

DIN EN 13941-1

ICS 23.040.07; 23.040.10; 91.140.10

Ersatz für
DIN EN 13941-1:2019-12

**Fernwärmerohre –
Auslegung und Installation von gedämmten Einzel- und
Doppelrohr-Verbundsystemen für direkt erdverlegte Fernwärmenetze –
Teil 1: Auslegung;
Deutsche Fassung EN 13941-1:2019+A1:2021**

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 version EN 13941-1:2019+A1:2021

Tuyaux de chauffage urbain –
Conception et installation des systèmes bloqués de monotubes ou bitubes isolés
thermiquement pour les réseaux d'eau chaude enterrés directement –
Partie 1: Conception;
Version allemande EN 13941-1:2019+A1:2021

Gesamtumfang 165 Seiten

DIN-Normenausschuss Heiz- und Raumluftechnik sowie deren Sicherheit (NHRS)

Nationales Vorwort

Dieses Dokument (EN 13941-1:2019+A1:2021) wurde vom Technischen Komitee CEN/TC 107 „Werkmäßig gedämmte Mantelrohrsysteme für Fernwärme und Fernkälte“ erarbeitet, dessen Sekretariat von DS (Dänemark) gehalten wird.

Das zuständige deutsche Normungsgremium ist der Arbeitsausschuss NA 041-01-12 AA „Werkmäßig gedämmte Mantelrohre für Fernwärme (SpA CEN/TC 107)“ im DIN-Normenausschuss Heiz- und Raumlufttechnik sowie deren Sicherheit (NHRS).

Aktuelle Informationen zu diesem Dokument können über die Internetseiten von DIN (www.din.de) durch eine Suche nach der Dokumentennummer aufgerufen werden.

Änderungen

Gegenüber DIN EN 13941-1:2019-12 wurden folgende Änderungen vorgenommen:

- a) geringfügige Korrekturen im Dokument.

Frühere Ausgaben

DIN EN 13941: 2003-10, 2010-01, 2010-12
DIN EN 13941-1: 2019-12

Deutsche Fassung

Fernwärmerohre —
Auslegung und Installation von gedämmten Einzel- und
Doppelrohr-Verbundsystemen für direkt erdverlegte
Fernwärmenetze —
Teil 1: Auslegung

District heating pipes —
Design and installation of thermal insulated bonded
single and twin pipe systems for directly buried hot
water networks —
Part 1: Design

Tuyaux de chauffage urbain —
Conception et installation des systèmes bloqués de
monotubes ou bitubes isolés thermiquement pour les
réseaux d'eau chaude enterrés directement —
Partie 1: Conception

Diese Europäische Norm wurde vom CEN am 14. Dezember 2018 angenommen und beinhaltet die Änderung 1, welche vom CEN am 15. Oktober 2021 angenommen wurde.

Die CEN-Mitglieder sind gehalten, die CEN/CENELEC-Geschäftsordnung zu erfüllen, in der die Bedingungen festgelegt sind, unter denen dieser Europäischen Norm ohne jede Änderung der Status einer nationalen Norm zu geben ist. Auf dem letzten Stand befindliche Listen dieser nationalen Normen mit ihren bibliographischen Angaben sind beim CEN-CENELEC-Management-Zentrum oder bei jedem CEN-Mitglied auf Anfrage erhältlich.

Diese Europäische Norm besteht in drei offiziellen Fassungen (Deutsch, Englisch, Französisch). Eine Fassung in einer anderen Sprache, die von einem CEN-Mitglied in eigener Verantwortung durch Übersetzung in seine Landessprache gemacht und dem Management-Zentrum mitgeteilt worden ist, hat den gleichen Status wie die offiziellen Fassungen.

CEN-Mitglieder sind die nationalen Normungsinstitute von Belgien, Bulgarien, Dänemark, Deutschland, Estland, Finnland, Frankreich, Griechenland, Irland, Island, Italien, Kroatien, Lettland, Litauen, Luxemburg, Malta, den Niederlanden, Norwegen, Österreich, Polen, Portugal, der Republik Nordmazedonien, Rumänien, Schweden, der Schweiz, Serbien, der Slowakei, Slowenien, Spanien, der Tschechischen Republik, der Türkei, Ungarn, dem Vereinigten Königreich und Zypern.



EUROPÄISCHES KOMITEE FÜR NORMUNG
EUROPEAN COMMITTEE FOR STANDARDIZATION
COMITÉ EUROPÉEN DE NORMALISATION

CEN-CENELEC Management-Zentrum: Rue de la Science 23, B-1040 Brüssel

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	17
4.1 Funktionale Anforderungen	17
4.2 Nutzungsdauer	18
4.3 Voruntersuchungen	18
4.4 Bestimmung der Projektklasse	19
4.4.1 Risikobewertung	19
4.4.2 Projektklassen	19
4.5 Projektdokumentation	22
4.5.1 Allgemeines	22
4.5.2 Betriebsdaten	22
4.5.3 Daten bezüglich des Rohrleitungssystems	22
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	26
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	27
4.10.3 Installationsphase	28
5 Anforderungen an Komponenten und Werkstoffe	28
5.1 Grundanforderungen	28
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	32
5.3 Polyurethan-Schaumstoffwärmedämmung	32
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	42
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.....	45
6.5.3	Rohr-Boden-Reibung (axial)	47
6.5.4	Horizontale Bodenreaktionskraft (lateral)	49
6.5.5	Kombinierte laterale Steife des Stahlmediumrohres, des PUR, der Dehnpolster und des Bodens	54
6.5.6	Bodeneigenschaften.....	56
6.5.7	Wärmeausdehnung von vergrabenen Rohrabschnitten.....	56
6.5.8	Rohrleitungssysteme mit Einmalkompensatoren (EKO).....	59
6.5.9	Spezifische Anforderungen an vertikale und horizontale Stabilität	61
6.5.10	Parallelaufgrabungen	64
6.5.11	Anforderungen für weiche Böden und Setzungsbereiche	65
6.5.12	Spezifische Auslegungsanforderungen für oberirdische Rohrleitungen mit werkmäßig gefertigten Rohr- und Verbundformstücken	65
6.5.13	Verlegung in Schutzrohren	66
6.6	Bestimmung von Spannungen und Dehnungen	66
6.6.1	Allgemeines	66
6.6.2	Querschnittsanalysen, Stahl.....	66
6.6.3	Bewertung basierend auf einer resultierenden (äquivalenten) Spannung.....	69
6.6.4	Spannungen und Ovalisierung durch Oberlast	69
6.6.5	Auslenkung	72
6.6.6	Bögen	72
6.6.7	T-Stücke	73
6.6.8	Einmalkompensatoren (EKO).....	76
6.6.9	PUR und Ummantelung	77
6.7	Ermüdungsanalysen.....	78
6.7.1	Allgemeines	78
6.7.2	Lastwechsel	79
6.8	Weitere Maßnahmen	81
7	Grenzzustände.....	82
7.1	Allgemeines	82

7.2	Grenzzustände von Stahlmediumrohren.....	83
7.2.1	Allgemeines	83
7.2.2	Grenzzustand A: Versagen aufgrund plastischer Verformung	83
7.2.3	Grenzzustand B: Versagen aufgrund von Ermüdungsbruch.....	86
7.2.4	Grenzzustand C: Versagen aufgrund „Instabilität des Systems oder von dessen Teilen“	88
7.2.5	Grenzzustand D: Grenzzustand der Gebrauchstauglichkeit.....	91
7.2.6	Übersicht über die Grenzzustände für Stahl.....	91
7.3	Grenzzustände für PUR und PE	94
7.3.1	Druckspannung.....	94
7.3.2	Grenzzustand für $\langle A_1 \rangle$ axiale $\langle A_1 \rangle$ Schubspannung	94
7.3.3	Grenzzustand für PE	94
7.4	Grenzzustände für Armaturen.....	95
Anhang A (normativ) Auslegung von Rohrleitungsteilen unter Innendruck.....		96
A.1	Allgemeines	96
A.2	Gerade Rohre und Bögen	96
A.2.1	Gerade Rohre	96
A.2.2	Bögen.....	96
A.3	T-Stücke und Abzweige	97
A.3.1	Allgemeine Aspekte und Einschränkungen	97
A.3.2	Verstärkung.....	97
A.3.2.1	Allgemeines.....	97
A.3.2.2	Unterschiedlicher Werkstoff von Ummantelung und Verstärkung	97
A.3.2.3	Dickenverhältnis.....	97
A.3.2.4	Berechnungsverfahren für den Verstärkungsbereich	98
A.3.2.5	Verstärkung durch erhöhte Wanddicke.....	98
A.3.2.6	Verstärkung durch scheibenförmige Verstärkungen.....	99
A.4	Reduzierstücke und Verlängerungen	100
A.5	Kappen.....	100
A.5.1	Allgemeines	100
A.5.2	Korbbögenförmige Kappe, erforderliche Mindestwanddicke bezogen auf den Innendruck.	101
A.5.3	Gerade zylindrische Ummantelungen.....	101
Anhang B (informativ) Bodeneigenschaften und geotechnische Parameter für die Analyse von Rohr- Boden Wechselwirkungen		102
B.1	Allgemeine Anforderungen.....	102
B.2	Geotechnische Parameter für die globale Analyse (Wechselwirkung zwischen Rohr und Boden)	102
B.3	Geotechnische Studie	103
B.3.1	Feldstudie.....	103
B.3.2	Typische Werte in Bezug auf Mittelwerte.....	103
B.3.3	Untersuchung der Grenzflächenreibung	104
B.4	Kennwerte für Bodeneigenschaften	104
B.4.1	Typische Werte in Bezug auf Mittelwerte.....	104
B.4.2	Räumliche Variation der Bodeneigenschaften	105
B.5	Modellunsicherheit bei Bestimmung geotechnischer Parameter	106
Anhang C (informativ) Flexibilität und Spannungserhöhungen von Rohrkomponenten		108
C.1	Allgemeines	108
C.2	Flexibilitätsfaktoren für Rohrkomponenten.....	108
C.2.1	Bögen.....	108
C.2.2	T-Stücke	109
C.2.3	Andere Komponenten.....	109
C.3	Spannungserhöhung in Rohrelementen	109
C.3.1	Stumpfschweißverbindungen.....	109
C.3.2	Bögen.....	109
C.3.2.1	Spannungserhöhungsfaktoren für Bögen: Vereinfachtes Verfahren	109

C.3.2.2	Spannungserhöhungsfaktoren für Bögen: exakte Berechnung.....	110
C.3.3	T-Stücke	111
C.3.3.1	Allgemeines.....	111
C.3.4	Kleine Winkelabweichungen	113
C.3.5	Reduzierstücke.....	114
Anhang D (informativ) Berechnung der Wärmeverluste		116
D.1	Allgemeines	116
D.2	Wärmeverlust von wärme gedämmten Rohren.....	116
D.2.1	Zwei Einzelrohre – Berechnung des spezifischen Wärmeverlustes.....	116
D.2.2	Symmetrische und (a) antisymmetrische Wärmeverlustfaktoren nach Multipol-Gleichungen nullter Ordnung:	117
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	118
D.2.5	Doppelrohre — Berechnung des spezifischen Wärmeverlustes	119
D.2.6	Temperatur von Rohren	119
D.2.7	(s) symmetrische und (a) antisymmetrische Wärmeverlustfaktoren nach Multipol-Gleichungen erster Ordnung:.....	120
D.2.8	Spezifischer Wärmeverlust von Rohren	121
Anhang E (informativ) Spezifische Anforderungen an Doppelrohrsysteme.....		122
E.1	Allgemeines	122
E.2	Komponenten und Werkstoffe	122
E.2.1	Doppelrohrsystem	122
E.2.2	Fixierungsplatten	123
E.3	Maximal erlaubte Spannungen für spezifische Elemente von Doppelrohrsystemen	123
E.3.1	Projektklassen.....	123
E.3.2	Bodenreibung, Reibungslänge von Doppelrohren und Rohrausdehnung	124
E.3.3	Axiale Spannung in Vorlauf- und Rücklaufstahlmediumrohren.....	125
E.3.4	Maße der Fixierungsplatten.....	128
E.3.4.1	Allgemeines.....	128
E.3.4.2	Lasten auf den Fixierungsplatten, Typ A.....	129
E.3.4.3	Lasten auf der Fixierungsplatte, Typ B.....	130
E.3.5	Spannung in der Fixierungsplatte	131
E.3.6	Nachweis der Schweißnähte	133
E.3.7	Vertikale und horizontale Stabilität von Doppelrohrsystemen im Boden.....	135
E.3.8	Spannungserhöhungsfaktoren für Bögen, T-Stücke.....	135
E.3.9	Ermüdung.....	135
E.4	Installationsanforderungen	135
E.4.1	Installationsverfahren.....	135
E.4.2	Abschlüsse von geraden Rohrabschnitten.....	135
E.4.3	Einsatz von gedämmten Doppelrohrarmaturen.....	135
E.4.4	Einsatz von Übergangselementen (Doppelrohr — Einzelrohr)	135
E.4.5	Anforderungen hinsichtlich des Schweißens und Prüfens von Stahlrohrmediumverbindungen.....	135
Anhang F (normativ) Druckprüfung von Dehnpolstern		136
Anhang G (informativ) Grundsätze zur Bestimmung der Biegemomente und Axialkräfte zur Prüfung von Fernwärmearmaturen		138
G.1	Einleitung	138
G.2	Allgemeine Erwägungen zur Bestimmung der Prüfwerte für Biegemomente	138
G.3	Bestimmung von Biegemomenten aus Bodensetzungen.....	139
G.4	Berechnungsergebnisse und Bewertung.....	140
G.5	Beständigkeit gegenüber axialen Kräften.....	142

Anhang H (informativ) Anwendungsbereich von EN 13941 in Bezug auf die Druckgeräterichtlinie (PED), 2014/68/EU, 15. Mai 2014	143
H.1 Allgemeines	143
H.2 Leitlinien.....	144
Anhang I (informativ) Qualitätssicherungsprogramm und Dokumentation	147
Anhang J (informativ) Ummantelung: Gleichungen für die Miner-Regel.....	150
Anhang K (informativ) Festigkeitsberechnung beim horizontalen Richtbohren.....	152
K.1 Einleitung	152
K.2 Bestimmung der Zugkräfte	153
K.2.1 Zugkraft, resultierend aus dem Rollensystem.....	153
K.2.2 Zugkraft, resultierend aus einem geraden Abschnitt des Bohrloches.....	153
K.2.3 Zugkraft, resultierend aus gebogenen Abschnitten des Bohrloches.....	155
K.2.3.1 Allgemeine Reibungskraft	155
K.2.3.2 Reibung infolge elastischer Bodenreaktion in gebogenen Abschnitten des Bohrloches	155
K.2.3.3 Reibung infolge axialer Zugkräfte in gebogenen Abschnitten des Bohrloches.....	156
K.2.3.4 Gesamtkraft in einem gebogenen Abschnitt.....	157
K.2.4 Gesamtzugkraft	157
K.3 Bestimmung des Längsbiegemoments	158
K.4 Bestimmung des umlaufenden Biegemoments durch Oberlast.....	158
K.5 Bestimmung der Spannung.....	158
K.6 Bewertung eines möglichen Zusammenbruchs der Rohrleitung aufgrund des externen Bohrspülungsdrucks oder des externen Grundwasserdrucks (Risiko des Ausknickens)	158
K.7 Bewertung des maximalen Bodendrucks auf dem PUR und der Ummantelung.....	158
K.8 Bestimmung des höchsten zulässigen Drucks im Bohrloch.....	159
K.9 Vertikale Bodenlast nach Fertigstellung des horizontalen Richtbohrens (HDD).....	159
K.9.1 Einleitung	159
K.9.2 Wölbung.....	159
K.9.3 Berechnungsverfahren für vertikale Bodenlasten (homogene Bodenmasse)	159
K.9.4 Berechnungsverfahren zur Bestimmung des horizontalen Stützdrucks (mit reduzierter vertikaler Last).....	160
Literaturhinweise.....	161

Europäisches Vorwort

Dieses Dokument (EN 13941-1:2019+A1:2021) wurde vom Technischen Komitee CEN/TC 107 „Werkmäßig gedämmte Mantelrohrsysteme für Fernwärme und Fernkälte“ erarbeitet, dessen Sekretariat von DS gehalten wird.

Diese Europäische Norm muss den Status einer nationalen Norm erhalten, entweder durch Veröffentlichung eines identischen Textes oder durch Anerkennung bis Juni 2022, und etwaige entgegenstehende nationale Normen müssen bis Juni 2022 zurückgezogen werden.

Es wird auf die Möglichkeit hingewiesen, dass einige Elemente dieses Dokuments Patentrechte berühren können. CEN ist nicht dafür verantwortlich, einige oder alle diesbezüglichen Patentrechte zu identifizieren.

Dieses Dokument ersetzt  EN 13941:2019  N1).

Dieses Dokument enthält die Änderung 1, die von CEN am 15. Oktober 2021 angenommen wurde.

