

**Auslegung und Installation von werkmäßig
gedämmten Verbundmantelrohren für Fernwärme**

Deutsche Fassung prEN 13941:2000

DIN
EN 13941

ICS 91.140.10

Einsprüche bis 2001-02-28

Design and installation of preinsulated bonded pipes
for district heating; German version prEN 13941:2000

Conception et installation des systèmes bloqués
de tuyaux pré-isolés pour les réseaux enterrés d'eau chaude;
Version allemande prEN 13941:2000

Anwendungswarnvermerk

Dieser Norm-Entwurf wird der Öffentlichkeit zur Prüfung und Stellungnahme vorgelegt.

Weil die beabsichtigte Norm von der vorliegenden Fassung abweichen kann, ist die Anwendung dieses Entwurfes besonders zu vereinbaren.

Stellungnahmen werden erbeten an den Normenausschuss Heiz- und Raumluftechnik (NHRS) im DIN Deutsches Institut für Normung e. V., 10772 Berlin (Hausanschrift: Burggrafenstr. 6, 10787 Berlin).

Nationales Vorwort

Dieser Norm-Entwurf wurde vom Technischen Komitee CEN/TC 107 (Werkmäßig gedämmte Mantelrohrsysteme für Fernwärme), Sekretariat: Dänemark, des Europäischen Komitees für Normung (CEN) unter Mitwirkung des Normenausschusses Heiz- und Raumluftechnik (NHRS) im DIN Deutsches Institut für Normung e. V. erstellt.

Fortsetzung 102 Seiten prEN

Normenausschuss Heiz- und Raumluftechnik (NHRS) im DIN Deutsches Institut für Normung e.V.

— Leerseite —

Deutsche Fassung

Auslegung und Installation von werkmäßig gedämmten
Verbundmantelrohren für Fernwärme

Design and installation of preinsulated bonded pipes for
district heating

Conception et installation des systèmes bloqués de tuyaux
pré-isolés pour les réseaux enterrés d'eau chaude

Dieser Europäische Norm-Entwurf wird den CEN-Mitgliedern zur Umfrage vorgelegt. Er wurde vom Technischen Komitee CEN/TC 107 erstellt.

Wenn aus diesem Norm-Entwurf eine Europäische Norm wird, sind die CEN-Mitglieder 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.

Dieser Europäische Norm-Entwurf wurde vom CEN in drei offiziellen Fassungen (Deutsch, Englisch, Französisch) erstellt. 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, Dänemark, Deutschland, Finnland, Frankreich, Griechenland, Irland, Island, Italien, Luxemburg, Niederlande, Norwegen, Österreich, Portugal, Schweden, Schweiz, Spanien, der Tschechischen Republik und dem Vereinigten Königreich.

Warnvermerk: Dieses Schriftstück hat noch nicht den Status einer Europäischen Norm. Es wird zur Prüfung und Stellungnahme vorgelegt. Es kann sich noch ohne Ankündigung ändern und darf nicht als Europäische Norm in Bezug genommen werden.



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

Management-Zentrum: rue de Stassart, 36 B-1050 Brüssel

Inhaltsverzeichnis

Vorwort	5
1 Anwendungsbereich	6
2 Normative Verweisungen	7
3 Einheiten und Symbole	9
3.1 Einheiten	9
3.2 Symbole	9
4 Definitionen	10
5 Allgemeine Betrachtungen für die Systemauslegung	15
5.1 Allgemeine Anforderungen	15
5.2 Betriebslebensdauer	15
5.3 Voruntersuchungen	15
5.4 Bestimmung der Projektklasse	16
5.4.1 Risikobewertung	16
5.4.2 Projektklassen	16
5.5 Projektdokumentation	18
5.5.1 Allgemeine und Betriebsdaten	18
5.5.2 Rohrleitungsdaten	18
5.5.3 Anforderungen an die Qualitätssicherung	19
6 Komponenten und Werkstoffe	20
6.1 Grundanforderungen an die Rohrwerkstoffe	20
6.1.1 Nicht-genormte Komponenten	21
6.2 Stahlrohr und Rohrkomponenten	21
6.2.1 Allgemeines	21
6.2.2 Werkzeugezeugnisse	21
6.2.3 Kennwerte für Stahl bei erhöhten Temperaturen	21
6.2.4 Spezifische Anforderungen für Rohrbögen und T-Stücke	22
6.2.5 Spezifische Anforderungen für Reduzierstücke und Verlängerungen	23
6.2.6 Spezifische Anforderungen für andere Komponenten	24
6.3 Polyurethan-Wärmedämmung	24
6.3.1 Allgemeines	24
6.3.2 Kennwerte für PUR-Schaum	24
6.4 Polyethylen(PE)-Mantel	24
6.5 Dehnpolster	24
6.5.1 Allgemeine Anforderungen	24
6.5.2 Kennwerte für Dehnpolster	24
6.6 Armaturen und Komponenten, Allgemeine Anforderungen	25
6.7 Kennzeichnung und Zertifikate	25
7 Belastungen und Grenzzustände	25
7.1 Allgemeines	25
7.2 Vereinfachtes Analysenverfahren	27
7.3 Belastungen	27
7.3.1 Allgemeines	27
7.3.2 Klassifizierung der Belastungen	27
7.4 Grenzzustände	29
7.4.1 Allgemeines	29
7.4.2 Grenzzustände für Stahlrohre	30
7.4.3 Überlagerung von Spannungen	37
7.4.4 Grenzzustände für PUR und PE	37
8 Verlegung	38
8.1 Allgemeines	38
8.2 Transport und Lagerung	38
8.3 Aushub des Rohrgrabens	39

