin pipe systems 116
E.1 General 116
E.2 Component and materials 116
E.2.1 Twin Pipe assembly 116
E.2.2 Fixing bars 117
E.3 Max. allowable stresses for specific twin pipe system elements: 118
E.3.1 Project classes 118
E.3.2 Soil friction, twin pipe friction length and pipe expansion 118

E.3.3 Axial stress in the flow and return steel service pipes 120
E.3.4 Dimensions of the fixing bars 122
E.3.4.1 General 122
E.3.4.2 loads on the fixing bars type A 123
E.3.4.3 loads on the fixing bar type B 124
E.3.5 Stress proof of the fixing bar 126
E.3.6 Proof of the welds 127
E.3.7 Vertical and horizontal stability of the twin pipe assembly in the soil 129
E.3.8 Stress concentration factors for bends, T-pieces 129
E.3.9 Fatigue 129
E.4 Installation requirements 130
E.4.1 Installation methods: 130
E.4.2 Straight pipe section terminations: 130
E.4.3 Use of insulated twin pipe valves: 130
E.4.4 Use of transition assembly (twin pipe — single pipe): 130
E.4.5 requirements for welding and testing of steel service pipe joints: 130
Annex F (normative) Compressive testing of expansion cushions 131
Annex G (informative) Principles for determination of bending moments and axial forces for testing of district heating valves 133
G.1 Introduction 133
G.2 General considerations for determination of test values for bending moments 133
G.3 Determination of bending moments from soil settlements 134
G.4 Calculation results and evaluation 134
G.5 Resistance to axial forces 137
Annex H (informative) Scope of EN 13941 in relation to Pressure Equipment Directive (PED), 2014/68/EU, May 15th, 2014 138
H.1 General 138
H.2 Guidelines 139
Annex I (informative) Quality control program and documentation 142
Annex J (informative) Casing: Formulas for Miner Rule 145
Annex K (informative) Strength calculation of horizontal directional drillings 147
K.1 Introduction 147
K.2 Determination of pulling forces 148
K.2.1 Pulling force, resulting from the roller system 148
K.2.2 Pulling force, resulting from a straight section of borehole 148
K.2.3 Pulling force, resulting from curved sections of the borehole 150
K.2.3.1 General friction force 150
K.2.3.2 Friction resulting from elastic soil reaction in curved borehole sections 150

K.2.3.3 Friction due to the axial pulling force in curved borehole sections 151
K.2.3.4 Total force in a curved section 152
K.2.4 Total pulling force 152
K.3 Determination of the longitudinal bending moment 153
K.4 Determination of the circumferential bending moment from top load 153
K.5 Determination of stress 153
K.6 Assessment of possible collapse of the pipeline due to external drilling fluid pressure or external ground water pressure (risk of buckling) 153
K.7 Assessment of maximum soil pressure on PUR and casing 153
K.8 Determination of maximum allowable pressure in the bore hole 154
K.9 Vertical soil load after completion of horizontal directional drilling (HDD) 154
K.9.1 Introduction 154
K.9.2 Arching 154
K.9.3 Calculation method for vertical soil load (homogeneous soil mass) 154
K.9.4 Calculation method for horizontal support pressure (with reduced vertical load) 155
Bibliography 156