Der Beginn und das Ende von neuem oder geändertem Text werden durch die Markierungen   angezeigt.

EN 13941, *Fernwärmerohre — Auslegung und Installation von gedämmten Einzel- und Doppelrohr-Verbundsystemen für direkt erdverlegte Fernwärmenetze* besteht aus den folgenden Teilen:

- Teil 1: *Auslegung*
- Teil 2: *Installation*

Gegenüber EN 13941:2009+A1:2010 wurden folgende Änderungen vorgenommen:

- a) EN 13941 wird als „Systemnorm“ angesehen, einschließlich aller Anforderungen an Werkstoffe und Komponenten und bezieht sich, wo notwendig, auf die verwandten Produktnormen;
- b) Kapitel, die sich auf die Installation beziehen, wurden in EN 13941-2 verschoben;
- c) Begriffe wurden in EN 17248 verschoben;
- d) die Struktur des Dokuments wurde verbessert, sodass ein besseres Gleichgewicht zwischen Normentext und den Anhängen besteht;
- e) Doppelrohre wurden im neuen Anhang E miteinbezogen;
- f) Anhang H: „Anwendungsbereich der EN 13941 in Bezug auf die Druckgeräterichtlinie (PED)“ wurde hinzugefügt;
- g) Anforderungen an horizontale und vertikale Stabilität und für parallele Aufgrabungen wurden expliziter formuliert;

N1) Nationale Fußnote: Redaktioneller Fehler in der Referenzfassung; dieses Dokument ersetzt EN 13941-1:2019.

- h) es werden Mindestabstände zwischen parallelen Rohren eingeführt, sowie Warnungen hinsichtlich der Arbeiten von Dritten, welche die Integrität oder die erforderlichen Auslegungsbedingungen der Fernwärmerohre gefährden könnten;
- i) Anforderungen für horizontale Spülbohrungen wurden hinzugefügt (auch in EN 13941-2);
- j) erforderliche Eigenschaften und Prüfmethoden für Dehnpolster wurden hinzugefügt;
- k) eine Ermüdungskurve für Kehlnähte (z. B. für Einmalkompensatoren) wurde hinzugefügt;
- l) der Einsatz von Spannungskonzentrationsfaktoren für Stumpfnähte in Fernwärmerohren wird in Übereinstimmung mit den aktuellen internationalen Verordnungen zum Rohrleitungsbau nicht länger als notwendig berücksichtigt;
- m) eine große Anzahl kleinerer Änderungen und redaktioneller Verbesserungen.

A1 Gegenüber EN 13941-1:2019 wurden die folgenden Änderungen vorgenommen:

- a) geringfügige Korrekturen im Dokument. **A1**

Rückmeldungen oder Fragen zu diesem Dokument sollten an das jeweilige nationale Normungsinstitut des Anwenders gerichtet werden. Eine vollständige Liste dieser Institute ist auf den Internetseiten von CEN abrufbar.

Entsprechend der CEN-CENELEC-Geschäftsordnung sind die nationalen Normungsinstitute der folgenden Länder gehalten, diese Europäische Norm zu übernehmen: Belgien, Bulgarien, Dänemark, Deutschland, die Republik Nordmazedonien, Estland, Finnland, Frankreich, Griechenland, Irland, Island, Italien, Kroatien, Lettland, Litauen, Luxemburg, Malta, Niederlande, Norwegen, Österreich, Polen, Portugal, Rumänien, Schweden, Schweiz, Serbien, Slowakei, Slowenien, Spanien, Tschechische Republik, Türkei, Ungarn, Vereinigtes Königreich und Zypern.

Einleitung

Dieses Dokument wurde vom CEN/TC 107/WG 13 „Werkmäßig gedämmte Fernwärme-Rohrsysteme — Auslegung und Installation“ erarbeitet.

Entsprechend dem Aufgabengebiet von CEN/TC 107

- hat die CEN/TC 107/WG 13 die Aufgabe, Auslegungs-, Berechnungs- und Installationsanforderungen für werkmäßig gedämmte Verbundmantelrohrsysteme für werkmäßig gefertigte wärmegeämmte Einzel- und Doppelrohrverbundsysteme für direkt erdverlegte Warmwassernetze festzulegen,
- legt die CEN/TC 107/WG 13 auch Regeln für Funktionsprüfungen von wärmegeämmten Verbundmantelrohrsystemen für unterirdische Fernwärmenetze fest.

Bei der Anwendung der Norm müssen die verschiedenen Abschnitte, aus denen sie besteht, als voneinander abhängig angesehen werden und können nicht losgelöst als allein stehende Regeln gelten.

Die Revision von EN 13941:2009+A1:2010 umfasst die Aufteilung des Dokuments in zwei separate Dokumente:

- EN 13941-1, *Fernwärmerohre — Auslegung und Installation von gedämmten Einzel- und Doppelrohr-Verbundsystemen für direkt erdverlegte Fernwärmenetze — Teil 1: Auslegung*;
- EN 13941-2, *Fernwärmerohre — Auslegung und Installation von gedämmten Einzel- und Doppelrohr-Verbundsystemen für direkt erdverlegte Fernwärmenetze — Teil 2: Installation*.

Dieses Dokument (Teil 1) besteht aus einem Hauptteil und 8 Anhängen.

Anhänge A und F sind normativ. Anhänge B, C, D, E, G, H, I, J und K sind informativ.

Dieses Dokument umfasst eine Anzahl von Anforderungen, die die ordnungsgemäße Bauausführung von Verteilungsnetzen und Transportrohrleitung für die Fernwärme sicherstellen sollen.

Die Anforderungen und Regelungen in diesem Dokument sollten bewertet und in Übereinstimmung mit den Zielen der Norm und unter angemessener Berücksichtigung der in dem betroffenen Fachgebiet stattfindenden Entwicklungen angewendet werden. Es wird daher angenommen, dass der Anwender der Norm über das erforderliche technische Wissen und ausreichende Kenntnisse der gesetzlichen und weiteren externen Regelungen verfügt, die für die praktische Anwendung der Norm von Bedeutung sind.

ANMERKUNG Einige Absätze dieser Norm werden in einigen Ländern möglicherweise durch nationale Vorschriften abgedeckt, welche selbstverständlich anstelle dieser Norm gelten.

1 Anwendungsbereich

Dieses Dokument legt Auslegungs-, Berechnungs- und Installationsanforderungen für werkmäßig gefertigte wärmegeämmte Einzel- und Doppelrohrverbundsysteme für erdverlegte Warmwassernetze fest, die für den Dauerbetrieb mit aufbereitetem Wasser bei unterschiedlichen Temperaturen bis 120 °C und gelegentlichen Spitztemperaturen bis 140 °C für höchstens 300 h/a sowie bei maximalem Innendruck von 2,5 MPa vorgesehen sind.

Flexible Rohrsysteme nach der Normenreihe EN 15632 liegen nicht im Anwendungsbereich dieser Norm.

Die Norm EN 13941, *Fernwärmerohre — Auslegung und Installation von gedämmten Einzel- und Doppelrohr-Verbundsystemen für direkt erdverlegte Fernwärmenetze* besteht aus zwei Teilen:

- a) EN 13941-1: *Auslegung*
- b) EN 13941-2: *Installation*

Die Anforderungen in diesem Teil, EN 13941-1, bilden eine Einheit mit jenen aus EN 13941-2.

Die Grundsätze der Norm können auf wärmegeämmte Rohrleitungssysteme mit Drücken über 2,5 MPa angewendet werden, vorausgesetzt, die Auswirkungen der Drücke werden besonders beachtet.

Angrenzende Rohre, die zum Netz gehören, aber nicht erdverlegt sind (z.B. Rohre in unterirdischen Einbauten, Armaturenschächten, oberirdische Straßenüberquerungen usw.), können entsprechend dieser Norm ausgelegt und installiert werden.

Dieses Dokument setzt die Verwendung von aufbereitetem Wasser voraus, das durch Enthärtung, Entsalzung, Entlüftung, Zusatz von Chemikalien oder auf andere Art und Weise so behandelt worden ist, dass innere Korrosion und Ablagerungen in den Leitungen effektiv vermieden werden.

ANMERKUNG Für weitere Informationen zur Qualität des Wassers, welches bei Fernwärmesystemen eingesetzt wird, siehe auch Literaturhinweis [2].

Diese Norm gilt nicht für Geräte bzw. Anlagen wie z. B.:

- a) Pumpen;
- b) Wärmeübertrager;
- c) Kessel, Speicher;
- d) Systeme hinter Hausregelstationen.

2 Normative Verweisungen

Die folgenden Dokumente werden im Text in solcher Weise in Bezug genommen, dass einige Teile davon oder ihr gesamter Inhalt Anforderungen des vorliegenden Dokuments darstellen. Bei datierten Verweisungen gilt nur die in Bezug genommene Ausgabe. Bei undatierten Verweisungen gilt die letzte Ausgabe des in Bezug genommenen Dokuments (einschließlich aller Änderungen).

EN 253, *Fernwärmerohre — Einzelrohr-Verbundsysteme für direkt erdverlegte Fernwärmenetze — Werkmäßig gefertigte Verbundrohrsysteme, bestehend aus Stahl-Mediumrohr, einer Wärmedämmung aus Polyurethan und einer Ummantelung aus Polyethylen*

EN 448, *Fernwärmerohre — Einzelrohr-Verbundsysteme für direkt erdverlegte Fernwärmenetze — Werkmäßig gefertigte Verbundformstücke, bestehend aus Stahl-Mediumrohren, einer Wärmedämmung aus Polyurethan und einer Ummantelung aus Polyethylen*

EN 488, *Fernwärmerohre — Einzelrohr-Verbundsysteme für direkt erdverlegte Fernwärmenetze — Werkmäßig gefertigte Stahl-Absperrarmaturen für Stahl-Mediumrohre, Wärmedämmung aus Polyurethan und einer Ummantelung aus Polyethylen*

EN 489-1, *Fernwärmerohre — Einzel- und Doppelrohr-Verbundsysteme für erdverlegte Fernwärmenetze — Teil 1: Mantelrohrverbindungen und Wärmedämmung für Fernwärmenetze nach EN 13941-1*

EN 10204, *Metallische Erzeugnisse — Arten von Prüfbescheinigungen*

EN 10216-2, *Nahtlose Stahlrohre für Druckbeanspruchungen — Technische Lieferbedingungen — Teil 2: Rohre aus unlegierten und legierten Stählen mit festgelegten Eigenschaften bei erhöhten Temperaturen*

EN 10217-2, *Geschweißte Stahlrohre für Druckbeanspruchungen — Technische Lieferbedingungen — Teil 2: Elektrisch geschweißte Rohre aus unlegierten und legierten Stählen mit festgelegten Eigenschaften bei erhöhten Temperaturen*

EN 10217-5, *Geschweißte Stahlrohre für Druckbeanspruchungen — Technische Lieferbedingungen — Teil 5: Unterpulvergeschweißte Rohre aus unlegierten und legierten Stählen mit festgelegten Eigenschaften bei erhöhten Temperaturen*

EN 10253-2, *Formstücke zum Einschweißen — Teil 2: Unlegierte und legierte ferritische Stähle mit besonderen Prüfanforderungen*

EN 13480-3, *Metallische industrielle Rohrleitungen — Teil 3: Konstruktion und Berechnung*

EN 13941-2, *Fernwärmerohre — Auslegung und Installation von gedämmten Einzel- und Doppelrohr-Verbundsystemen für direkt erdverlegte Fernwärmenetze — Teil 2: Installation*

EN 14419, *Fernwärmerohre — Einzel- und Doppelrohr-Verbundsysteme für erdverlegte Fernwärmenetze — Überwachungssysteme*

EN 15698 (alle Teile), *Fernwärmerohre — Verbundmanteldoppelrohre für direkt erdverlegte Fernwärmenetze*

EN 17248  gestrichener Text , *Fernwärme- und Fernkälterohrsysteme — Begriffe*

EN ISO 1856, *Weich-elastische polymere Schaumstoffe — Bestimmung des Druckverformungsrestes (ISO 1856)*

3 Begriffe, Einheiten und Symbole

3.1 Begriffe

Für die Anwendung dieses Dokuments gelten die Begriffe nach prEN 17248.

ISO und IEC stellen terminologische Datenbanken für die Verwendung in der Normung unter den folgenden Adressen bereit:

- IEC Electropedia: unter <https://www.electropedia.org/>
- ISO Online Browsing Platform: unter <https://www.iso.org/obp>

3.1.1 Symbole

Tabelle 1 — Symbole

Symbol	Bezeichnung	Einheit
A	Fläche	mm^2
A, A_S	Querschnittsfläche des Stahlmediumrohres	mm^2
A_p	druckbeaufschlagte Fläche im Inneren des Rohres	mm^2
A_m	beim Ausgleich des Überdrucks wirksamer Metallquerschnitt	mm^2
A_{MS}	für die Verstärkung wirksame Querschnittsfläche des Hauptrohres	mm^2
A_{MP}	Querschnittsfläche der für die Verstärkung wirksamen scheibenförmigen Verstärkung	mm^2
C	Abstand zwischen den Mittellinien der beiden Rohrleitungen	mm
c	Kohäsion des Bodens	kN/m^2
c'	effektive Kohäsion des Bodens	kN/m^2
c_1	Korrektur der Wanddicke um die Herstellungstoleranz	mm
c_2	Korrektur der Wanddicke um den Korrosionszuschlag	mm
D	„Auslenkungs-“ (Kriech-)Faktor bezogen auf die seitliche Verdichtung zur Berechnung der Ovalisierung aus Erdauflast	—
D_C/D_i	Außendurchmesser/Innendurchmesser der Ummantelung	mm Ä1 gestrichen er Text Ä1
D_{CU}	entsprechender Außendurchmesser der Dehnpolster	mm
DN	Nennendurchmesser	—
D_{PUR}	Durchmesser des Dämmstoffes	mm
d	Durchmesser des Mediumrohres (Stahl)	mm
d_i	Innendurchmesser des Stahlmediumrohres	mm
d_o	Außendurchmesser des Stahlmediumrohres	mm
$d_{bo}/d_{bi}/d_{bm}$	Außen-/Innen-/mittlerer Durchmesser des Abzweiges im T-Stück	mm
$d_{ro}/d_{ri}/d_{rm}$	Außen-/Innen-/mittlerer Durchmesser des Hauptrohres im T-Stück	mm
d_m	mittlerer Durchmesser des Mediumrohres	mm
$d_{\min.}/d_{o \max}$	kleinster/größter mittlerer Durchmesser des Mediumrohres	mm
$d_{o \min.}/d_{o \max}$	Außendurchmesser des kleinsten/größten Rohres	mm
d_{oc}	Außendurchmesser an jedem Punkt entlang des Konus (eines Reduzierstücks)	mm
d_w	mittlerer Durchmesser des Faltenbalges	mm
E	Elastizitätsmodul	MPa
E_{cu}	Elastizitätsmodul der Dehnpolster, siehe 6.5	MPa
E_1, E_2, E_n	Elastizitätsmodul der umzuwandelnden Straßenunterbauschicht	MPa
E_g	Elastizitätsmodul des Baugrunds	MPa
F	Reibungskraft je Rohrlängeneinheit	kN/m
f_u	maximaler axialer Bodenwiderstand	kN/m^2
f	axialer Bodenwiderstand	kN/m^2

Symbol	Bezeichnung	Einheit
f	Auslenkung	mm
f_{rr}	Rundröckfaktor aufgrund des Innendrucks	—
G	effektives Eigengewicht der werkmäßig gefertigten Rohrbaugruppe (einschließlich Füllung) je Meter Rohrlänge	kN/m
G_w	effektives Gewicht der Bodenschicht über dem Rohr je Meter Rohrlänge	kN/m
H	Bodenüberdeckung über dem Rohrscheitel	m
H_w	Höhe des Grundwasserspiegels unterhalb der Oberfläche	m
HH_n	Dicke der umzuwandelnden Straßenunterbauschicht	m
h_a	antisymmetrische Wärmeverlustfaktoren; Wärmeaustausch zwischen Vor- und Rücklauf der Doppelrohre	—
h_i	Innenhöhe der korbboöenförmig ausgeführten Kappe	mm
h_s	symmetrische Wärmeverlustfaktoren; Wärmeverlust des Doppelrohrs an die Umgebung der Rohrleitung	—
I	Trägheitsmoment des Rohrquerschnitts (Einzelrohr)	mm ⁴
I_b	Trägheitsmoment des Abzweigquerschnitts (T-Stück-Berechnung)	mm ⁴
I_w	Trägheitsmoment der Rohrwand	mm ⁴
i	Spannungserhöhungsfaktor	—
i_{a1}	Spannungserhöhungsfaktor für axiale Spannungen durch Normalkraft	—
i_{a2}	Spannungserhöhungsfaktor für axiale Spannungen durch Biegemomente	—
i_{a3}	Spannungserhöhungsfaktor für Schubspannungen durch Torsion	—
i_{a4}	Spannungserhöhungsfaktor für Schubspannungen durch Scherkräfte	—
i_{ap}	Spannungserhöhungsfaktor für Umfangsspannungen durch Druck	—
K_o	Koeffizient des horizontalen Bodendruckes im Ruhezustand	—
K	Momentenkoeffizient in Abhängigkeit vom vertikalen Belastungswinkel (α), Stützwinkel (β) und der Position am Rohrumfang	—
K_c	Bodendruckkoeffizient nach Brinch Hansen in Abhängigkeit von φ und Z/D_c $\langle A_1 \rangle$ für bindige und durchmischte Böden $\langle A_1 \rangle$	—
K_q	Bodendruckkoeffizient nach Brinch Hansen in Abhängigkeit von φ und Z/D_c $\langle A_1 \rangle$ für nicht-bindige und durchmischte Böden $\langle A_1 \rangle$	—
k	Linienbettungsziffer	N/mm ²
k_b	Flexibilitätsfaktor für Biegemomente	—
k_h	Koeffizient der Bodenreaktionskraft in horizontaler Ebene, Flächenbettungsziffer	N/mm ³
k, k_1, k_2	Bewertungskonstanten zur Berechnung von Spannungserhöhungsfaktoren	—
K_y	Ablenkungsfaktor	—
L	Reibungslänge	m
$\langle A_1 \rangle L_{all}$	zulässige Länge zwischen den Einmalkompensatoren	m $\langle A_1 \rangle$
L_p	Abstand zwischen Mediumrohren	m
l	Länge	m
l	Verstärkungslänge (Berechnung der T-Stücke), wie durch den Index angegeben	mm
l_b, l_r	Ausmaß der erhöhten Wanddicke für Abzweig und Hauptrohr	mm