8.4 Verlegung von Rohren und Komponenten.....	39
8.5 Schweißen des Stahlrohrs und Prüfung der Stahlschweißungen	40
8.5.1 Allgemeines.....	40
8.5.2 Qualitätssystem für die verschiedenen Projektklassen.....	40
8.5.3 Qualifikation der Schweißverfahren	42
8.5.4 Verbrauchsmaterial	42
8.5.5 Anordnung und Lage der Schweißung	42
8.5.6 Durchführung der Schweißarbeiten	42
8.5.7 Sonderverfahren	44
8.5.8 Kontrolle der Schweißverbindung	44
8.5.9 Dokumentation.....	47
8.6 Druckprüfung und Dichtheitsprüfung	47
8.7 Montage der Mantelrohre, der Verbindungen und Wärmedämmung	48
8.8 Verfüllung des Grabens.....	48
8.9 Rohrbögen und andere Komponenten.....	49
8.9.1 Rohrbögen	49
8.9.2 Abzweige.....	49
8.10 Armaturen und Zubehör	50
8.11 Inbetriebnahme.....	50
8.12 Sonderkonstruktionen.....	50
8.12.1 Sonderkomponenten	50
8.12.2 Freileitungen mit werksmäßig gedämmten Rohren.....	51
8.12.3 Einführung in das Mantelrohr	51
8.13 Bauarbeiten während der Betriebsphase	51
Anhang A (normativ)	52
Auslegung von unter Innendruck stehenden Rohrkomponenten.....	52
A.1 Allgemeines.....	52
A.2 Symbole	52
A.3 Gerades Rohr und Bögen	53
A.3.1 Gerade Rohre.....	53
A.3.2 Bögen.....	53
A.4 T-Stücke und Abzweige	53
A.4.1 Allgemeine Aspekte und Einschränkungen.....	53
A.4.2 Verstärkung	53
A.5 Reduzierstücke und Verlängerungen.....	56
A.6 Gewölbte Enden	57
Anhang B (informativ)	58
Geotechnik und Wechselwirkung zwischen Rohr und Erdreich.....	58
B.1 Allgemeines.....	58
B.2 Symbole und Einheiten.....	58
B.3 Bodenparameter für die globale Analyse (Wechselwirkung zwischen Rohr und Erdreich).....	59
B.3.1 Modell für der Wechselwirkung zwischen Rohr und Erdreich	59
B.3.2 Rohr-Boden Reibung (axial).....	60
B.3.3 Koeffizient der horizontalen Bodenreaktionskraft	62
B.3.4 Kombinierte Steife des PUR-Schaumes, der Dehnpolster und des Bodens.....	65
B.4 Kennwerte für Bodendbelastungen und Bodenparameter.....	67
B.4.1 Allgemeines	67
B.4.2 Studie der Bodenmechanik, stochastische Variation der Bodeneigenschaften, Zufallsfaktoren.....	68
B.5 Spezifische Anforderungen an die Stabilität.....	69
B.5.1 Vertikale Stabilität.....	69
B.5.2 Horizontale Stabilität.....	70
B.6 Spezifische Anforderungen für Parallelgrabungen.....	71
B.6.1 Allgemeines	71

B.6.2 Reduzierte Reibung	71
B.7 Anforderungen für weiche Böden und Setzungsbereiche	71
B.7.1 Allgemeines	71
B.7.2 Unterschiedliche Setzungen.....	71
Anhang C (informativ)	72
Globale und Querschnittsanalyse	72
C.1 Allgemeines	72
C.2 Symbole	72
C.3 Übersicht der Grenzzustände für Stahl.....	74
C.4 Zu bewertende Stellen	76
C 4.1 Zu bewertende Komponenten.....	76
C.4.2 Zu betrachtende Bereiche, ...	77
C.5 Belastungen	78
C.5.1 Allgemeines	78
C.5.2 Belastungszyklen	78
C.6 Globale Analyse	79
C.6.1 Allgemeines	79
C.6.2 Flexibilität.....	80
C.6.3 Grenzzustände.....	81
C.7 Spannungsberechnung	85
C.7.1 Vereinfachtes Verfahren.....	85
C.7.2 Querschnittsanalysen, Stahl.....	85
C.7.3 Gerade Rohre und Stumpfschweißungen	87
C.7.4 Bögen.....	89
C.7.5 T-Stücke.....	91
C.7.6 Andere Komponenten.....	96
C.7.7 PUR-Schaum und PE-Mantel	98
C.8 Ermüdungsanalyse	98
C.8.1 Ermüdungsfestigkeitsdaten.....	98
C 8.2 Festigkeitsdaten für das Ermüdungsverhalten, detaillierte Berechnung ..	100
C.8.3 Auslegungsermüdungsverhalten.....	100
C.9 Weitere Maßnahmen	100
Anhang D (informativ) Berechnung der Wärmeverluste	101
D.1 Allgemeines.....	101
D.2 Wärmeverlust pro Rohrpaar	101
D.3 Dämmwert des Bodens.....	102
D.4 Dämmwert des Dämmstoffes	102
D.5 Dämmwert des Wärmeaustausches zwischen Vor- und Rücklaufrohr	102

Vorwort

Diese Europäische Norm wurde vom Technischen Komitee CEN/TC 107 "Werkmäßig gedämmte Mantelrohrsysteme für Fernwärme" erarbeitet, dessen Sekretariat vom DS gehalten wird.

Dieses Dokument ist derzeit zur CEN-Umfrage vorgelegt.

Entsprechend dem Aufgabengebiet von CEN/TC107

hat JWG1 die Aufgabe Auslegungs-, Berechnungs- und Verlegungsregeln für werksmäßig gedämmte Verbundrohrsysteme für erdverlegte Fernwärmenetze mit Verbundrohren, die EN 253, EN 448, EN 488 und EN 489 entsprechen, zu erstellen.

legt CEN/TC107/TC267/JWG1 auch Regeln für Funktionsprüfungen für werksmäßig gedämmte Verbundmantelrohrsysteme für erdverlegte Fernwärmenetze fest.

basieren die Grundregeln für Auslegung, Berechnung und Verlegung auf funktionellen Anforderungen.

ist der Sinn der Arbeit eine einheitliche Basis für Konstruktion, Bau und Betrieb von Fernwärmesystemen zu bieten, um die Zuverlässigkeit, Leistungsfähigkeit und Sicherheit für die Umgebung, Umwelt zu gewährleisten und den Gesundheitsschutz der Allgemeinheit sicherzustellen.

müssen Verbindungskonstruktionen für die betrachteten Rohrleitungen EN489 entsprechen. Diese Norm berücksichtigt gesammelte Erfahrungen, neues Wissen über das Verhalten von Werkstoffen und Lastverteilung, erlaubte Verformungen und auch Weiterentwicklung bei Installationstechniken.