Symbol	Bezeichnung	Einheit
M, M_z	Biegemoment	kNm
M_{tot}	Biegemoment in der Rohrwand in Bezug auf Q_{tot}	kNm
M_x	Torsionsmoment	kNm
m	Konstante der SN-Kurve	—
N	Anzahl der Vollastwechsel	—
N_{cr}	kritische axiale Druckkraft im Einzelrohr	N
N_i	Anzahl der Lastwechsel in der Spannungsschwingbreite $\Delta S_i \Delta \sigma_i$ zum Erzeugen des Bruches	—
N_x	axiale Kraft (positiv für Spannung), (Druck, Temperatur und Bodenreaktion)	N
N_p	axiale Kraft durch Druck bei Dehnung	N
N_R	axiale Kraft durch laterale Bodenreaktion bei Dehnung (N_R ist gewöhnlich negativ)	N
n_i	Anzahl an Lastwechseln im Temperaturbereich ΔT_i	—
p	Innendruck	MPa
p_d	Auslegungsdruck	MPa
p	horizontaler Bodendruck	kN/m ²
p_u	maximaler horizontaler Bodenwiderstand	kN/m ²
P	horizontale Bodenreaktionskraft je Rohrlängeneinheit, Berechnung basierend auf D_c	kN/m ²
P_v	Verkehrslast am oberen Teil des Rohres, hervorgerufen durch das Achslastsystem	kN/m ²
q	vertikaler Bodendruck	kN/m ²
$\text{A1} \rangle q_f$	Vorlaufleitung	W/m
q_r	Rücklaufleitung	W/m $\langle \text{A1}$
q_u	maximaler vertikaler Bodenwiderstand	kN/m ²
Q	vertikale Bodenreaktionskraft je Rohrlängeneinheit	kN/m
Q_v	Verkehrslast in kN/m, am oberen Teil des Rohres	kN/m
Q_{tot}	vertikale Gesamtlast am oberen Teil des Rohres	kN/m
Q_{up}	aufwärtsgerichtete Kraft durch Auftrieb	kN/m
Q_s	effektive vertikale Bodenbelastung am oberen Teil des Rohres	kN/m
R	Innenradius der Krümmung des mittleren Teils der korbboogenförmig ausgeführten Kappe	mm
R	Krümmungsradius	mm
R_e	festgelegte obere Mindeststreckgrenze	MPa
R_{eT}	festgelegte Mindeststreckgrenze bei Auslegungstemperatur	MPa
R_m	Zugfestigkeit	MPa
R_a	festgelegter antisymmetrischer Dämmwiderstand des Bodens	m ² K/W
R_s	festgelegter symmetrischer Dämmwiderstand des Bodens	m ² K/W
R_j	festgelegter Dämmwiderstand des Dämmstoffes	m ² K/W
R_h	festgelegter Dämmwiderstand des Wärmeaustausches zwischen Vor- und Rücklaufleitung	m ² K/W
r	Radius des Rohres	mm

Symbol	Bezeichnung	Einheit
r_g	mittlerer Radius des Rohres	mm
r, r_1, r_x	Radien der Krümmung	mm
r_b, r_m	Spannungsminderungsfaktoren für Abzweig und Hauptrohr (T-Stück-Berechnung)	—
S	Spannungsschwingbreite	MPa
S_F	Schubkraft, die sich durch den Bodenruhedruck ergeben kann	kN/m
S_{Rd}	zulässige Schweißspannung (für Fixierungsplatten in Doppelrohrsystemen)	MPa
T	Temperatur	°C
ΔT	Temperaturunterschied	K
T_1, T_2, T_3	Zugkräfte während des horizontalen Richtbohrens (HDD, en: horizontal directional drilling)	
t	Wanddicke des Rohres	mm
t_{cf}/t_{cr}	Dicke der Mantelwand der Vor- und Rücklaufleitung	mm
t_{min}	Mindestwanddicke des Rohres = $t_n - c_1 - c_2$	mm
t_b	Nenn-Wanddicke des Abzweigrohres (T-Stück-Berechnung)	mm
t_{cu}	entsprechende Dicke der Dehnpolster	mm
t_n	Nenn-Wanddicke des Mediumrohres	mm
$\left[\frac{A_1}{A_2} \right] T_g \left[\frac{A_1}{A_2} \right]$	Mindestdicke der Kappe, um Membranspannungen in der Mitte des Reduzierstücks zu begrenzen, siehe Anhang A	mm
T_f	Temperatur in der Vorlaufleitung (Wärmeverlustberechnung)	°C
T_r	Temperatur in der Rücklaufleitung (Wärmeverlustberechnung)	°C
t_r	Nenn-Wanddicke des Hauptrohres (T-Stück-Berechnung)	mm
t_s	Temperatur des ungestörten Bodens in Tiefe Z	°C
t_o	Wanddicke des Stahlmediumrohres	mm
u	axiale Rohrverschiebung	mm
U_1 und U_2	Wärmeverlustkoeffizienten	—
V_y, V_z	Schubkraft	N
v	horizontale (seitliche) Rohrverschiebung	mm
v_u	horizontale Rohrverschiebung beim Erreichen des maximalen horizontalen Bodenwiderstands	
w	vertikale Rohrverschiebung	mm
W	Widerstandsmoment	mm ³
Z	Verlegetiefe (gemessen bis zur Mittellinie der Rohrbaugruppe)	m
Z_c	korrigierter Tiefenwert Z	$\left[\frac{A_1}{A_2} \right] \text{ mm } \left[\frac{A_1}{A_2} \right]$
z	Wirkungsgrad der Verbindung	—
α	Wärmeausdehnungskoeffizient des Stahlmediumrohres	1/K
α	der halbe Winkel des Reduzierstückes am Scheitelpunkt	°
α, θ	Winkel	°
β	dimensionsloser Wärmewiderstandsparameter	—
γ_a	Teillastfaktor	—
γ_{fat}	Sicherheitsbeiwert für den Ermüdungsbruch	—

Symbol	Bezeichnung	Einheit
γ_m	Teilfaktor für die Materialfestigkeit	—
γ_s	effektives Gewicht des Bodens oberhalb des Grundwasserspiegels	kN/m ³
γ_{sw}	effektives Gewicht des Bodens unterhalb des Grundwasserspiegels = $\gamma'_{sw} - \gamma_w$	kN/m ³
γ'_{sw}	effektives Gewicht des gesättigten Bodens unterhalb des Grundwasserspiegels	kN/m ³
γ_w	effektives Gewicht des Wassers	kN/m ³
δ	Reibungswinkel zwischen Boden und (Mantel-)Rohr	°
δ	Verschiebung durch Wärmeausdehnung	mm
δ_y	vertikale Auslenkung des Rohrquerschnitts	mm
ε	Dehnung	—
λ	Koeffizient der Wärmeleitfähigkeit	W/(mK)
λ_i	Koeffizient der Wärmeleitfähigkeit für die PUR-Dämmung	W/(mK)
λ_s	Koeffizient der Wärmeleitfähigkeit des Bodens	W/(mK)
λ_n	Koeffizient des neutralen horizontalen Erddrucks ($\lambda_n = 1 - \sin \varphi$)	—
μ	Koeffizient der Reibung zwischen Rohr (Ummantelung) und Boden	—
ρ	Dichte	kg/m ³
σ	normale Spannung (positive bei Zug)	MPa
$\sigma_a, \sigma_x, \sigma_{ax}$	axiale (normale) Spannung	MPa
σ_{all}	zulässige Spannung	MPa
$\sigma_{t,all}$	zulässige Zugspannung	MPa
$\sigma_{c,all}$	zulässige Druckspannung	MPa
σ_d	Auslegungsspannung ($R_e(T)/\gamma_m$)	MPa
σ_{dp}	(zulässige) Auslegungsspannung des Werkstoffes der scheibenförmigen Verstärkung	MPa
σ_{pd}	berechnete Umfangsspannung aus Innenauslegungsdruck	MPa $\langle A_1 \rangle$
	$\langle A_1 \rangle$ gestrichener Text $\langle A_1 \rangle$	
σ_{PUR}	Druckspannung im PUR, berechnet als formale Spannung	MPa
σ_t	Tangentialspannung	MPa
σ_m	Membranspannung	MPa
$\sigma_{j,m}$	Vergleichsspannung für Membranspannungen	MPa
σ_{res}	resultierende Spannung für die Membranspannung und die Biegespannung	MPa
$\sigma_{j,res}$	Vergleichsspannung für resultierende Spannungen der Membranspannungen und Biegespannungen	MPa
σ_n	effektive Normalspannung entlang der Außenhaut der Ummantelung	MPa
σ_v	effektive (normale) interkristalline Bodenspannung in Höhe der Rohrmitte	MPa
σ_q	Umfangsbiegespannung durch Bodendruck, Verkehrslast usw. (Ovalisierung)	MPa
τ	Schubspannung	MPa
ν	Poisson-Zahl	—
φ'	effektiver Reibungswinkel des Bodens	°

Tabelle 2 — Indizes

a	: Einwirkung	min	: Minimum
b	: Abzweigrohr (bei T-Verbindungen)	n	: Nenn-, Anzahl (von Ermüdungslastwechseln)
c	: Ummantelung	o	: Außen-, Außenseite
d	: Auslegung	p	: scheibenförmige Verstärkung, Druck
fat	: Ermüdung	r	: Hauptrohr (bei T-Stücken)
i	: Innen-, Innenseite	res	: resultierend
j	: Referenz	u	: Bruch
m	: Durchschnitt, Membran, Werkstoff, Metall	v	: vertikal

3.1.2 Abkürzungen

LC	Lastkombination (en: Load Combination)
EKO	Einmalkompensator (en: Single Use Compensator, SUC)
NFP	natürlicher Festpunkt (en: Natural Fixed Point)
PED	Druckgeräterichtlinie (en: Pressure Equipment Directive)

4 Allgemeine Anforderungen

4.1 Funktionale Anforderungen

Die Auslegung von Fernwärmerohrleitungssystemen müssen folgende Systemeigenschaften sicherstellen:

- ausreichende Dauerhaftigkeit, Widerstandsfähigkeit und Zuverlässigkeit bezüglich der inneren und äußeren Belastungen und Einwirkungen, die bei üblichem Betrieb vorhersehbar sind;
- ausreichende Sicherheit, damit Personen oder die Umwelt nicht gefährdet werden;
- gute Energiewirtschaftlichkeit;
- gute Gesamtwirtschaftlichkeit (gesamte Lebenszykluskosten);
- gute Betriebseigenschaften;
- gesicherte Versorgung;
- gute Möglichkeiten der Inspektion und Instandhaltung.

Die volle Funktionsfähigkeit und Dauerhaftigkeit der mit dem Fernwärmesystem verbundenen Einheiten, wie zum Beispiel Pumpen, Wärmeübertrager, Kessel, Speicher und Systeme hinter den häuslichen Regelstationen, muss in Anbetracht der Wechselwirkung zwischen diesen Einheiten und dem Rohrleitungssystem des Fernwärmesystems, einschließlich möglicher Mangelhaftigkeiten bezüglich der Bedingungen, unter welchen diese montiert wurden, sichergestellt und verifiziert werden.

Es ist zulässig, zu den in dieser Norm angegebenen Anwendungsregeln alternative Auslegungsregeln anzuwenden, vorausgesetzt, es ist erwiesen, dass die Alternativregel mit den entsprechenden Grundsätzen übereinstimmt und hinsichtlich der Widerstandsfähigkeits-, Gebrauchstauglichkeits- und Dauerhaftigkeitseigenschaften des Systems mindestens gleichwertig ist.

Hinsichtlich des Anwendungsbereichs von EN 13941 in Bezug auf die Druckgeräterichtlinie (PED) siehe auch Anhang H.

4.2 Nutzungsdauer

Neue Rohrsysteme zur Verwendung in Fernwärmesystemen müssen für eine Nutzungsdauer von mindestens 30 Jahren im Dauerbetrieb mit Warmwasser bei schwankenden Temperaturen von bis zu 120 °C und mit einer Spitztemperatur von bis zu 140 °C zu bestimmten Zeitpunkten ausgelegt sein. Die Summe dieser einzelnen Zeitintervalle darf im Durchschnitt 300 Stunden im Jahr nicht überschreiten.

ANMERKUNG 1 Die oben festgelegte Nutzungsdauer wird durch die Alterung der Wärmedämmung und der Ummantelung bestimmt, was möglicherweise zum Abbau wichtiger mechanischer Eigenschaften des Schaums (z. B. der Haftung zwischen Mediumrohr und Schaum) und der Ummantelung führt.

ANMERKUNG 2 Es bestehen weitere zeitabhängige Mechanismen, welche die Nutzungsdauer beeinflussen, wie zum Beispiel die Ermüdung von Stahlkomponenten und die Wasserqualität.

4.3 Voruntersuchungen

Voruntersuchungen, einschließlich einer Beurteilung aller für ein Fernwärmeprojekt wichtigen Bedingungen, müssen durchgeführt werden.

Diese Voruntersuchungen sollten Aspekte der Planungs-, Auslegungs-, Ausführungs- und Betriebsphasen sowie Konsequenzen jedes eventuellen Systemversagens erläutern.

Die Grundlage der Voruntersuchung sind die Hauptdaten für das jeweilige System, z. B.:

- Funktion;
- Druck und Temperatur;
- Maße;
- Bodenüberdeckung über dem Rohrscheitel (siehe Bild 5);
- Werkstoffe;
- Abstände und Wärmeübertragung zu anderen Leitungseinheiten, Gebäuden und Bäumen;
- geotechnische Parameter, Parameter für Grundwasser usw.

Eine vorläufige Untersuchung sollte die folgenden Schritte umfassen:

- Betriebsbedingungen des Systems, einschließlich der erwarteten Temperatur- und Druckschwankungen während der Nutzungsdauer des Systems;
- Anforderungen an Versorgungssicherheit;
- Untersuchung der möglichen Rohrleitungstrassen;
- vorläufige Bodenuntersuchungen (siehe Anhang B);

- Beständigkeit gegenüber relevanten Einwirkungen, wie zum Beispiel:
 - a) Belastungen bedingt durch Installation und Betrieb;
 - b) innere und äußere Belastungen und Verformungen.
- Konsequenzen möglicher Arten von Systemversagen;
- Identifikation der Anforderungen von Behörden, einschließlich Aspekten hinsichtlich des Umweltschutzes und der Interessen Dritter;
- mögliche Methoden der Konstruktion und der Rohrinstallation.

ANMERKUNG Je mehr dieser Schritte in einer vorläufigen Untersuchung Anwendung finden, desto besser ist das technische und wirtschaftliche Ergebnis.

In bestimmten Fällen darf die Nebeneinander-Installation von Rohrleitungen in eine Installation geändert werden, wo die Rohrleitungen übereinander liegen.

4.4 Bestimmung der Projektklasse

4.4.1 Risikobewertung

Mögliche Risiken, die Personen, Bevölkerung oder Umwelt gefährden können, müssen bewertet werden.

Bei der Bewertung eines möglichen Risikos sollten sowohl die Wahrscheinlichkeit eines Versagens als auch dessen Auswirkungen berücksichtigt werden.

ANMERKUNG 1 Die Auswirkungen eines Versagens eines Fernwärmesystems auf seine Umgebung sind von Temperatur, Druck und Durchmesser der Rohrleitung abhängig. Die Wahrscheinlichkeit eines Versagens beruht auf inneren und äußeren Faktoren sowie auf der Qualität der Auslegung, der Installation und des Betriebs.

ANMERKUNG 2 Mögliche Risiken sind:

- a) das Entweichen von Warmwasser durch Rohrleitungsbruch oder Undichtigkeit, das Verbrühung, Überschwemmung, Tunnelbildung usw. verursachen kann;
- b) Beschädigung des Rohrleitungssystems, einschließlich Unterbrechung der Wärmeversorgung;
- c) Beschädigung des Rohrleitungssystems mit Risiko einer weiteren Ausbreitung des Schadens im Rohrleitungssystem;
- d) Verlust der Versorgungssicherheit an wichtige Verbraucher (Krankenhäuser usw.).

Die Folgen eines Versagens können das gesamte System oder nur einen Systemabschnitt betreffen. Die Projektklasse bestimmt die Anforderungsstufe für die Auslegung, Installation und Dokumentation des Rohrleitungssystems.

4.4.2 Projektklassen

Die Wahl der Projektklasse erfolgt in Anlehnung an das Sicherheitsniveau und die Komplexität der Auslegung und der Installation, die als Anforderungen an Auslegungsverfahren und die Konstruktion angegeben sind.

Ausgehend von Voruntersuchungen und Risikobewertung muss das Rohrleitungssystem einer der folgenden Klassen nach Tabelle 3 zugeordnet werden:

Tabelle 3 — Projektklassen

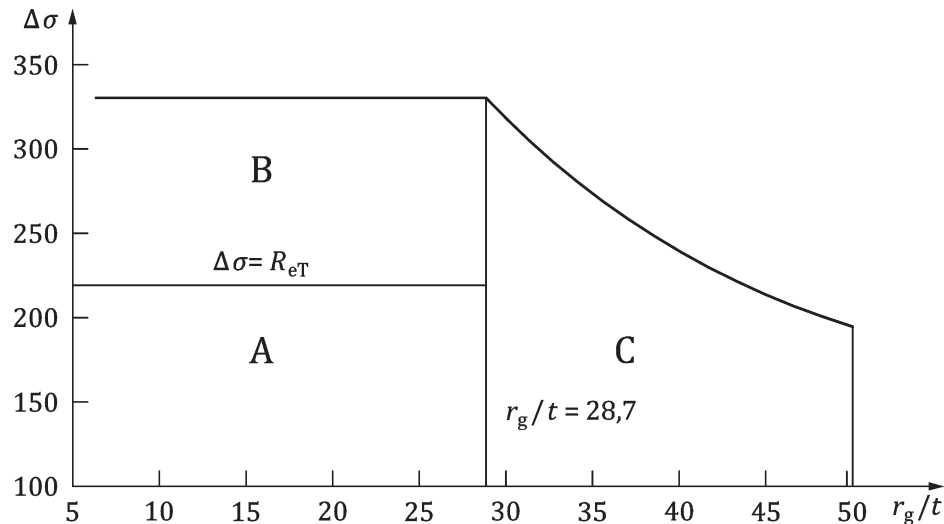
Projektklasse	Merkmal
A	— Rohre kleinen oder mittleren Durchmessers mit niedrigen axialen Spannungen; — Rohre mit geringem Risiko von Personenschäden oder Schäden in der Umgebung und/oder an umliegenden Gebäuden; — Rohre mit geringem Risiko wirtschaftlicher Verluste.
B	— Rohre kleinen oder mittleren Durchmessers mit hohen axialen Druckspannungen; — Rohre mit geringem Risiko von Personenschäden oder Schäden in der Umgebung und/oder an umliegenden Gebäuden; — Rohre mit geringem Risiko wirtschaftlicher Verluste.
C	— Rohre großen Durchmessers und/oder hoher Druck; — Rohre mit höherem Risiko von Personenschäden oder Schäden in der Umgebung und/oder an umliegenden Gebäuden; — spezielle oder komplexe Konstruktionen.

Spezielle oder komplexe Konstruktionen können Kreuzungen mit Bahntrassen, großen Straßen und Wasserwegen sein, die nach Absprache mit den Eigentümern und/oder Behörden auszulegen sind. Für Querungen von Dämmen und Hochwasserschutzeinrichtungen können besondere Maßnahmen erforderlich sein, um eine Überschwemmung des Hinterlandes zu vermeiden.

Rohrleitungen, die während des Betriebs zugänglich sind, müssen mindestens der Projektklasse B zugeordnet werden.

ANMERKUNG 1 Abschnitte der Rohrleitung, welche während des Betriebs zugänglich sind (z. B. in Tunneln oder unterirdischen Einbauten unterhalb von Straßen, in Armaturenschächten oder bei oberirdischen Abschnitten), können das Risiko von Personenschäden erhöhen.

Ausgehend von den zu erwartenden Auswirkungen werden die Projektklassen A, B und C nach Bild 1 bestimmt:



Legende

A Projektklasse A (niedrig)

B Projektklasse B (mittel)

C Projektklasse C (hoch)

$\Delta\sigma$ axialer Spannungsbereich aus der Temperaturdifferenz

Bild 1 — Definition von Projektklassen für Stahl mit einer festgelegten Mindeststreckgrenze von R_e (23 °C) = 235 MPa

$\Delta\sigma$ wird wie folgt berechnet:

$$\Delta\sigma = E \cdot \alpha \cdot \Delta T \text{ (Mpa)}$$

Dabei ist

ΔT die Temperaturdifferenz zwischen der Betriebs- und Installationstemperatur.

Bezüglich der Projektklasse muss Folgendes berücksichtigt werden:

- Anforderungen an die Dokumentation, siehe 4.5 und Tabelle 4;
- Bestimmung von γ_{fat} mittels Palmgren-Miner-Gleichung, siehe 6.7;
- Anforderungen an das Schweißen und der Umfang der Inspektion von Schweißnähten, siehe EN 13941-2;
- Qualitätsmanagement und Umfang der Inspektion, siehe 4.10.

Ein Rohrleitungssystem darf jederzeit in eine höhere Projektklasse eingestuft werden als in Bild 1 angegeben.

ANMERKUNG 2 Folgende Bedingungen können die Wahl einer höheren Projektklasse erfordern:

- Systemauslegung und Komplexität;
- Boden- und Grundwasserbedingungen;
- Verkehrsbedingungen;
- Lage im Verhältnis zu anderen baulichen Anlagen und Versorgungsnetzen;
- Erfahrung mit ähnlichen Rohrleitungssystemen;

- neue Produktions-, Auslegungs- oder Konstruktionsverfahren;
- Lage der Rohrleitung und Möglichkeiten der Inspektion, Instandhaltung und des Austausches.

4.5 Projektdokumentation

4.5.1 Allgemeines

Jede Auslegung von Rohren muss auf der Grundlage einer Projektdokumentation durchgeführt werden, die ausreichend detailliert ist, um die Ausführung in der für das Projekt beabsichtigten Qualität sicherzustellen.

Die Anforderungen der Projektklassen sind in Tabelle 4 aufgeführt.

Tabelle 4 — Bestimmung der Anforderungen für Projektklassen

Projektklasse Bild 1	Dokumentation
A	allgemeine Dokumentation ^a
B	allgemeine Dokumentation
C	spezielle Projektdokumentation erforderlich
^a Die Konformität zwischen der allgemeinen Dokumentation und den Anforderungen dieser Norm muss dokumentiert werden.	

Änderungen, die während der Installationsphase notwendig werden, müssen in der Auslegungsdokumentation eingeschlossen werden.

Die allgemeine Auslegungsdokumentation muss für alle Klassen Folgendes umfassen:

- a) allgemeine Betriebsdaten;
- b) Rohrleitungsdaten;
- c) Festlegungen für die Qualitätssicherung.

4.5.2 Betriebsdaten

Betriebsdaten:

- a) erwartete Nutzungsdauer, Auslegungsdruck und Auslegungstemperatur;
- b) Anzahl der Lastwechsel und der Amplitude von Betriebstemperatur und -druck, sowie deren Dauer während der Lebensdauer der Rohrleitungen (voraussichtliches Betriebsmuster der Rohrleitung während der Lebensdauer).

Die entsprechenden Werte für Sommer- und Winterbedingungen sowie die erwartete Anzahl von Volllastwechseln sollten festgelegt werden.

4.5.3 Daten bezüglich des Rohrleitungssystems

Daten der Rohrleitung bezüglich Lage, Werkstoffen und besonderen Festlegungen.

- a) Daten bezüglich der Rohrleitungstrasse;

Diese Daten müssen sämtliche Angaben enthalten, die für eine sichere und zuverlässige Konstruktion erforderlich sind, wie z. B.:

- 1) eine Karte der geplanten Trasse;
Die Verwendung eines GIS-basierten Systems wird empfohlen;
- 2) die Überdeckungshöhen des Rohrleitungssystems an allen relevanten Standorten;
- 3) die horizontale und vertikale Lage der Rohrleitung in Bezug auf andere bauliche Anlagen, einschließlich quer oder parallel verlaufender Rohrleitungen oder Kabel, Gebäude und anderer Hindernisse, nach Erfordernis durch nationale Normen und/oder Vorschriften;
- 4) Lage und relevante technische Daten von horizontalen und vertikalen Bögen, T-Stücken und Reduzierstücken, Ummantelungen, Einmalkompensatoren (EKO's), unterirdischen Betoneinbauten usw.;
- 5) Informationen zu Tiefbauarbeiten und Sonderkonstruktionen, welche für eine sichere und effektive Konstruktion und Installation notwendig sind;
- 6) relevante geotechnische Daten;
- 7) Position, Länge und Dicke der Dehnpolster;
- 8) Schutz gegen Delaminierung und Abrutschen der Dehnpolster von der Rohrleitung;
- 9) Art und mechanische Eigenschaften der Dehnpolster;
- 10) Position der Kreuzungen mit ziviler Infrastruktur, Start- und Endpunkten, (Bodenüberdeckungen) von Schutzrohrleitungen, horizontalen Bohrungen usw.;
- 11) Alle anderen Informationen, die zur ordentlichen Ausführung der Arbeiten notwendig sind.

Die vorstehend angegebenen Daten dürfen wie folgt bereitgestellt werden:

- ein Lageplan, bei Bedarf mit einer Angabe des Gebiets, das in den einzelnen Trassenkarten behandelt wird;
- Trassenpläne oder ähnliche Zeichnungen;
- Detailpläne und Zeichnungen von baulichen Standardanlagen mit Angabe des Trassenplans (der Trassenpläne), auf den (die) sie sich beziehen, und mit sämtlichen Angaben, die für die Bewertung der Auslegung und der Installation erforderlich sind.

Die folgenden Zeichnungen können erforderlich sein:

- Zeichnungen von Rohrleitungselementen, Festpunkten, Ummantelungen usw.;
- isometrische Zeichnungen für die Berechnung von Sonderkonstruktionen;
- Abstände zwischen Rohrleitung und Gebäuden (Vermessungsabstand) und Projektklasse, auf einer gesonderten Liste oder im Trassenplan;
- Zeichnungen von Pfahlkonstruktionen (Pfahlplan).

- b) Daten bezüglich der Maße von Rohrleitungen und Rohrleitungskomponenten:
- 1) Außendurchmesser, sowohl von Stahlmediumrohr als auch Ummantelungen;
 - 2) Nenn-Wanddicke, sowohl von Stahlmediumrohr als auch Ummantelungen;
 - 3) relevante Daten zu Formstücken, einschließlich Krümmungsradien oder andere zum Rohrleitungselement (Reduzierstücke, T-Stücke, EKO's usw.);
 - 4) eventuelle Korrosionszuschläge;
 - 5) Dämmklassen;
 - 6) Daten zu angrenzenden baulichen Anlagen und Stützvorrichtungen, die die Verteilung der auf das Mediumrohr einwirkenden Kräfte beeinflussen.
- c) Werkstoffdaten:
- 1) Werkstoffspezifikationen und Zertifikate (Stahlrohr, PUR und Ummantelungen);
 - 2) die technischen Informationen, welche durch die Produktnormen der Rohrelemente (z. B. EN 253, EN 448, EN 488, EN 489-1, EN 14419, die Normenreihe EN 15698) gefordert werden;
- d) Installationsdaten;

Zumindest hinsichtlich der folgenden Aspekte sind Informationen erforderlich:

- 1) jegliche auf die Rohrleitung aufgebrachte Vorspannung, der Punkt sowie die Verfahren für die Aufbringung der Vorspannung;
- 2) Methoden der Messung und Steuerung der erwünschten Dehnung im Falle einer Vorspannung;
- 3) sowohl dauerhafte als auch vorübergehende kleine Winkelabweichungen an der Schweißnaht und zulässige Radien der elastischen Krümmung in der Rohrleitung;
- 4) Prüfdruck;
- 5) Installationstemperatur.

Für weitere erforderliche Informationen wird auf EN 13941-2 verwiesen.

- e) Daten hinsichtlich unterirdischer Strukturen;
- Zeichnungen und Berechnungen zu unterirdischen Strukturen, welche durch die Kräfte der Fernwärmerohrleitungen beeinflusst werden könnten.
- f) Bauzeichnungen. Es wird auf EN 13941-2 verwiesen.
- g) Instandhaltungsanweisungen für das System, insbesondere für die Armaturen und Überwachungssysteme.

4.6 Trassenauswahl und Positionierung der Rohre

4.6.1 Mindestabstände zwischen parallelen Rohren

In der Auslegungsphase muss ein geeigneter Mindestabstand zwischen zwei parallelen Fernwärmerohren ausgewählt werden, der vom Grabentyp sowie vom Außendurchmesser der Ummantelungen abhängt und alle relevanten Einflüsse berücksichtigt, wie zum Beispiel:

- den erforderlichen Freiraum für die Verdichtung, um die erforderliche Grenzflächenreibung zwischen Ummantelungen und umgebender Erde herzustellen;
- den erforderlichen Freiraum für eine zusätzliche Verdichtung unterhalb von Straßen, um Konstruktionssetzungen einzuschränken;
- den erforderlichen Freiraum hinsichtlich geeigneter Arbeitsverhältnisse für Schweißarbeiten und Installation der Verbindungen (z. B. Zugangslöcher);
- die erforderlichen Mindestabstände zwischen unterirdischen Einbauten und/oder Kabeln von Dritten;
- den erforderlichen Freiraum für die Sicherheit von Personen;
- den erforderlichen Freiraum für Ummantelungen unter Baustellenbedingungen;
- den erforderlichen Freiraum für Dehnpolster: Der Mindestabstand zwischen den Außenseiten der Dehnpolster muss mindestens 100 mm betragen.

Für zugängliche und nicht-betretbare Gräben müssen zumindest die Abstände nach Tabelle 5 eingehalten werden.

Die Anforderungen an Mindestabstände von zugänglichen Gräben werden in EN 13941-2 dargelegt.

Die erforderlichen Freiräume für Schweißarbeiten und die Installation von Verbindungen können durch Einstiegsöffnungen erreicht werden.

Tabelle 5 — Mindestabstände zwischen parallelen Rohren hinsichtlich technischer Aspekte (z. B. Verdichtung)

Außendurchmesser der Ummantelungen D_c mm	Mindestabstand zwischen zwei parallelen Ummantelungen mm	Mindestabstand zwischen Ummantelungen und Grabenwand von nicht-zugänglichen Gräben ^a mm
$D_c \leq 225$	150	150
$225 < D_c \leq 560$	250	250
$D_c > 560$	300	300

^a Es sollten die nationalen Vorschriften bezüglich der Sicherheitsabstände innerhalb zugänglicher Gräben befolgt werden.

4.6.2 Parallele Aufgrabungen und Arbeiten von Dritten

Rohrleitungen für Fernwärmesysteme können im Betrieb Gefährdungen durch (zukünftige) Aufgrabungs- und Bauarbeiten ausgesetzt sein. Diese Aufgrabungsarbeiten können zum entsprechenden Projekt dazugehören oder von Dritten ausgehen, wie zum Beispiel Straßenarbeiten oder Aufgrabungen anderer Rohrleitungseigentümer, die Rohrleitungen in einem parallelen Graben verlegen. Diese Aktivitäten können zum Verlust der Überdeckungshöhen oder zu unzureichendem seitlichen Halt führen. Vor Parallelaufgrabungen muss eine entsprechende Berechnungsüberprüfung durchgeführt werden, da durch das Entfernen des stützenden Bodens das Risiko von Ausknicken auftreten kann, siehe 6.5.9.

Wenn die Überdeckungshöhen erhöht/reduziert wird oder die Bodenlast beträchtlich verändert wird, ist es unumgänglich, die Statik zu überprüfen.

Wenn Rohrleitungen durchgeschnitten oder mit Abzweigungen versehen werden, müssen zusätzliche Vorsichtsmaßnahmen entsprechend den statischen Spezifikationen getroffen werden.

Es muss eine Risikoanalyse zur Verringerung möglicher schädlicher Einflüsse bei zukünftigen Bauarbeiten durchgeführt werden, und sofern notwendig dürfen zusätzliche Schutzmaßnahmen, wie z. B. Warnbänder zur Angabe der Position des Fernwärmesystems und/oder Schutzplatten, in die Auslegung miteinbezogen werden.