Beim Anwenden der Norm, müssen ihre verschiedenen Abschnitte als voneinander abhängig betrachtet werden, und können deshalb nicht losgelöst alleine als Regel gelten

Diese Norm besteht aus einem Hauptteil und vier Anhängen.

Abhängig von der Art der einzelnen Abschnitte, wird in dieser Norm zwischen Grundsätzen und Anwendungsregeln unterschieden.

Die Grundsätze bestehen aus:

- allgemeinen Feststellungen, Definitionen und Anforderungen, wofür es keine Alternative gibt, sowie
- Anforderungen und analytischen Modellen, wofür es keine erlaubte Alternative gibt, es sei denn diese wird ausdrücklich erwähnt.

Die Grundsätze erscheinen im üblichen Druckbild

Die Anwendungsregeln gelten als allgemein anerkannte Regeln, die mit den Grundsätzen übereinstimmen, und deren Anforderungen erfüllen.

Anwendungsregel:

Die Anwendungsregeln und Bemerkungen bezüglich Grundsätze und Anwendungsregeln erscheinen kleingedruckt. Dies ist eine Anwendungsregel.

Es ist erlaubt, alternative Konstruktionsregeln zu den in dieser Norm vorgegebenen Regeln zu verwenden, vorausgesetzt daß es erwiesen ist, daß die Alternativregel mit den entsprechenden Grundsätzen übereinstimmt und gleiche - oder höhere - Widerstandsands-, Betriebs- und Dauerhaftigkeitseigenschaften als die des Systems aufweist.

Anhang A ist Teil der Norm, daher normativ, er ergänzt die Grundsätze. Anhänge B, C und D sind als Anwendungsregeln zu betrachten und daher informativ.

Diese Norm umfaßt eine Anzahl von Anforderungen, welche die ordnungsgemäße Ausführung von Verteilungsnetzen für die Fernwärme sicherstellen sollen. Die in dieser Norm festgelegten Anforderungen sind so weit es möglich war als funktionelle Anforderungen gestaltet.

Die Anforderungen und Regeln, die einen Teil dieser Norm bilden, werden bewertet und angewandt in Übereinstimmung mit den Zielen der Norm und unter angemessener Berücksichtigung der Entwicklungen in dem betroffenen Fachgebiet. Es wird daher angenommen, daß der Anwender der Norm über das entsprechende technische Wissen verfügt, und daß der Anwender ausreichende Kenntnisse der gesetzlichen und weiteren Regeln, die für die praktische Anwendung der Norm von Bedeutung sind, besitzt.

Zum Anwendungsbereich dieser Norm gehören auch besondere Fälle, die nicht explizit im Inhalt behandelt werden. Die Einschätzung welcher Fall im einzelnen von der Norm abgedeckt ist, muss in Eigenverantwortung durch den ingenieurmäßigen Sachverstand des Normanwenders erfolgen.

1 Anwendungsbereich

Diese europäische Norm legt Regeln für die Auslegung, Berechnung und Verlegung von werksmäßig gedämmten Verbundrohren für erdverlegte Heißwasserverteilungs- und Transportnetze, (siehe Bild 2), mit Rohrkonstruktionen nach EN 253 und mit einem höchsten Betriebsdruck von 25 bar fest.

Angrenzende Rohre, die dem Netz angehören (z.B. Rohre in Kanälen, Armaturenschächten, überirdische Straßenüberquerungen usw.) können in Anlehnung an diese Norm ausgelegt und verlegt werden.

Anwendungsregel:

Diese Norm kann auch für werksmäßig gedämmte Rohrsysteme angewandt werden mit Betriebsdrücken höher als 25 bar, vorausgesetzt die Auswirkungen der höheren Drücke werden bei der Berechnung besonders beachtet.

Die Norm setzt die Benutzung von behandeltem Wasser voraus, das durch Enthärtung, Entsalzung, Desoxidation, oder Zusatz von Chemikalien, oder auf andere Art und Weise so behandelt worden ist, daß innere Korrosion und Ablagerungen in den Leitungen vermieden werden.

Diese Norm umfaßt nicht Geräte bzw. Anlagen wie z.B.

- Pumpen,
- Wärmetauscher,
- Kesselanlagen, Behälteranlagen,
- Verbrauchseinrichtungen.

Es muß jedoch gewährleistet sein, daß die betreffenden Geräte bzw. Anlagen hinsichtlich der Belastungen, die durch das Fernwärmenetz herrühren sowie der von den baulichen Verhältnissen ausgehenden Belastungen voll funktionsfähig und dauerhaft sind.

Richtlinien für die Produktqualitätskontrolle sind in Anhang A von EN 448, Anhang C von EN 253, Anhang A von EN 488 und Anhang B von EN 489 zu finden.

Richtlinien für das Schweißen des Polyethylenmantels sind in Anhang B von EN 448 zu finden.

Die Einschätzung der zu erwartenden Lebensdauer bei Dauerbetrieb mit unterschiedlichen Temperaturen wird in Anhang B von EN 253 beschrieben.