4.6.3 Mindestabstände zwischen Fernwärmerohrleitungen und unterirdischen Strukturen

Es muss besonders auf die erforderlichen Mindestabstände zwischen Fernwärmerohrleitungen und (unterirdischen) Strukturen geachtet werden, wobei mögliche Drücke, die von den Fernwärmerohren auf die Struktur (z. B. eine Gebäudewand) ausgeübt werden und umgekehrt, berücksichtigt werden müssen. Berechnungen müssen angestellt werden, wenn die erwartete Bewegung der Rohrleitungen möglicherweise laterale Kräfte auf die Struktur ausübt.

Falls keine spezifischen lokalen Anforderungen bestehen, darf der Mindestabstand zwischen Rohr und Ummantelungen/Außenseite anderer paralleler unterirdischer Leitungen nicht geringer als 0,4 m und darf bei überkreuzten Leitungen nicht geringer als 0,2 m sein.

4.7 Entlüftung und Entleerung

Für die Inbetriebnahme, den Betrieb, die Vergrößerung und die Reparatur von Fernwärmenetzen können entsprechende Einrichtungen zur Entlüftung und Entleerung, entweder temporärer oder permanenter Natur, notwendig sein. In der Auslegungsphase kann ein Konzept für einen Entlüftungs- und Entleerungsplan erstellt werden.

ANMERKUNG 1 Nach [15] ist das Risiko der Bildung von Luftbläschen im Rohrleitungssystem eine Funktion aus der Strömungsgeschwindigkeit und dem Gefälle des betrachteten Rohrleitungssystems. In dieser Studie wurde gefolgert, dass das Risiko in einem akzeptabel niedrigen Rahmen liegt, wenn die Strömungsgeschwindigkeiten über 0,45 m/s liegt und das Gefälle bis zu 3 Grad ausmacht.

Es wird empfohlen, dass die Anzahl, die Orte und die Maße von Entleerungseinrichtungen so gewählt werden, dass abgeschaltete Rohrleitungsabschnitte in einem geeigneten Zeitraum trockengelegt werden können, der vom Betreiber des Rohrleitungssystems bestimmt wird.

ANMERKUNG 2 Ein Beispiel für einen solchen Zeitraum wäre die notwendige Zeit, um Schäden zu beseitigen und die Wärmeversorgung innerhalb einer Arbeitsschicht wiederherzustellen.

4.8 Armaturen

Armaturen in direkt erdverlegten Fernwärmerohrsystemen müssen den Biegemomenten (und axialen Kräften) widerstehen, welche unter den Betriebsbedingungen, die im Anwendungsbereich dieser Norm definiert sind, auftreten:

- aufgrund von Wärmedehnung;
- aufgrund von Bodensetzungen.

Um Biegemomente durch Wärmedehnung zu vermeiden, muss eine Installation von Armaturen an oder in der Nähe von Dehnpolsterabschnitten soweit es geht vermieden werden. Unter bestimmten örtlichen Umständen (z. B. Installation in städtischen Bereichen mit intensiver unterirdischer Infrastruktur und begrenztem Raum) kann jedoch die Installation in derartigen Abschnitten unvermeidlich sein. In solchen Fällen müssen die auftretenden Biegemomente mit den Werten aus EN 488 geprüft werden.

In Dehnungsbereichen können außerdem Biegemomente in der Spindel oder Spindelverlängerung des Ventils auftreten, falls keine besonderen Vorkehrungen getroffen werden. Dies ist nicht akzeptabel. Entsprechende Vorkehrungen müssen getroffen werden für die zu erwartende Verschiebung, wie Ummantelung, Dehnpolster u. a., um diese Biegemomente zu verhindern oder zumindest zu minimieren, da die Spindelverlängerungen der Armaturen weder dafür ausgelegt noch dafür geprüft sind, solche Biegemomente auszuhalten.

4.9 Beschaffung von Werkstoffen

4.9.1 Hersteller der Rohrleitungskomponenten

Hinsichtlich des Qualitätssicherungsprogramms und der Dokumentation geeigneter Rohrleitungskomponenten, siehe Tabelle I.2.

ANMERKUNG Für die Qualitätskontrolle von Rohrelementen siehe z. B. EHP 001 [1] und EHP 003 [39].

4.10 Qualitätssicherung

4.10.1 Allgemeines

Für jedes Projekt muss ein Qualitätssicherungsplan erarbeitet werden.

Die Qualitätssicherung kann in fünf Stufen eingeteilt werden:

- Auslegung;
- Beschaffung;
- Installation und Abnahme, siehe EN 13941-2;
- Inbetriebnahme, siehe EN 13941-2;
- Betriebsphase, siehe EN 13941-2.

Die Qualitätssicherung und entsprechende Inspektionen müssen für jede Phase sichergestellt werden.

4.10.2 Auslegungsphase

Es wird empfohlen, die Auslegung zu prüfen und die Projektdatei mit den festgelegten Zielen und der geplanten Betriebsweise des Netzes zu vergleichen.

Hinsichtlich des Qualitätssicherungsprogramms und der Dokumentation der Nutzungsdauer in der Auslegungsphase, siehe Tabelle I.1.

4.10.3 Installationsphase

4.10.3.1 Allgemeines

Während der Installationsphase muss Folgendes sichergestellt werden:

- Prüfen der Rohrelemente;
- Prüfung jeder Ausführungsphase mit besonderer Beachtung der Auslegungsdetails;
- Einfordern der im Qualitätssicherungsplan festgelegten Kontrollen, Prüfungen und Zertifikate für die verwendeten Werkstoffe vor Inbetriebnahme der Anlage;
- Aktualisierung der Dokumentation durch den Käufer und Lieferanten in Übereinstimmung mit 4.5:
 - 1) Spezifikation der Werkstoffe;
 - 2) Anforderungen für Lieferanten (Planungsphase, Tiefbauarbeiten, Rohrinstallation, Stahlschweißen, Herstellung von Verbindungen, PE-Schweißen, Qualitätssicherung, usw.);
 - 3) Qualitätssicherungsplan, mit Festlegung der anwendbaren Prüfverfahren, der Auswertung der Prüfungsergebnisse, der Prüfungshäufigkeit;
 - 4) Planungsunterlagen (Auslegungsprotokoll);
 - 5) Unterlagen zur Inbetriebnahme;
 - 6) Wartungsunterlagen;
 - 7) Prüfbescheinigung für die Werkstoffe, Werkszeugnisse, Schweißungen, Prüfungen usw., wie im Qualitätssicherungsplan vorgesehen, Abnahmeprotokoll.

Für weitere Erklärungen zu den Dokumenten, die für die Dokumentation zusammengestellt werden müssen, siehe EN 13941-2.

4.10.3.2 Unternehmen, die Muffenverbindungen und PE-Schweißungen vornehmen

Für Anforderungen an Unternehmen, die Muffenverbindungen und PE-Schweißungen vornehmen, siehe EN 13941-2.

5 Anforderungen an Komponenten und Werkstoffe

5.1 Grundanforderungen

Komponenten und Werkstoffe, welche dem Anwendungsbereich dieser Norm unterliegen, müssen EN 253, EN 448, EN 488, EN 489-1, EN 14419 und der Normenreihe EN 15698 entsprechen.

Im Falle von Rohren mit großem Durchmesser können hohe Boden- und Verkehrsbelastungen eine höhere Wanddicke als in EN 253, EN 448 oder EN 488 für alle Rohrkomponenten festgelegt erfordern. Ebenso kann ein Auslegungsdruck über 2,5 MPa eine höhere Wanddicke erfordern.

Alle Werkstoffe, die für die einwandfreie Funktion des Systems von Bedeutung sind, müssen ihre Eigenschaften unter Berücksichtigung der Temperaturen und weiterer Einwirkungen, denen sie ausgesetzt sein werden, während der Nutzungsdauer des Systems bewahren. Ermüdung, Kriechen und Alterung sind in diesem Zusammenhang zu berücksichtigen.

Bei der Auslegung des Rohrleitungssystems müssen die Eigenschaften der Rohrleitungsteile als Werte berechnet werden, die während der gesamten Nutzungsdauer gelten.

Eigenschaften, die die Nutzungsdauer des Systems nicht direkt beeinflussen, wie z. B. die Wärmeleitfähigkeit, können mit gewichteten Durchschnittswerten berechnet werden.

5.2 Stahlmediumrohrteile

5.2.1 Allgemeines

Die Stahlmediumrohrteile, die in den Anwendungsbereich dieser Norm fallen, sind:

- a) gerades Rohr;
- b) Bögen;
- c) Armaturen;
- d) T-Stücke und Abzweige;
- e) Reduzierstücke und Verlängerungen;
- f) Kappen;
- g) Einmalkompensatoren (EKO's);
- h) andere Stahlkomponenten.

5.2.2 Spezifikation

Die technischen Lieferbedingungen für Stahlmediumrohre müssen mindestens Tabelle 6 entsprechen.

Tabelle 6 — Technische Lieferbedingungen für Mediumrohre

Rohrtyp	Durchmesser	EN-Norm	Werkstoff^a
nahtlos	alle	EN 10216-2	P 235GH
ERW	alle	EN 10217-2	P 235GH
SAW	alle	EN 10217-5	P 235GH
^a Gleichwertige oder höhere Gütegrade für Stahl in Übereinstimmung mit zugelassenen EN-Normen dürfen nach Vereinbarung verwendet werden.			

Bei höheren Stahlgüten als jenen, die in Tabelle 6 angegeben sind, wird die Streckgrenze in den jeweiligen Normen definiert. Wenn solche höheren Stahlgüten für Rohrleitungen verwendet werden, muss sichergestellt werden, dass alle Komponenten, die im betroffenen Teil des Systems verwendet werden, mit den höheren Streckgrenzen der Rohre kompatibel sind.

Alle Stahlmediumrohre und Rohrleitungsteile, die für die Herstellung von Rohrbaugruppen nach dieser Norm verwendet werden, müssen mindestens mit einer Prüfbescheinigung 3.1 nach EN 10204 an den Hersteller der Rohrelemente und Komponenten geliefert werden. Der Hersteller muss die Dokumentation der Prüfbescheinigungen aufbewahren.

Falls eine werkstoffbezogene Prüfbescheinigung 3.1 nach EN 10204 durch den Kunden angefordert wird, der die Rohrelemente bezieht, dann muss diese Information zusammen mit der Bestellung beim Hersteller der werkmäßig gedämmten Rohrbaugruppen angegeben werden.

Jede spätere Anfrage zur Bereitstellung solcher Dokumentation kann bereits zu spät sein und es ist möglich, dass diese Anfrage durch den Hersteller nicht erfüllt werden kann, da der Hersteller die Zuteilung von 3.1-Prüfbescheinigungen zu den Rohren und Rohrteilen vor dem Beginn der Herstellung organisieren muss.

Ein Rohrabschnitt darf keine kreisförmige Schweißnaht umfassen.

5.2.3 Kennwerte für Stahl

5.2.3.1 Stähle mit festgelegten Eigenschaften für erhöhte Temperaturen

Die Werte für die Streckgrenze bei Auslegungstemperatur müssen aus der in den zutreffenden Werkstoffnormen angegebenen Mindeststreckgrenze oder der 0,2 %-Dehngrenze bei erhöhter Temperatur abgeleitet werden. Diese festgelegten und für den Lieferzustand zugesicherten Mindestwerte dürfen für Auslegungszwecke angewendet werden, sofern nicht Wärmebehandlungsmaßnahmen bekanntermaßen niedrigere Werte ergeben. In derartigen Fällen muss der anzuwendende Wert von den beteiligten Vertragsparteien vereinbart werden.

Bei Auslegungstemperaturen bis einschließlich 50 °C muss bei der Berechnung der Wert von R_e bei 20 °C verwendet werden.

Wird ein Stahlmediumrohr oder ein Rohrleitungsteil ohne das erforderliche Zertifikat nach 5.2.2 geliefert, muss die festgelegte Mindeststreckgrenze durch einen zusätzlichen Sicherheitsbeiwert $\gamma_{m,yield} = 1,2$ dividiert werden. Dieser Faktor muss mit dem Teilsicherheitsbeiwert für das Fließen des Grundwerkstoffes nach 7.2 für den relevanten Grenzzustand multipliziert werden.

ANMERKUNG Prüfungen, die durch den Stahlrohrhersteller bei erhöhten Temperaturen durchgeführt werden, um die Werte für die Streckgrenze für eine spezifische Werkstofflieferung zu bestimmen, können dazu führen, dass für erhöhte Temperaturen höhere als die in der zutreffenden Norm festgelegten Werte für die Streckgrenze angesetzt werden.

5.2.3.2 Stähle ohne festgelegte Eigenschaften für erhöhte Temperaturen

In anderen Fällen, in denen die Werkstoffnormen für unlegierte und niedriglegierte Stähle keinen Wert für die Streckgrenze bei erhöhten Temperaturen festlegen, muss die folgende Gleichung für einen Temperaturbereich zwischen 20 °C und 150 °C wie in EN 13480-3 angewendet werden:

$$R_{eT} = R_m \cdot \frac{720 - T}{1\,400} \text{ (N/mm}^2\text{)} \quad (1)$$

mit

T in °C.

5.2.3.3 Elastizitätsmodul (E) und linearer Wärmeausdehnungskoeffizient (α) bei erhöhten Temperaturen

Die folgenden Gleichungen müssen für unlegierten und niedriglegierten Stahl für Temperaturen bis 140 °C angewendet werden:

$$E = \left(21,4 - \frac{T}{175} \right) \cdot 10^4 (\text{N/mm}^2) \quad (2)$$

$$\alpha = \left(11,4 + \frac{T}{129} \right) \cdot 10^{-6} (1/\text{K}) \quad (3)$$

5.2.4 Spezifische Anforderungen an Rohrbögen und T-Stücke

5.2.4.1 Allgemeines

Rohrbögen und T-Stücke müssen gewöhnlich aus Stahl mit gleicher (oder höherer) Mindeststreckgrenze wie die angrenzenden geraden Rohre hergestellt werden.

Bei Einbau eines Bogens oder eines T-Stücks in ein Rohrleitungssystem darf die Nennwanddicke des Bogens oder des T-Stückes an den Schweißenden nicht geringer sein als die Nennwanddicke der angrenzenden geraden Rohre.

5.2.4.2 Bögen

Segmentrohrbögen, die aus geraden Rohrabschnitten hergestellt werden, sind für die Verwendung als Mediumrohr unzulässig.

5.2.4.3 T-Stücke

5.2.4.3.1 Direkt geschweißtes T-Stück

Es dürfen nur Abzweige mit aufgesetzten Stutzen verwendet werden. Der Einsatz von Abzweigen, die in das Hauptrohr eingeschweißt sind, ist unzulässig. Siehe Bild 2.

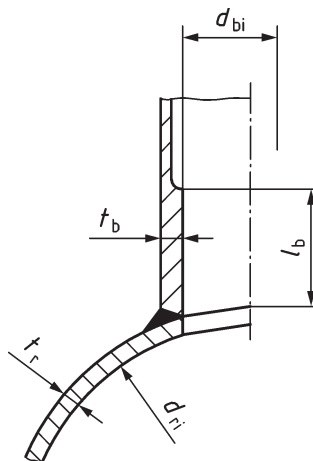


Bild 2 — Aufsetzabzweigung auf direkt geschweißtem T-Stück

ANMERKUNG Eine Verstärkung der T-Stücke kann durch die Erhöhung der Wanddicke des Hauptrohres und/oder des Abzweigrohres oder durch scheibenförmige Verstärkungen erreicht werden, um dem Innendruck, den Biegemomenten und den axialen Druckkräften entsprechend den Anforderungen dieser Norm standzuhalten.

5.2.4.3.2 Scheibenförmige Verstärkungen

Die Verstärkung von T-Stücken durch scheibenförmige Verstärkungen des Hauptrohres ist auf ein Durchmesser Verhältnis von $d_{bo}/d_{ro} \leq 0,8$ begrenzt. Siehe auch A.3.2.6.

5.2.4.3.3 T-Stücke mit gezogenem Kragen

Ein Übergangsstück mit einer erhöhten Wanddicke muss auf einen Kragen des T-Stücks mit gezogenem Kragen und das gerade Rohr mit einer normalen Wanddicke aufgeschweißt werden, um die lokale Spannungskonzentration des T-Stücks (siehe prEN 17248) zu reduzieren.

Bei T-Stücken mit gezogenem Kragen für die Projektklasse C sollte die Auslegungsspannung im Allgemeinen auf 90 % der Werte nach 5.2.3.1 reduziert werden.

5.2.5 Spezifische Anforderungen für kleine Winkelabweichungen

Kleine Winkelabweichungen von verbindenden Rohrabschnitten durch Gehung dürfen die Werte in Tabelle 7 nicht übersteigen. Bei kleinen Winkelabweichungen siehe auch Bild C.1.

Tabelle 7 — Kleine Winkelabweichungen

Maximale axiale Spannung ^a MPa	Maximale Winkelabweichung (2θ) ^b °
150	4°
228	2°
252	1°
280	0,5°
> 280	0°

^a Maximale axiale Spannung im entsprechenden Rohrleitungsabschnitt, die sich aus der Differenz ΔT zwischen der Installationstemperatur und der maximalen Betriebstemperatur ergibt, berechnet als $\Delta\sigma = E \cdot \alpha \cdot \Delta T$.

^b Maximale Winkelabweichung ohne Installationstoleranz, die auf $\pm 0,25^\circ$ begrenzt sein muss.

5.2.6 Spezifische Anforderungen für Reduzierstücke

Der Werkstoff des Reduzierstückes muss mindestens die gleiche Streckgrenze wie die angrenzenden geraden Rohre aufweisen.

Anhang A legt zusätzliche Anforderungen für Reduzierstücke fest.

Alternativ darf eine gleichwertige europäische oder internationale Norm angewendet werden, siehe EN 448.

5.3 Polyurethan-Schaumstoffwärmedämmung

Die Wärmedämmung muss den Anforderungen nach EN 253 entsprechen.

Durchschnittswerte für PUR sind (Elastizitätsmodul):

- $E_{PUR} = 6,5 \text{ MPa}$ (Langzeitwert bei 140 °C);
- $E_{PUR} = 10,0 \text{ MPa}$ (bei 23 °C).

5.4 Ummantelung

Die Ummantelung und deren Schweißen müssen den Anforderungen nach EN 253, EN 448 und EN 489-1 entsprechen.

Vor Ort hergestellte Ummantelungen sind nur in Ausnahmefällen erlaubt, wenn bei ordentlicher und rechtzeitiger Vorbereitung eine Lösung mit Standardbauelementen nicht möglich ist oder im Falle von Reparaturen an der Rohrleitung (siehe EN 13941-2).

Es wird jedoch dringend empfohlen, im höchstmöglichen Ausmaß ausschließlichen Gebrauch von vorgefertigten Verbundkomponenten zu machen.

5.5 Werkstoffe für Ummantelungen und die Wärmedämmung von Montagestößen

Siehe EN 489-1.

5.6 Dehnpolster

5.6.1 Allgemeines

Dehnpolster dürfen eingebracht werden, um Spannungen und Dehnungen im Rohrleitungssystem, die von einer transversalen Verschiebung durch (thermische) Ausdehnung verursacht werden, zu begrenzen.

Während der gesamten Nutzungsdauer des Rohrleitungssystems und für den ausgelegten Temperaturbereich müssen die Werkstoffe, die für die Dehnpolster und die Schutzabdeckung herangezogen werden:

- die notwendige Festigkeit aufweisen;
- die notwendige Flexibilität liefern;
- sich stabil gegenüber chemischen und biologischen Einwirkungen verhalten und für eine Anwendung im Grundwasser geeignet sein;
- beständig gegenüber Kräften sein, die vom Eigengewicht des Rohres, Hinterfüllungen des Grabens und der Verdichtung ausgehen;
- beständig gegenüber der Penetration von Hinterfüllungsmaterial und dem Ansammeln von Schlamm sein;
- über ausreichend Ausdehnungskapazität verfügen, um eine zunehmende Verdichtung durch das Verfüllen des Hohlraumes im Boden mit Sand, wie es nach Rohrverschiebungen auftritt, zu verhindern;
- die Werte für die Wärmeleitfähigkeit müssen bekannt sein.

ANMERKUNG 1 Im Betrieb werden die Dehnpolster wiederholt komprimiert und dekomprimiert. Wenn die Verdrängungsrate des Rohrleitungssystems höher ist als die Ausdehnungsrate des Dehnpolsters, können Lücken zwischen dem Dehnpolster und dem Boden auftreten. Hinterfüllungsmaterial kann in diese Lücken eindringen und die verfügbare Kompression reduzieren.

ANMERKUNG 2 Je höher die Hinterfüllung des Grabens des Dehnpolsters, desto höher ist die Vorverdichtung durch den Bodendruck.

Die Steifigkeit der Dehnpolster, die vor Ort eingesetzt werden, muss den Steifigkeitswerten entsprechen, die bei den Auslegungsberechnungen herangezogen wurden.

Die Steifigkeitseigenschaften und die Marke der eingesetzten Dehnpolster müssen bekannt und dokumentiert sein.

5.6.2 Werkstoffe

Beim für die Dehnpolster eingesetzten Werkstoff muss es sich um einen geschlossenzelligen, vernetzten Polyethylen-Schaumstoff handeln.

5.6.3 Steifigkeitseigenschaften

Der Elastizitätsmodul als Funktion des Druckprozentsatzes (Sekantenmodul) muss durch den Hersteller auf der Grundlage von Prüfungen festgelegt werden, die in Übereinstimmung mit Anhang F erfolgen.

Dehnpolster zur Verwendung in Fernwärmesystemen sind in zwei Typen aufgeteilt:

- a) Typ 1: harte Ausführung mit den Steifigkeitseigenschaften, die durch Linie (1) im Bild 3, $\pm 15\%$, dargestellt werden;
- b) Typ 2: mittlere Ausführung mit den Steifigkeitseigenschaften, die durch Linie (2) im Bild 3, $\pm 15\%$, dargestellt werden;
- c) Bei Prüfung nach Tabelle F.1 müssen die Werte die Werte der Tabelle 8 erfüllen.

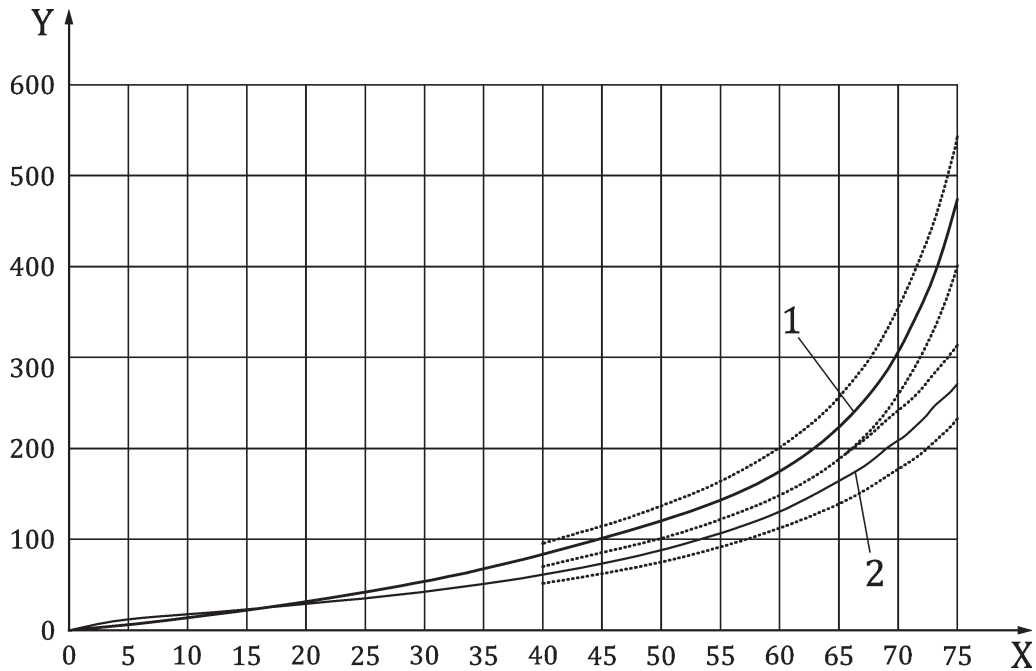
Tabelle 8 — Werte für Kompressionsprüfungen

c) Kompression	d) 40 %	e) 50 %	f) 75 %
g) Typ 1	h) 85 kPa $\pm 15\%$	i) 120 kPa $\pm 15\%$	j) 480 kPa $\pm 15\%$
k) Typ 2	l) 60 kPa $\pm 15\%$	m) 90 kPa $\pm 15\%$	n) 275 kPa $\pm 15\%$

Dehnpolster mit Steifigkeitseigenschaften zwischen Linie (1) und Linie (2) des Bildes 3 können auch eingesetzt werden.

Der Einsatz von Dehnpolstern mit Steifigkeitseigenschaften, die unterhalb Linie (2) -15% liegen, ist nicht gestattet.

Die maximal erlaubte Kompression ist an jenem Punkt erreicht, wo die Druckspannung 200 kPa übersteigt.



Legende

- 1 Steifigkeit Typ 1
- 2 Steifigkeit Typ 2
- X Kompression in %
- Y Druckspannung (kPa)

ANMERKUNG Die gestrichelten Linien stellen die Ausbreitung dar.

Bild 3 — Erforderliche Steifigkeit der Dehnpolster

5.6.4 Auswahl der erforderlichen Dicke der Dehnpolster

Die Dicke der Dehnpolster muss so ausgewählt werden, dass:

- a) während der gesamten Nutzungsdauer des Systems die mittlere Oberflächentemperatur der Ummantelung 50 °C nicht übersteigt; und
- b) zu einzelnen Zeitabschnitten die maximale Temperatur der Ummantelung 50 °C übersteigen kann, jedoch nicht 60 °C übersteigt. Die Summe dieser einzelnen Zeitabschnitte darf im Durchschnitt 300 Stunden pro Jahr für die gesamte Nutzungsdauer nicht überschreiten.

ANMERKUNG Um die Auswirkungen von verschiedenen Temperaturen bei verschiedenen Zeitabschnitten zu kombinieren, siehe Anhang J.

5.6.5 Kennzeichnung

Dehnpolster sollten dauerhaft mit ihrer Steifigkeit und dem Herstellernamen gekennzeichnet sein.

5.7 Armaturen und Zubehör

5.7.1 Allgemeine Anforderungen

Armaturen und Zubehör müssen direkt an den Rohrelementen angebracht werden. Die werkmäßig gefertigten Armaturenbaugruppen aus Stahl müssen EN 488 entsprechen.

Die angewendeten Werkstoffe und Herstellungsverfahren müssen derart sein, dass die Auslegungsbedingungen über die gesamte Nutzungsdauer erfüllt werden können.

Armaturen und Zubehör müssen so bemessen sein, dass sie den Betriebsbedingungen und äußeren Einwirkungen entsprechend den zutreffenden Abschnitten und Anhängen dieser Norm standhalten. Es muss besonders darauf geachtet werden, sicherzustellen, dass hohe axiale Druckkräfte in eingespannten Rohrleitungsteilen aufgenommen werden können.

Werkmäßig gefertigte Armaturenbaugruppen für direkt erdverlegte Rohrleitungssysteme müssen so ausgelegt sein, dass sie möglichst wenig Wartung erfordern.

Alle Rohrelemente müssen voll geschweißt sein.

5.7.2 Kennzeichnung und Dokumentation

Armaturen und Zubehör müssen eindeutig und dauerhaft gekennzeichnet sein, damit Hersteller, Druckstufe (wenn zutreffend), Auslegungstemperatur usw. festgestellt werden können.

Die Dokumentation darüber, dass die Auslegung der Rohrleitungsteile dieser Norm entspricht, muss vom Hersteller aufbewahrt werden.

Jede werkmäßig vorgefertigte Komponente, die Teil eines Fernwärmerohrleitungssystems ist, sollte mit einer Kennzeichnung versehen sein, die angibt, für welche Bedingungen das Rohrleitungsteil ausgelegt und hergestellt worden ist.

Diese Erklärung muss folgende Auslegungsdaten enthalten:

- a) Werkstoff und Sorte;
- b) maximaler Betriebsdruck;
- c) maximale axiale Spannung für gerade Rohrteile oder maximale axiale Kraft;
- d) maximales Biegemoment (für Armaturen, Einmalkompensatoren).

6 Auslegung und Berechnung

6.1 Allgemeines Verfahren

Auslegung und Berechnung müssen so durchgeführt werden, dass eine ausreichende Dokumentation bereitgestellt werden kann, um nachzuweisen, dass das Rohrleitungssystem allen entsprechenden Einwirkungen standhalten kann und die Sicherheits- und Funktionsanforderungen während seiner gesamten Nutzungsdauer erfüllt werden können.

Für die Auslegung und Berechnung eines gegebenen Rohrleitungssystems muss das in Bild 4 dargestellte Verfahren angewendet werden.

ANMERKUNG Im Bild 4 wird das entsprechende Unterkapitel für jeden Schritt angezeigt.

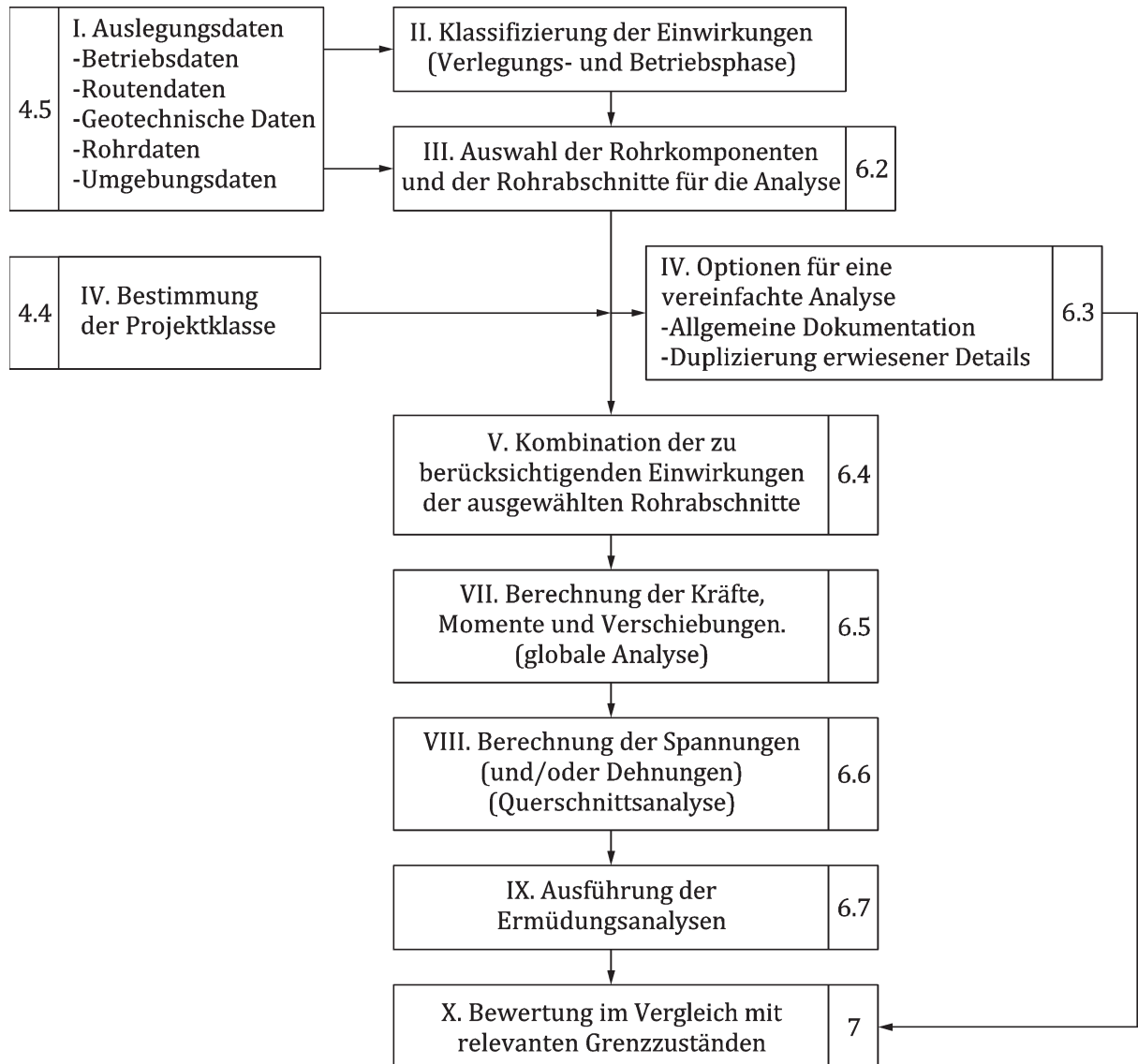


Bild 4 — Ablaufdiagramm für die Auslegung von Fernwärmesystemen

6.2 Rohrleitungskomponenten, Bereiche, Bedingungen und Schnittstellen, die in die Analyse einfließen müssen

6.2.1 Systemkomponenten

Die für eine Analyse zu betrachtenden Rohrleitungsteile sind:

- a) gerade Abschnitte;
- b) Schweißnahtverbindungen;
- c) lange Bögen/Bogenrohre (elastisch verlegt oder vorgefertigt);
- d) kleine Winkelabweichungen;
- e) Bögen;
- f) Abzweige (T-Stücke);

- g) Reduzierstücke;
- h) Dehnverbindungen (Einmalkompensatoren und dauerhafte Dehnverbindungen);
- i) Armaturen und weiteres Zubehör;
- j) Kappen und Flanschverbindungen;
- k) Schnittstelle mit anderen Systemen.