2 Normative Verweisungen

Diese Europäische Norm enthält durch datierte oder undatierte Verweisungen Festlegungen aus anderen Publikationen. Diese normativen Verweisungen sind an den jeweiligen Stellen im Text zitiert und die Publikationen sind nachstehend aufgeführt. Bei starren Verweisungen gehören spätere Änderungen oder Überarbeitungen dieser Publikation nur zu dieser Europäische Norm, falls sie durch Änderung oder Überarbeitung eingearbeitet sind. Bei undatierten Verweisungen gilt die letzte Ausgabe der in Bezug genommenen Publikation.

EN 253 Werkmäßig gedämmte Verbundmattelrohrsysteme für erdverlegte Fernwärmenetze. Verbund-Rohrsystem bestehend aus Stahl-Mediumrohr, Polyurethan-Wärmedämmung und Außenmantel aus Polyethylen;

EN 287-1..... Prüfung von Schweißern; Schmelzschweißen; Teil 1: Stahl

EN 288-1 Anforderung und Anerkennung von Schweißverfahren für metallische Werkstoffe; Teil 1: Allgemeine Regeln für das Schmelzschweißen

EN 288-2 Anforderung und Anerkennung von Schweißverfahren für metallische Werkstoffe; Teil 2: Schweißanweisung für das Lichtbogenschweißen

EN 288-3 Anforderung und Anerkennung von Schweißverfahren für metallische Werkstoffe; Teil 3: Schweißverfahrensprüfungen für das Lichtbogenschweißen von Stählen

EN 448 Werkmäßig gedämmte Verbundmantelrohrsysteme fuer erdverlegte Fernwärmenetze. Verbund-Formstücke bestehend aus Stahl-Mediumrohr, Polyurethan-Wärmedämmung und Außenmantel aus Polyethylen

EN 473 Qualifizierung und Zertifizierung von Personal der zerstörungsfreien Prüfung; Allgemeine Grundlagen

EN 474-1 Erdbaumaschinen - Sicherheit - Teil 1: Allgemeine Anforderungen

EN 488 Werksmaessig gedaemmte Verbundmantelrohrsysteme fuer erdverlegte Ferwaermenetze. Vorgedaemmte Absperrarmaturen fuer Stahlmediumrohre mit Polyurethan. Waermedaemmung und Aussenmantel aus Polyethylen

EN 489 Werkmäßig gedämmte Verbundmantelrohrsysteme für erdverlegte Fernwärmenetze - Rohrverbindungen für Stahlmediumrohre mit Polyurethan-Wärmedämmung und Außenmantel aus Polyethylen

EN 719 Schweißaufsicht - Aufgaben und Verantwortung

EN 729-1 Schweißtechnische Qualitätsanforderungen - Schmelzschweißen metallischer Werkstoffe - Teil 1: Richtlinien zur Auswahl und Verwendung

EN 729-2 Schweißtechnische Qualitätsanforderungen - Schmelzschweißen metallischer Werkstoffe - Teil 2: Umfassende Qualitätsanforderungen

EN 729-3 Schweißtechnische Qualitätsanforderungen - Schmelzschweißen metallischer Werkstoffe - Teil 3: Standard-Qualitätsanforderungen

EN 1289 Zerstörungsfreie Prüfung von Schweißverbindungen - Eindringprüfung von Schweißverbindungen – Zulässigkeitsgrenzen

EN 1290 Zerstörungsfreie Prüfung von Schweißverbindungen - Magnetpulverprüfung von Schweißverbindungen

EN 1291 Zerstörungsfreie Prüfung von Schweißverbindungen - Magnetpulverprüfung von Schweißverbindungen – Zulässigkeitsgrenzen

EN 1418 Schweißpersonal - Prüfung von Bedienern von Schweißeinrichtungen zum Schmelzschweißen und von Einrichtern für das Widerstandsschweißen für vollmechanisches und automatisches Schweißen von metallischen Werkstoffen

EN 1435 Zerstörungsfreie Prüfung von Schweißverbindungen - Durchstrahlungsprüfung von Schmelzschweißverbindungen

Pr EN 1594 Gasversorgungssysteme - Rohrleitungen für einen maximal zulässigen Betriebsdruck über 16 bar - Funktionale Anforderungen

EN 1712 Zerstörungsfreie Prüfung von Schweißverbindungen - Ultraschallprüfung von Schweißverbindungen – Zulässigkeitsgrenzen

EN 1714 Zerstörungsfreie Prüfung von Schweißverbindungen - Ultraschallprüfung von Schweißverbindungen

EN 10204 Metallische Erzeugnisse; Arten von Prüfbescheinigungen

EN 13445-3 Unbefeuerte Druckbehälter - Teil 3: Konstruktionen; Deutsche Fassung
prEN 13445-3:1999

EN 25817 Lichtbogenschweißverbindungen an Stahl; Richtlinie für Bewertungsgruppen für Unregelmäßigkeiten (ISO 5817:1992)

EN 29692 Lichtbogenhandschweißen Schutzgasschweißen und Gasschweißen.
Schweißnahtvorbereitung fuer Stahl (ISO 9692:1992)

ENV 1993-1-1 Eurocode 3: Bemessung und Konstruktion von Stahlbauten; Teil 1-1: Allgemeine Bemessungsregeln, Bemessungsregeln für den Hochbau

ISO 3419 Stumpfgeschweißte Formstücke aus unlegiertem Stahl

ISO 1000 The international system of units (SI) and its application

ISO 9329-1 Nahtlose Stahlrohre für Druckzwecke; Technische Lieferbedingungen; Teil 1: Unlegierte Stähle mit gewährleisteten Eigenschaften bei Raumtemperatur

ISO 9329-2 Nahtlose Stahlrohre für Druckbeanspruchungen - Technische Lieferbedingungen - Teil 2: Unlegierte und legierte Stähle mit festgelegten Eigenschaften bei erhöhten Temperaturen

ISO 9330-1 Geschweißte Stahlrohre für Druckzwecke; technische Lieferbedingungen; Teil 1: Unlegierte Stähle mit gewährleisteten Eigenschaften bei Raumtemperatur

ISO 9330-2 Geschweißte Stahlrohre für Druckbeanspruchungen - Technische Lieferbedingungen – Teil 2: Elektrisch widerstands- und induktionsgeschweißte Rohre aus unlegierten und legierten Stählen mit festgelegten Eigenschaften bei erhöhten Temperaturen

3 Einheiten und Symbole

3.1 Einheiten

Das in dieser Norm verwendete Einheitssystem ist das SI-System (Système International d'Unités), vgl. u.a. ISO 1000.