6.2.2 Bereiche, die spezifische Analysen erfordern

Bereiche, die spezifische Analysen erfordern, sind:

- a) Bereiche mit möglichen zukünftigen Parallelaufgrabungen in der Nähe von Fernwärmeleitungen;
- b) Bereiche mit spezifischen Anforderungen aufgrund nahe gelegener Gebäudefundamente in städtischen Gebieten;
- c) Bereiche mit Bodensetzungen oder Bergbausenkung;
- d) plötzliche Änderungen der Bodenbedingungen;
- e) Überquerungen:
 - 1) Überquerungen von Straßen, Eisenbahnschienen und Wasserwegen;
 - 2) andere Versorgungsrohre und Kabel;
 - 3) Wassersperren und Deiche;
- f) Bereiche mit anderen Methoden der Rohrinstallation.

In der Analyse muss das Wärmedehnungsverfahren angemessen berücksichtigt werden.

6.2.3 Besondere Bedingungen

Die Analyse muss sowohl die erforderlichen baulichen Vorsichtsmaßnahmen während der Installationsphase, z. B. geringere Überdeckungshöhe, als auch die technischen Anforderungen in der Betriebsphase, z. B. Grabungsanforderungen oder Auftriebsanforderungen, umfassen.

Eine Änderung der Installationsmethode kann, in schwachen (Unter-)Böden, zu weiteren Setzungen und/oder Absenkungen führen, z. B. am Übergang zwischen einem im Graben verlegten Rohrabschnitt und einem aufgebockten oder in einer Bohrung befindlichen Abschnitt. Besondere Aufmerksamkeit ist bei Setzungsunterschieden zwischen dem Rohrleitungssystem und Schutzrohren erforderlich (z. B. bei Überquerungen), wenn angewendet.

6.2.4 Schnittstellen

Besondere Aufmerksamkeit muss Schnittstellen mit Anlagenbereichen, Regelstationen oder Gebäudeanlagen gewidmet werden, insbesondere:

- 1) erdverlegte Bögen am Ende von langen, geraden Rohrleitungsabschnitten (Wärmeausdehnung und Stauchung);
- 2) Übergangsstellen von einem ausgehobenen Graben zu einer ober- oder unterirdisch starr aufgelagerten Konstruktion (z. B. Pumpstationen, Festpunkte, Hausanschlüsse, Rohrtunnel). Sowohl die erdverlegten als auch die oberirdischen Abschnitte müssen Teil desselben Berechnungsmodells sein, das alle eventuellen Setzungsunterschiede und/oder mögliche Einschränkungen der Wärmeausdehnung des Rohrleitungssystems berücksichtigt;
- 3) Schnittstellen mit Anlagen unter besonderer Berücksichtigung von häufigen Wechseln der Wanddicke in diesen Fällen;
- 4) Rohrhalterungen in Übergangsbereichen von einem aufgegrabenen Graben zu einer festen Stützstruktur;
- 5) Schnittpunkte mit anderen angeschlossenen Rohren und Einrichtungen (z. B. Pumpen und Wärmeübertrageranlagen, Heizwerke und Wanddurchführungen).

6.3 Vereinfachtes Analyseverfahren

In den Projektklassen A und B dürfen Auslegung und Installation auf der Grundlage allgemeiner Dokumentation vorgenommen werden, vorausgesetzt, dass diese mit den Anforderungen dieser Norm übereinstimmt und die Voraussetzungen entsprechend den örtlichen Bedingungen (Druck, Temperatur, Verkehrseinwirkung, Lastwechsel usw.) erfüllt werden.

Allgemeine Dokumentation können z. B. Werksnormen oder Herstellerhandbücher sein, vorausgesetzt, das Werk oder der Hersteller verfügt über eine Dokumentation, die nachweist, dass die Werksnormen und Herstellerhandbücher dieser Norm entsprechen.

Bewährte Bauelemente können auf der Grundlage vorhandener Erfahrungen installiert werden, wenn die neue Konstruktion nicht härteren Bedingungen ausgesetzt ist.

Die Ermüdungslebensdauer sollte stets geprüft werden, indem die gleichwertige Anzahl der vollständigen Temperaturlastwechsel für das betrachtete Rohrleitungssystem geschätzt wird, siehe 6.7. Die Anzahl dieser Lastwechsel muss niedriger sein als die Anzahl der vollständigen Temperaturlastwechsel, die in der allgemeinen Dokumentation angenommen wird (Mindestwerte sind in Tabelle 14 angegeben).

6.4 Einwirkungen

6.4.1 Allgemeines

Die Einwirkungen müssen auf eine Weise bestimmt werden, die durch die angewendeten Berechnungsmodelle ausreichend dokumentiert, dass das Rohrleitungssystem die gegebenen Funktionsanforderungen erfüllt.

ANMERKUNG 1 Das Eigengewicht wird auf der Basis der Nennmaße und der durchschnittlichen Massen der Einheiten berechnet.

Für die Bewertung von Einwirkungen und möglichen Kombinationen von Einwirkungen müssen die Installations- und Betriebsphase und jede vorhersehbare Änderung der gegenwärtigen Rohrleitungssysteme und der Umgebungen berücksichtigt werden.

ANMERKUNG 2 Die Installationsphase umfasst Transport, Handhabung, Schweißen, Montage, Verfüllen des Rohrgrabens, Prüfung und Inbetriebnahme (zu beachten ist, dass während der Installationsphase auftretende Einwirkungen während der Betriebsphase noch andauern können, z. B. Vorspannung). Die Betriebsphase umfasst die Situation nach Fertigstellung der Installation, unabhängig davon, ob die Rohrleitung in Betrieb ist oder nicht (siehe auch EN 13941-2).

Die Auslegungswerte der Einwirkungen werden durch Multiplizieren (oder Dividieren) der Kennwerte mit (durch) Teilsicherheitsbeiwerte(n), γ_a , ermittelt.

6.4.2 Klassifizierung der Einwirkungen und Lastkombinationen

Die bei der Auslegung zu berücksichtigenden Einwirkungen, die relevanten Lastkombinationen und Teilsicherheitsbeiwerte sind in Tabelle 9 dargestellt.

Es wird zwischen kraftgesteuerten und verformungsgesteuerten Einwirkungen unterschieden.

ANMERKUNG 1 Kraftgesteuerte Einwirkungen, wie Innendruck und Oberlast durch den Boden und Verkehr können zu unausgebalancierten Verformungen und Brüchen oder Einstürzen führen, sobald der Grenzzustand überschritten ist (z. B. kann der Innendruck zum Aufreißen der Rohrwand führen, sobald die Streckgrenze überschritten ist). Verformungsgesteuerte Einwirkungen können zu (schweren) Verformungen des Stahlrohres führen, aber aufgrund des plastischen Werkstoffverhaltens des Stahls nicht notwendigerweise zum Aufreißen der Rohrwand, jedoch ist ein Ermüdungsversagen durch Wechselbeanspruchung möglich.

Der Lastfall 2 (kraftgesteuerte Einwirkung) behandelt hauptsächlich das Gleichgewicht des Querschnitts der Rohrleitung. Dies muss mit und ohne Innendruck sichergestellt werden.

Lastfall 3 und Lastfall 4 schließen die Auswirkungen der verformungsgesteuerten Einwirkungen mit ein, z. B. die Auswirkungen der Wärmeausdehnung bei Temperaturschwankungen und die Auswirkungen von Bodensetzungen, wobei die Wechselwirkungen zwischen Rohr und Boden berücksichtigt werden.

Lastkombination 3 behandelt den maximalen Druck, der auf den PUR ausgeübt werden darf. Bei diesem Lastfall müssen sowohl lastgesteuerte als auch verformungsgesteuerte Einwirkungen berücksichtigt werden.

Lastkombination 4 behandelt den Grenzzustand der Ermüdung des Stahlmediumrohres.

Lastfall 5 bezieht sich auf die Stabilität des Querschnitts der größeren Rohrleitungen bei großer Tiefe und hohem Porenwasserdruck, z. B. bei horizontalen Bohrungen.

ANMERKUNG 2 Aufgrund der geringeren Wahrscheinlichkeit, dass die Endwerte für die relevanten Einwirkungen (Temperatur und Verkehr) übereinstimmen, ist der Teilfaktor für die Verkehrseinwirkungen niedriger für LC 3 und LC 4 als für LC 2.

Tabelle 9 — Klassifizierung der Einwirkungen, $\boxed{A_1}$ Teillastfaktoren $\langle A_1 \rangle$ und Lastkombinationen (LC, en: load combinations)

EINWIRKUNGEN ^f	TEILSICHERHEITSBEIWERTE ^{N2)} γ_a					
	LC 1	LC 2	LC 3	LC 4	LC 5	LC 6
	INSTALLATIONS- PHASE	BETRIEBSPHASE				
		Kraftgesteuerte Einwirkungen mit oder ohne Innendruck	Kraftgesteuerte und verformungsgesteuerte Einwirkungen $\boxed{A_1}$ <i>gestrichener Text</i> $\langle A_1 \rangle$	Kraftgesteuerte und verformungsgesteuerte Einwirkungen (Ermüdungsberechnung)	Außendruck	Verformungsprüfung
KRAFTGESTEUERTE EINWIRKUNGEN						
DRUCK						
Betriebsdruck	—	$\boxed{A_1}$ 1,25 $\langle A_1 \rangle$	$\boxed{A_1}$ 1,25 $\langle A_1 \rangle$	$\boxed{A_1}$ 1,25 $\langle A_1 \rangle$	—	—
Druckstöße ^a	—	1,2	1,2	1,2	—	—
Externer (hydrostatischer) Druck	1,05	1,05	—	—	1,05	1,05
internes Vakuum ^b	—	—	—	—	1,2	1,05
Prüfdruck	1,0	—	—	—	—	—
STÄNDIGE EINWIRKUNGEN						
Eigengewicht, Rohrbaugruppe, Wasserfüllung						
Zubehör (Armaturen usw.)	1,0	1,2	1,2	1,2	1,2	1,2
Auftrieb	1,0	1,0	1,0	1,0	1,0	1,0
neutraler/passiver Bodendruck ^d	1,5	1,5	1,5	1,5	1,5	1,5
Setzungen ^{c,d}	—	1,2	1,2	1,2	1,2	1,2
VERÄNDERLICHE EINWIRKUNGEN						
Verkehr	1,0	1,35	1,35	1,0	—	1,35
VERFORMUNGSGESTEUERTE EINWIRKUNGEN						
EINWIRKUNGEN AUS TEMPERATURSCHWANKUNGEN ^e						
Schwankungen während des Betriebs	—		1,0	1,1	—	—
Anfahr- und Absperrlastwechsel	—		1,2	1,2	—	—
laterale Bodenreaktionen	—		d	d	—	—
Reibung zwischen Boden und Rohr	d		d	d	—	—

N2) Nationale Fußnote: Redaktioneller Fehler in der Referenzfassung; Richtig ist „TEILLASTFAKTOREN“.

EINWIRKUNGEN ^f	TEILSICHERHEITSBEIWERTE ^{N2)} γ_a					
	LC 1	LC 2	LC 3	LC 4	LC 5	LC 6
	INSTALLATIONS- PHASE	BETRIEBS- PHASE				
		Kraftgesteuerte Einwirkungen mit oder ohne Innendruck	Kraftgesteuerte und verformungsgesteuerte Einwirkungen  gestrichener Text 	Kraftgesteuerte und verformungsgesteuerte Einwirkungen (Ermüdungsberechnung)	Außendruck	Verformungsprüfung
STÄNDIGE EINWIRKUNGEN						
Vorspannung						
thermisch, elektrisch	1,0	—	1,0	1,0	—	1,0
mechanisch	1,5	1,5	1,5	1,5	—	1,5
Bodensetzungen ^c	—	—	1,2	1,2	—	1,2
Unterschiedliche Setzungen	—	—	1,2	1,2	—	1,2
Verformungen während des Verlegens	1,0	—	1,0	1,0	—	1,0
^a Bei Entwurf und Betrieb sollten Vorkehrungen getroffen werden, um das Risiko gefährlicher Druckstöße zu reduzieren. In der Projektklasse C sollten die Wahrscheinlichkeit und die Konsequenzen von Druckstößen analysiert werden. ^b Der Auslegungsdruck für Vakuum beträgt ≥ -1 MPa. ^c Wenn es nicht möglich ist, dass das Rohr den Setzungenbewegungen des Bodens folgt, z. B. im Falle von festen Rohrbefestigungen (mit Pfählen) für Rohre, die Straßen überqueren, dann muss das Gewicht des Bodens als kraftgesteuerte Einwirkung behandelt werden. ^d Hinsichtlich der Unsicherheitsfaktoren, welche besondere Schwankungen der Bodeneigenschaften und Bodenparameter berücksichtigen, siehe Anhang B. ^e Bei der Ausführung von Ermüdungsanalysen muss ΔT als die absolute Differenz zwischen dem höchsten und dem niedrigsten Wert während des gesamten Temperaturzyklus angenommen werden. Bei der Berechnung von Rohrverschiebungen und Bodenreaktionen, muss ΔT als die absolute Differenz zwischen der Installationstemperatur und der relevanten Betriebstemperatur angenommen werden. ^f Wenn eine Last einen vorteilhaften Einfluss auf den betrachteten Grenzzustand hat, so darf diese nicht berücksichtigt werden, wenn es sich um eine variable Last handelt. Handelt es sich hingegen um eine permanente Last, so muss diese mit einem Lastfaktor von 0,9 berücksichtigt werden.						

6.4.3 Temperaturschwankungen

Sonderbedingungen, wie Wärmeerzeugung durch Müllverbrennungsanlagen, Kaltwasserpumpen, Nachtabenkung des Verbrauchs usw. können viele und/oder große Temperaturschwankungen verursachen.

Gewöhnlich wird die höchste Anzahl der gleichwertigen Temperaturlastwechsel im Vorlaufrohr für die Hauptleitungen und im Rücklaufrohr für Hausanschlussleitungen auftreten.

Die Anzahl der vollständigen Temperaturlastwechsel muss aus einer detaillierten Analyse des erwarteten Betriebs des Kraftwerks oder der Abfallverbrennungsanlage und der Kundenanlagen abgeleitet werden. Für den Fall, dass diese Informationen nicht verfügbar sind, müssen die Mindestwerte nach 6.7.2, Tabelle 14, zur Ermüdungsanalyse herangezogen werden.

Die Anzahl der Vollastwechsel darf nicht niedriger als die kleinsten Werte der relevanten Betriebsperiode nach Tabelle 14 sein.

ANMERKUNG Bei Hauptrohrleitungen kann der Höchstwert z. B. in der Nähe von Müllverbrennungsanlagen erreicht werden. Für Hausanschlussleitungen werden die Höchstwerte gewöhnlich im Falle z. B. einer Nachtabsenkung des Verbrauchs erreicht.

6.4.4 Oberlast durch den Boden

Zur Berechnung der neutralen Bodenlast oberhalb des Rohres siehe 6.5.3.1.

6.4.5 Verkehrslasten

6.4.5.1 Allgemeines

Die angewendeten Lastmodelle sollten EN 1991-2 entsprechen. Für Autobahnen und Bundesstraßen kann „Lastmodell 3“ (einschließlich Sondertransporte) angenommen werden. Für untergeordnete Straßen kann das „Ermüdungslastmodell 2, Lastkraftwagen 4“ angewendet werden. Durch letzteres Lastsystem wird die „Gruppe von häufigen Lastkraftwagen“, wie sie auf europäischen Straßen auftreten können, mit Ausnahme von Spezialtransporten abgedeckt.

Im offenen Gelände kann auch das „Ermüdungslastmodell 2, Lastkraftwagen 4“ angewendet werden, wobei alle Achslasten durch einen Faktor von 2,0 geteilt werden.

Alternative Verfahren zur Berechnung von Verkehrslasten dürfen aus CEN/TR 1295-2, [5] abgeleitet werden.

Verkehrslasten, die durch (vorübergehenden) dichten Verkehr aufgrund von Bauarbeiten während der Installationsphase einer Rohrleitung oder aufgrund der Tätigkeiten Dritter oberhalb bereits vorhandener Rohrleitungen verursacht werden, müssen entsprechend berücksichtigt werden.

Die Verteilung von Achslasten in den Baugrund hinein kann nach dem Verfahren von Boussinesq oder Braunschtorfinger [9] berechnet werden. Siehe auch CEN/TR 1295-2, [5].

Die Verkehrslast je Längeneinheit:

$$Q_v = P_v \cdot D_c \quad (4)$$

6.4.5.2 Auswirkung von Straßenkonstruktionen auf die Minderung der Verkehrslast

Bei der Berechnung der Verkehrslast kann die entlastende Wirkung bezüglich des Aufbaus von Straßen in den folgenden Fällen vernachlässigt werden:

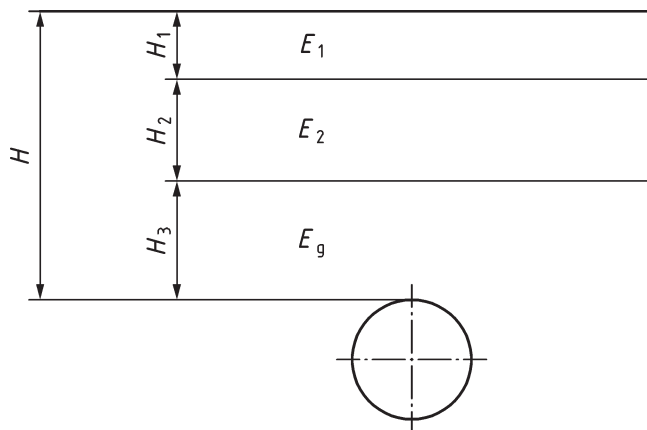
- a) Straßenkonstruktionen, die aus einem Mehrschichtsystem bestehen, d. h. eine oder mehrere Baugrundsichten wurden auf den Baugrund aufgetragen und mit einer Deckschicht abgeschlossen;
- b) Straßenkonstruktionen, bei denen der Baugrund mit Asphalt oder Beton befestigt wird oder wurde.

Das Berechnungsverfahren wandelt die Auswirkung der Baugrundsicht und Deckschicht in eine (fiktionale) entsprechende Überdeckungshöhe über dem Rohr um. Anschließend wird die Verkehrslast in Höhe des oberen Endes des Rohres berechnet, indem diese entsprechende Überdeckungstiefe angewendet wird. Bei einem Dreischichtsystem (Baugrund, Baugrundsicht und Deckschicht) wird z. B. die Baugrundsicht zuerst in eine entsprechende Überdeckungshöhe umgewandelt; die gleiche Vorgehensweise wird für die Deckschicht angewendet. Die entsprechende Überdeckungshöhe H_{eq} wird dann wie folgt ermittelt:

$$H_3 + H_{1eq} + H_{2eq} = H_{eq} \quad (5)$$

Folgende Gleichung muss zur Berechnung der entsprechenden Überdeckungshöhe (siehe Bild 5) angewendet werden:

$$H_{n,eq} = 0,9H_n \cdot \sqrt[3]{E_n/E_g} \quad (6)$$



Legende

H Überdeckungshöhe über dem Rohrscheitel

E Elastizitätsmodul

Bild 5 — Berechnung der entsprechenden Bodenüberdeckung

In Tabelle 10 sind typische Werte enthalten, die bei Berechnungen angewendet werden können. Es dürfen andere Werte als die angegebenen angewendet werden, wenn durch neue oder bereits durchgeführte Untersuchungen zufriedenstellend nachgewiesen wurde, dass diese anderen Werte korrekt sind.

ANMERKUNG Die Gleichung für die entsprechende Überdeckungshöhe kann auch als $H_{eq} = H + \alpha H_1 + \beta H_2$ angegeben werden, dabei ist α von der Deckschicht und β von der Baugrundsicht abhängig. Bei bekannter Dicke der Deckschicht (H_1), Dicke der Baugrundsicht (H_2) und Verlegetiefe H kann die entsprechende Verlegetiefe (H_{eq}) mit dieser Gleichung berechnet werden. Die Werte für α und β sind in Tabelle 10 enthalten.

Tabelle 10 — Typische Werte für unterschiedliche Deckschichten und Baugrundsichten

Werkstoff	Elastizitätsmodul MPa	Faktor α oder β	γ_{dr} kg/m ³
Polystyrolschaumstoff	4 oder 14 ^a	0	15 oder 40
Baugrund ^b	100 ^b	—	—
Flugasche	150	0,03	—
Lavagestein, Schotter, Split, Kalk-Stabilisator, Baugrundsicht aus weicher Gesteinsschüttung	200	0,13	—
Porenbeton	300	0,30	400
Asphaltschichten, Schlacke, Baugrundsicht aus Betonschutt	500	0,54	—
Porenbeton	650	0,680	500
Gemisch aus Sand und Zement, Sandasphalt	1 000	0,94	—

Werkstoff	Elastizitätsmodul MPa	Faktor α oder β	γ_{dr} kg/m ³
Porenbeton	1 200	1,060	600
Hochofenschlacke	1 500	1,220	—
^a $E = 4 + 2 (\gamma_{dr} - 15/5 \text{ MPa ist auf Zwischenwerte anwendbar})$. ^b Gut verdichteter Sand.			

6.5 Globale Analyse und Wechselwirkung zwischen Rohr und Boden

6.5.1 Allgemeines

Einwirkungen, Verschiebungen und Einspannungen müssen unter Einbeziehung sowohl statischer als auch dynamischer Aspekte für das gesamte Rohrleitungssystem betrachtet werden.

Dies bedeutet, dass sogar in Fällen, in denen die Rohrleitung bei der Analyse abschnittsweise betrachtet wird, die Anforderungen an den Gleichgewichtszustand unter Berücksichtigung von durch angrenzende Konstruktionen aufgebracht Einwirkungen für das gesamte Rohrleitungssystem zufriedenstellend erfüllt werden müssen.

Darüber hinaus muss der betrachtete Rohrleitungsabschnitt mit ausreichender Genauigkeit durch folgende Gesichtspunkte beschrieben werden:

- entweder die Verschiebungen (Kräfteübertragung und Verdrehung); oder
- die Kräfte und Momente; oder
- das Verhältnis zwischen Verschiebungen einerseits sowie Kräften und Momenten andererseits.

Bei der Berechnung der inneren Kräfte und Verformungen muss die Flexibilität der einzelnen Rohrkomponenten durch die Verwendung von Flexibilitätsfaktoren nach Anhang C berücksichtigt werden.

Das folgende Verfahren kann angewendet werden:

- Berechnung von Biegemomenten, Kräften und Verformungen des Stahlmediumrohres als der einwirkungsaufnehmenden Konstruktion;
- Berechnung von Einwirkungen auf den PUR und die Ummantelung, die vermutlich den Verformungen des Stahlmediumrohres folgen werden.

Das angewendete Berechnungsmodell muss die Wechselwirkung zwischen Rohr und Boden, die allgemein von der Temperaturexpansion des Rohres oder durch Bodensetzungen verursacht wird, angemessen berücksichtigen.

6.5.2 Modell für die Wechselwirkung zwischen Rohr und Boden

6.5.2.1 Allgemeines

Für eine statische Berechnung des Systems (globale Analyse) können die von der Wechselwirkung zwischen Rohr und Boden erzeugten Kräfte durch ein aus drei Rohrleitungsteilen bestehendes Balkenelementmodell dargestellt werden, wie in Bild 6 dargestellt. Die Rohrleitung wird durch einen einfachen Trägerbalken dargestellt. Die Wechselwirkung zwischen Rohrleitung und umgebendem Boden kann durch eine Reihe von

(eigenständigen) multilinearen Bodenfedern simuliert werden, wobei die Reaktionen des Bodens in axialer, horizontaler und vertikaler Richtung, f , p und q , als k_x , k_y und k_z modelliert werden (siehe Bild 6). Diese Federn stellen das Ausmaß der Einwirkungen oder der Beschränkungen dar, die als nicht-lineare Funktion der relativen Verschiebung zwischen Rohr und Boden auf das Rohrleitungssystem ausgeübt werden.

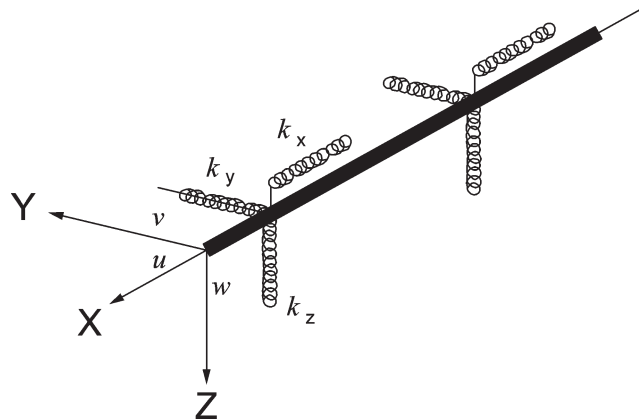


Bild 6 — Modellhafte Darstellung der Wechselwirkung zwischen Rohr und Boden

Es wird angenommen, dass keine Schubspannungen zwischen zwei benachbarten Federn, entlang den an der Rohrachse liegenden Federn oder Bettungselementen bestehen.

Die Größe der Reaktion ist gewöhnlich wie in Bild 7 dargestellt, wobei f , p und q Faktoren für axiale, horizontale bzw. vertikale Reaktionen sind. Wenn Verschiebungen größer als u_u , v_u und w_u auftreten, können die Bodenreaktionen jeweils konstante Grenzwerte für f_u , p_u und q_u annehmen.

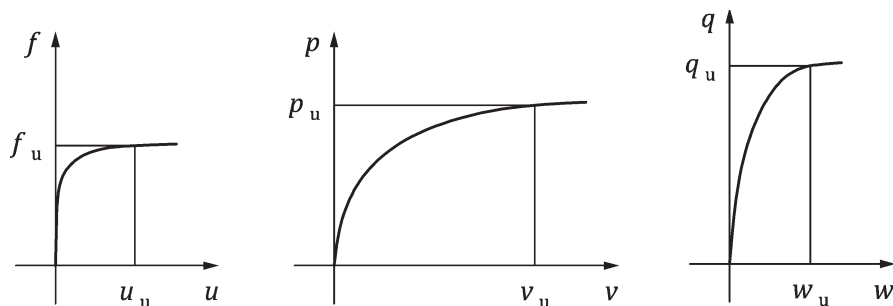


Bild 7 — Lastverformungsbeziehung der Bodenfedern

Alternativ zu diskreten Federn können Theorien für auf elastischem Untergrund gelagerte Balken [20] oder Verfahren der finiten Elemente angewendet werden.

Wenn keine Bodensetzungen erwartet werden, dann stellen die folgenden Aspekte die wichtigsten Beschränkungen dar:

- a) die maximale axiale Reaktion f_u durch die Rohr-Boden-Reibung, siehe 6.5.3;
- b) der horizontale Druck p durch den Horizontalmodul der Bodenreaktion, siehe 6.5.4.

Die axiale Reaktion (Bodenreibung) kann als gleichmäßige axiale Einwirkung gegen die Dehnung des Rohres angesetzt werden. Die horizontale Bodenreaktion wird gewöhnlich in Form von elastischen oder elasto-plastischen Bodenfedern dargestellt.

In der Nähe von Bereichen, in denen Dehnpolster verwendet werden oder beträchtliche Bodenverformungen auftreten, kann die Anwendung von linearen Federeigenschaften unzuverlässige Ergebnisse zur Folge haben; es sollten daher Modelle mit elasto-plastischen Bodenfedern angewendet werden, siehe Anhang B.

6.5.2.2 Flexibilität der Rohrkomponenten

Bei der Ausführung von globalen Analysen muss auf die Flexibilität der Rohrkomponenten, zum Beispiel bei Bögen und T-Stücken, geachtet werden. Flexibilität Faktoren für diese Rohrkomponenten müssen in Übereinstimmung mit Abschnitt C.2 in die Berechnungen einfließen.

6.5.3 Rohr-Boden-Reibung (axial)

6.5.3.1 Allgemeines

Die relevanten Grenzwerte der Reibung f_u zwischen der Ummantelung und dem umgebenden Boden müssen unter angemessener Berücksichtigung der Installationsbedingungen bestimmt werden, z. B.:

- a) Art des Bettungs- und Füllmaterials sowie Verfahren und Umfang der Bodenverdichtung, siehe EN 13941-2;
- b) höchster und niedrigster Grundwasserspiegel;
- c) Auftreten von sehr steifen Straßendecken, die laterale Bodenverschiebungen verhindern;
- d) Einfluss von möglichen künftigen Parallelaufgrabungen in der Nähe der Rohre;
- e) „Tunnelwirkung“ aufgrund möglicher Zunahme der Reibung aufgrund einer Vergrößerung des Rohrdurchmessers bei der Erwärmung und einer Reduzierung der Reibung aufgrund einer Abnahme des Rohrdurchmessers bei der Abkühlung.

Bei sandigen Böden beträgt die relative Verschiebung u_u zwischen dem Rohr und dem umgebenden Boden, die erforderlich ist, um den maximalen Reibungswiderstand f_u zu erreichen, etwa $u_u = 1$ mm bis 3 mm.

Der maximale Reibungswiderstand muss berechnet werden als:

$$f_u = \mu \cdot \sigma_n \quad (7)$$

Bei sandigen Böden muss die Normalspannung an einer Ummantelung auf der Grundlage eines Bodenruhedruckzustandes berechnet werden, wobei die Reibung je Rohrlängeneinheit angegeben wird (siehe Bild 8):

$$F = \mu \left(\frac{1 + K_0}{2} \cdot \sigma_v \cdot \pi \cdot D_c + G - \gamma_s \cdot \pi \cdot \left(\frac{D_c}{2} \right)^2 \right) \quad (8)$$

mit $K_0 = 1 - \sin \varphi'$

Bei sandigen Böden darf K_0 als 0,50 angegeben werden, wenn kein anderer Wert vorhanden ist;

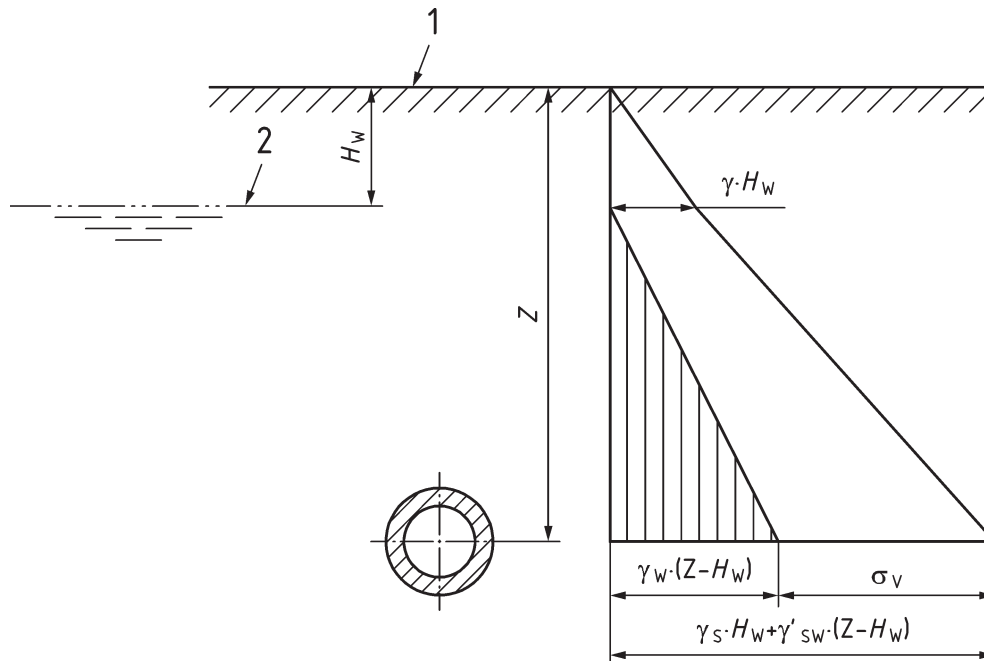
Für körnige Böden gilt:

$$\sigma_v = \gamma_s \cdot H_w + \gamma_{sw}(Z - H_w) \text{ bei } H_w < Z \quad (9)$$

$$\sigma_v = \gamma_s \cdot Z \text{ bei } H_w \geq Z \quad (10)$$

Dabei ist

$$\gamma_{sw} = \gamma'_{sw} - \gamma_w \quad (11)$$



Legende

- 1 Erdoberfläche
- 2 Grundwasserspiegel

Bild 8 — Berechnung der effektiven Bodenspannung

6.5.3.2 Reibungskoeffizient

Der Reibungskoeffizient μ muss unter angemessener Berücksichtigung der Bodenklasse, Korngröße und -form, Verdichtung des Verfüllmaterials sowie Verformungsgeschwindigkeit bestimmt werden.

Bei sandigen Böden muss μ berechnet werden als:

$$\mu = \tan \delta \quad (12)$$

Der Reibungswinkel δ zwischen der Ummantelung und dem Bettungsmaterial sollte nach EN ISO 12957-1 unter Anwendung von entsprechend niedrigen Drücken (10 kPa, 20 kPa und 50 kPa) bestimmt werden.

Der Winkel der inneren Bodenreibung des Bettungsmaterials kann nach CEN ISO/TS 17892-10 bestimmt werden.

Bei gewöhnlicher Fernwärmenutzung bei sandigen Böden und PE-Ummantelung darf δ als annähernd $2/3 \varphi$ angenommen werden, mit einem Höchstwert für δ von etwa 20 bis 22.

Bei sandigen Böden, bei denen keine Setzungen auftreten, können die typischen Auslegungswerte für μ zur Ermüdungsanalyse und zur Auslegung der Maßnahmen für den Dehnungsausgleich Tabelle 11 entnommen werden.

ANMERKUNG 1 Im Falle einer stark verdichteten Hinterfüllung des Grabens können die anfänglichen Grenzflächenreibungswerte (z. B. zu Beginn des Betriebs des Fernwärmesystems) aufgrund von Dilatationseffekten höher sein, siehe [22].