Folgende Einheiten und Vielfache werden verwendet:

Länge	m	(Meter)
	mm	(Millimeter)
Masse	kg	(Kilogramm)
Kraft	N	(Newton)
Spannung	N/mm ²	(Newton pro Quadratmillimetre)
Wärmemenge	J	(Joule)
Wärmeleistung	J/s	(Joule pro Sekunde = Watt)
Zeit	s	(Sekunde)
	h	(Stunde)
Druck	Pa	(Pascal = Newton pro Quadratmeter)

Sonstige verwendete Einheiten:

Temperatur	°C	(Grad Celsius)
Druck	bar	(1 bar = 10 ⁵ Pa = 0.1 N/mm ²)

3.2 Symbole

<i>A</i>	Fläche
<i>c</i>	Bindigkeit des Bodens, Herstellungstoleranzen
<i>D</i>	Manteldurchmesser
<i>d</i>	Durchmesser des Mediumrohres
<i>E</i>	Elastizitätsmodul
<i>F</i>	Reibungskraft
<i>f</i>	Berechnete Spannung, Reibungskraft pro Flächeneinheit, Ausknicken
<i>G</i>	Eigenlast
<i>I</i>	Trägheitsmoment
<i>i</i>	Spannungsüberhöhungsfaktor
<i>L</i>	Reibungslänge
<i>l</i>	Länge
<i>M</i>	Biegemoment
<i>N</i>	Normalkraft, Anzahl voller Belastungszyklen
<i>n</i>	Anzahl
<i>p</i>	Innendruck
<i>R_e</i>	Streckgrenze
<i>R_m</i>	Zugfestigkeit
<i>R</i>	Biegeradius
<i>r</i>	Radius des Rohres
<i>T</i>	Temperatur
<i>t</i>	Wanddicke des Rohres
<i>W</i>	Widerstandsmoment
<i>Z</i>	Verlegetiefe (gemessen bis zur Rohrmitte)
<i>α</i>	Wärmeausdehnungskoeffizient

γ	Spezifische Dichte, Sicherheitskoeffizient
δ	Reibungswinkel zwischen Rohr und Boden, Verschiebung durch thermische Ausdehnung
ε	Belastung, Dehnung
θ	Winkel
λ	Wärmeleitfähigkeit
μ	Reibungskoeffizient zwischen Rohr und Boden
ρ	Dichte
σ	Normalspannung
τ	Scherspannung
ν	Poisson'sche Zahl
φ	Bodenreibungswinkel

Indizes

a	Einwirkung
b	Abzweigrohr (bei T-Verbindungen)
c	Mantel
d	Auslegung
fat	Ermüdung
i	Innen, Innenseite
j	Referenz
m	Durchschnitt, Membran, Werkstoff
min	Minimum
n	Nominal, Anzahl (von Ermüdungszyklen)
o	Aussen, Aussenseite
r	Hauptrohr (bei T-Verbindungen)
res	Resultierend
u	Bruch
v	Vertikal

Anhänge A, B und C enthalten separate Symbolübersichten.

4 Definitionen

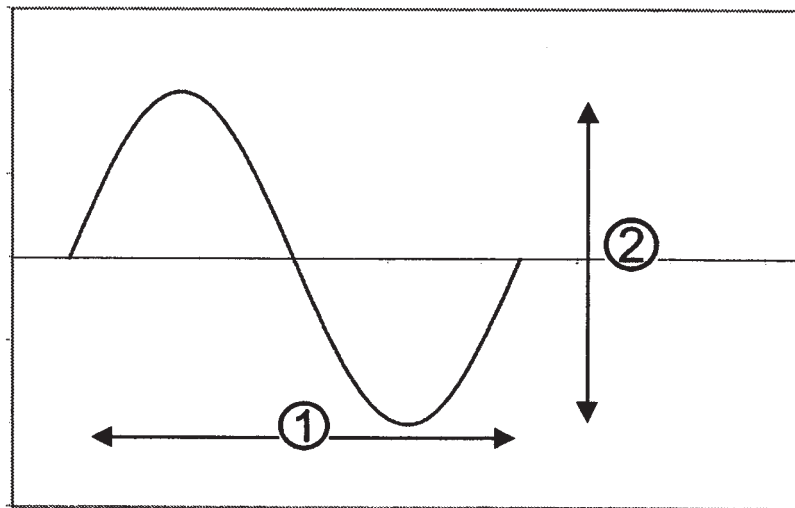
Siehe auch EN 253.

Belastung

Eine Belastung ist ein Satz konzentrierter oder verteilter Kräfte auf das Rohrsystem (kraftbedingte Belastungen) oder die Ursache gezwungener Verformungen im System (verformungsbedingte Belastungen). Belastungen werden häufig "Einwirkungen" genannt.

Belastungszyklus

Ein Belastungszyklus ist die Belastung bei gegebener Spannungsschwingbreite. Ein Belastungszyklus umfaßt einen vollen Belastungsverlauf (d.h. das Zweifache der Belastungsgröße auf der Grundlage eines Durchschnittswerts).



1 ein Belastungszyklus
2 Temperatur- oder Spannungsbereich

Bild 1: Belastungszyklus

Verbundsystem

Ein System bestehend aus Mediumrohr, Dämmstoff und Mantelrohr, wobei der Verbund durch den Dämmstoff gesichert wird.

Kaltverlegte, werksmäßig gedämmte Rohre

Fernwärmerohre, die ohne vorhergehende Vorspannung durch Vorwärmung verlegt und in Betrieb genommen worden sind.

Kriechen

Dehnungszunahme in einem Werkstoff, verursacht durch Spannungen im Laufe der Zeit.

Auslegungsdruck

Der auf eine Komponente oder eine Rohrstrecke einwirkende Innendruck multipliziert mit einem bestimmten Sicherheitsfaktor.

Anwendungsregel:

Der Auslegungsdruck muß in diesem Punkt der Rohrleitung gleich oder größer sein als der maximale Betriebsdruck.

Auslegungstemperatur

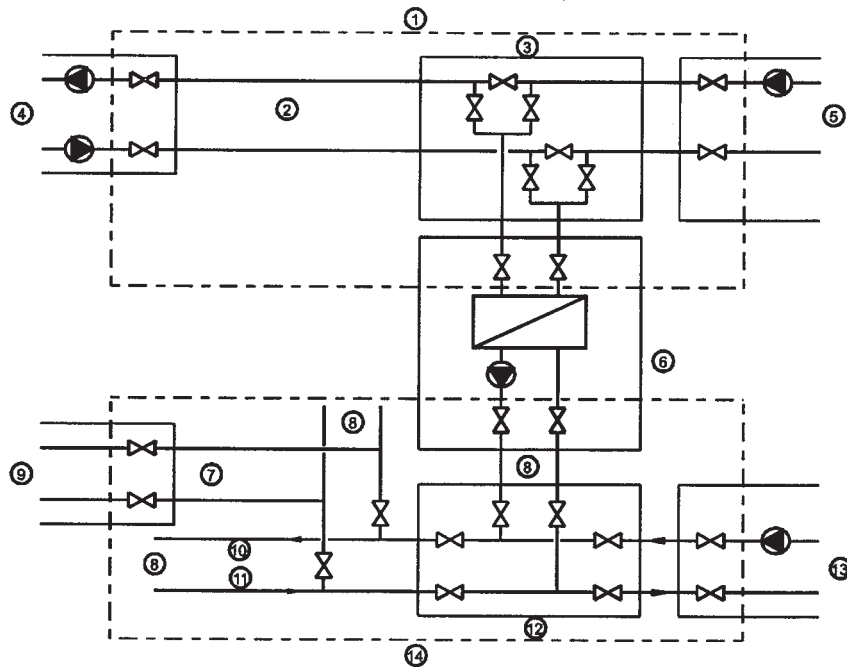
Die höchste, für die Auslegung einer Komponente oder einer Rohrstrecke angewandte Temperatur.

Verformungsbedingte Belastung

Belastung, die von erzwungenen Verformungen oder Bewegungen, z.B. thermischer Ausdehnung oder Setzungen, verursacht wird.

Verteilungsleitungen

Leitungen von der Produktionsstätte bzw. Übertragungsleitungen zur Verbraucherstelle. Verteilungsleitungen umfassen vornehmlich Haupt- und Stichleitungen (siehe Bild 2).



- 1: Transportsystem
- 2: Transportleitung
- 3: Armaturenschacht
- 4: Pumpstation
- 5: Wärmeerzeugung
- 6: Wärmeaustauscher
- 7: Hausanschlussleitung
- 8: Hauptleitung
- 9: Verbraucher
- 10: Vorlaufleitung
- 11: Rücklaufleitung
- 12: Armaturenschacht
- 13: Wärmeerzeugung
- 14: Verteilungssystem

Bild 2: Verteilungs- und Transportsysteme

Dehnbare Werkstoffe

Werkstoffe, die annäherungsweise bis zur Fließspannung oder bis zu 0,2% der Dehngrenze linear elastisch sind, und die eine Bruchdehnung von mindestens 14% aufweisen.

Ermüdungsfestigkeit

Die Spannungsschwingbreite einer konstanten Größe, die unter den gegebenen Bedingungen gerade ein Ermüdungsversagen verursacht.

Kraftbedingte Belastung

Belastung, die unabhängig von der Verformung des Bauwerks, z.B. Druck und Gewicht, ihre Größe bewahrt.

Stichleitung

Leitung von der Hauptleitung zu einer Verbrauchereinrichtung (siehe Bild.2).

Verlegetemperatur

Die Temperatur, die sich aus den umgebenden Bedingungen oder aus den Bedingungen während der Montage oder Verlegung ergibt, und die zum Zeitpunkt der Belastung vorherrscht, die ganz oder teilweise die Verschiebung oder Verformung der Rohrleitung hindert, wie z.B. Verfüllung des Rohrgrabens, Ausführung einer Verbindungsschweißung, Anschluß der Rohrleitung an Festpunktelemente oder Vorspannung der Rohrleitung.

Hauptleitung

Leitung zur Versorgung mehrerer Heizungsanlagen. (siehe Bild.2).

Anzahl voller Belastungszyklen

Die Anzahl von Belastungszyklen bei einer konstanten Schwingbreite, auf der Grundlage einer bekannten oder vorausgesetzten, geschichtlichen Temperaturentwicklung durch die Palmgren-Miners Formel und der gleichen SN-Kurve berechnet, die in der nachfolgenden Ermüdungsanalyse benutzt wird.

Betriebsdruck

Der höchste vorkommende Innendruck, der bei einer gegebenen Betriebstemperatur auf einen beliebigen Punkt der Rohrwand oder auf eine beliebige Strecke der Rohrleitung einwirkt, und der erforderlich ist, um eine gegebene Strömungsgeschwindigkeit der Flüssigkeit bei der in der gegebenen Rohrstrecke bestehenden Temperatur zu erlangen oder aufrechtzuerhalten.

Anwendungsregel:

Dies ist im allgemeinen der Innendruck, der erforderlich ist, um die statische Wärme, die Reibungsverluste und den Verdichtungsdruck zu berücksichtigen.

Betriebstemperatur

Die zu einem bestimmten Zeitpunkt in Grad Celsius ausgedrückte Temperatur der Flüssigkeit in einer Komponente oder Rohrstrecke bei den vorgeschriebenen Betriebsbedingungen.

Vorgewärmte Systeme

Systeme, die zwischen dem Zeitpunkt der Montage und dem Zeitpunkt des Verfüllens auf eine Vorwärmtemperatur erhitzt werden, die es dem System erlaubt, sich ohne zusätzliche Spannungen auszudehnen. Wenn keine Kompensation erfolgt, können solche Systeme als Folge der Temperaturänderungen im System selbstvorgespannt werden.

Werksmäßig gedämmte Systeme

Bauseitig montierte Systeme aus vorgefertigten Rohrelementen und Komponenten mit eingebautem Schutzmantel, Dämmung und Mediumrohr.

Druck

Über- oder Unterdruck im Verhältnis zum normalen Atmosphärendruck. Sofern nichts anderes angegeben ist, entspricht der Druck dem Manometerdruck.

Vorspannungsdruck

Der Druck, der während der Vorspannung eines vorgewärmten Systems angebracht wird.

Anwendungsregel:

Die Vorwärmtemperatur wird so gewählt, daß eine annähernde Durchschnittsspannung erzielt wird, verglichen mit den axialen Spannungen bei Umgebungstemperatur und maximaler Betriebstemperatur.

Referenzspannung

Die Referenzspannung ist die nach Trescas oder von Mises Formeln (mit Vorzeichen) aus der Membranspannung oder der resultierenden Spannung berechnete Spannung.

Resultierende Spannungen

Resultierende Spannungen sind alle in einem Punkt auftretenden Spannungen, z.B. Membranspannungen zuzüglich solcher Spannungen, die über der Wanddicke variieren.

Betriebslebensdauer

Der Zeitraum, in dem erwartet wird, daß das Leitungsnetz ohne wesentlichen Austausch von Teilen funktioniert, unter Voraussetzung normaler Instandhaltung und Betriebsverhältnisse wie im Projekt beschrieben.

Mediumrohr

Leitung, in der das erhitzte Wasser transportiert wird.

Dehnung

Einheitsverformung, z.B. Verlängerung oder Kürzung der Längeneinheit.

Spannungsschwingbreite

Differenz zwischen Maximal- und Minimalspannung bei einem einzigen Belastungszyklus, wenn die Spannung mit Vorzeichen berechnet wird (siehe Bild 1).

Druckstoß (Wasserschlag)

Druckunterschied während eines relativ kurzen Zeitraums, der als Folge einer Änderung der Strömungsgeschwindigkeit des Wassers entsteht. Die Änderung kann entstehen infolge eines Ventilschlusses, Pumpenausfalls, Überkochen, Schlag von Gegenventilen, Blockierungen, Leitungsbruch usw.

System

Komplette Rohranlage einschließlich Verbindungen, Abzweigen, Zubehör usw. und angrenzender Rohrleitungen.

Temperaturbereich

Der absolute Wert des Unterschiedes zwischen den beiden Temperaturextremen, die während eines Belastungszyklus vorkommen, wobei die betrieblichen und umweltbezogenen Einflüsse berücksichtigt werden. (Siehe Bild 1).

Prüfdruck

Der Innendruck, der während der Festigkeitsprüfung (Festigkeitsprüfdruck) oder der Dichtheitsprüfung (Dichtheitsprüfdruck) in der Rohrleitung oder in einem Teil der Rohrleitung entsteht.

Übertragungsleitungen

Hauptrohrleitungen von der Produktionsstätte zu den Verteilungsleitungen. (siehe Bild 2).

Armaturen und Zubehör

Überwachungs-, Bedienungs- und Sicherheitsausrüstung, die direkt an einer Fernwärmeleitung angebracht ist.

5 Allgemeine Betrachtungen für die Systemauslegung

5.1 Allgemeine Anforderungen

Die Konstruktion und Installation von Fernwärme Rohrleitungen sichert folgende Systemeigenschaften

- ausreichende Dauerhaftigkeit, Widerstandsfähigkeit und Zuverlässigkeit bei normalem Betrieb bezüglich der inneren und äußeren Belastungen und Auswirkungen, die auftreten können,
- ausreichende Sicherheit, damit ungewöhnliche Betriebsbedingungen oder Unfälle Personen oder die Umwelt nicht gefährden,
- gute Energiewirtschaftlichkeit,
- gute Betriebseigenschaften,
- gesicherte Versorgung.

Anwendungsregel:

Installationskosten, Wartungskosten und Betriebskosten, die während der gesamten Lebensdauer des Systems entstehen, sollten in der Systembewertung berücksichtigt werden.

Die Bewertung der Betriebseigenschaften sollte die Kontroll- und Wartungsmöglichkeiten berücksichtigen.

5.2 Betriebslebensdauer

Diese Norm bezieht sich auf werksmäßig gedämmte Verbundmantelrohrkonstruktionen für Dauerbetrieb mit Warmwasser bei unterschiedlichen Temperaturen bis 120°C und gelegentlich mit Spitzentemperaturen bis 140°C

Wenn ein in Übereinstimmung mit dieser Norm ausgelegtes System Temperaturen über 120°C so lange ausgesetzt wird, daß die Anforderung für eine Lebensdauer, nach EN 253, Anhang B kalkuliert, 30 Jahre übertrifft, muß die Lebensdauer der Komponenten bezüglich Altern bewertet werden.

Anwendungsregel:

Die Mindestanforderung für Typenprüfung der EN 253 (basierend auf der Scherfestigkeit zwischen PUR-Schaum und Stahlrohr) ist eine Betriebsdauer von 30 Jahren Dauerbetrieb bei 120°C.

Wenn das kumulative Altern eine Lebensdauer jenseits einer entsprechenden Dauer von 30 Jahren bei 120°C anzeigt, wird eine Sonderdokumentation der Alterungseigenschaften benötigt.

5.3 Voruntersuchungen

Voruntersuchungen zu einer Bewertung aller wichtigen Bedingungen für ein Fernwärmeprojekt sind durchzuführen.

Diese Voruntersuchungen werden Aspekte der Planungs-, Auslegungs-, Ausführungs- und Betriebsphasen, sowie Konsequenzen eines eventuellen jedoch zu vermeidenden Netzversagens beinhalten.

Das übergeordnete Ziel der Voruntersuchung ist die Beschaffung aller Hauptdaten für das jeweilige System, z.B.

- Funktion,
- Betriebsdruck und Betriebstemperatur,
- Dimensionen,
- Verlegetiefe,
- Werkstoffe,

- Abstände zu und Wärmeübergang an andere Netze, Gebäude und Bäume,
- Geotechnische- und Grundwasserparameter usw.

Anwendungsregel:

Die Voruntersuchungen können eine Durchleuchtung der folgenden Aspekte beinhalten:

- Trassenverlauf,
- Betriebsbedingungen des Systems, z.B. Druck- und Temperaturunterschiede und Anforderungen an die Versorgungssicherheit,
- Funktionsmodus des Systemes während Betriebs und Wartungsphasen, sowie Widerstandsfähigkeit gegen mögliche Einwirkungen z.B.:
 - Belastungen bedingt durch Verlegung und Betrieb,
 - innere und äußere Belastungen und Verformungen,
- Konsequenzen eventuellen Netzversagens,
- Anforderungen der Behörden, Umweltschutzmaßnahmen und Anforderungen Dritter,
- Ausführungsmethoden.

5.4 Bestimmung der Projektklasse

5.4.1 Risikobewertung

Mögliche Vorfälle, die Personen, die Gesellschaft oder die Umwelt gefährden können sind zu bewerten.

Anwendungsregel:

Bei der Bewertung eines möglichen Risikos, sollten die Wahrscheinlichkeit eines Fehlers und die Auswirkungen eines Fehlers in Betracht gezogen werden.

Die **Auswirkungen eines Fehlers** in einem Fernwärmesystem auf die Umgebung sind von der Temperatur, Druck und Durchmesser der Rohrleitung abhängig.

Die **Wahrscheinlichkeit eines Fehlers** basiert auf inneren und äußeren Faktoren sowie auf der Qualität der Konstruktion, Verlegung und des Betriebs.

Mögliche Risiken sind:

- das Entweichen von Warmwasser als Folge von Rohrleitungsbruch oder Undichtheit, die Verbrühung, Überschwemmung, Tunnelbildung usw. verursachen können,
- Beschädigung der Anlage, mit Unterbrechung der Wärmeversorgung,
- Beschädigung der Anlage, mit Risiko einer Ausbreitung des Schadens im System,
- Verlust der Versorgungssicherheit.

Die Folgen eines Fehlers können das ganze System, oder nur einen Systemabschnitt betreffen.

Die Projektklasse bestimmt die Ebene für die Auslegung und Verlegung der Rohrleitung..

5.4.2 Projektklassen

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

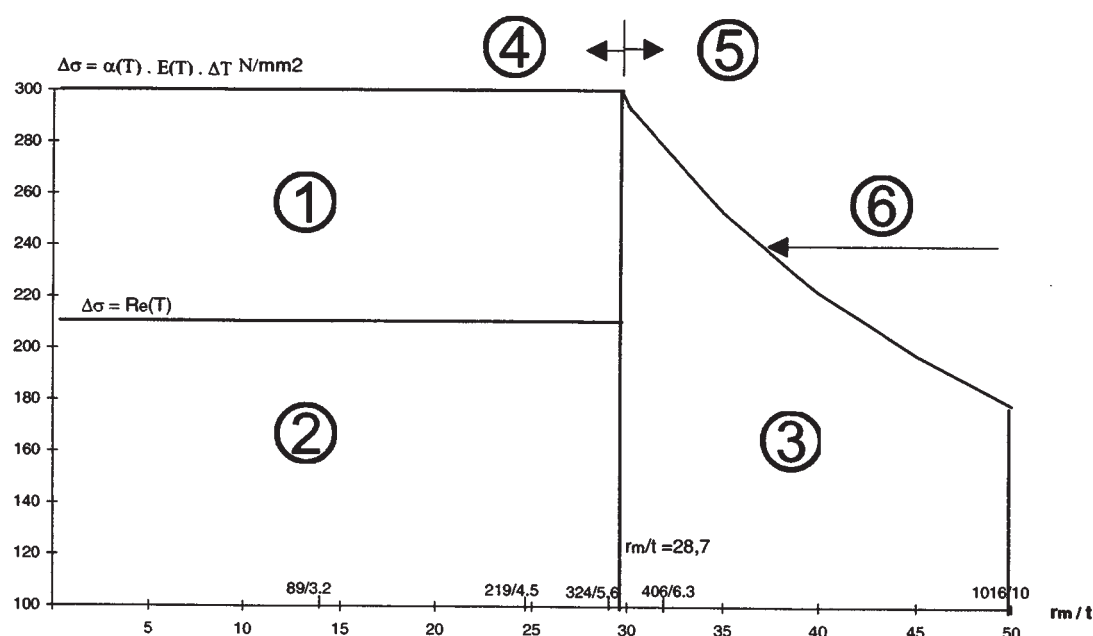
Basierend auf Voruntersuchungen und Risikobewertung wird das Rohrsystem in eine der folgenden Klassen eingestuft:

Projektklasse A	– Rohre kleinen oder mittleren Durchmessers mit niedrigen axialen Spannungen – Rohre, die nur ein geringes Risiko des Personen- oder Umweltschadens darstellen – Rohre, die nur ein geringes Risiko wirtschaftlichen Verlustes darstellen
Projektklasse B	– Große axiale Spannungen, Rohre kleinen oder mittleren Durchmessers
Projektklasse C	– Rohre großen Durchmessers und/oder mit hohem Druck – Rohre, die ein größeres Risiko des Personen- oder Umweltschadens darstellen – Spezielle oder komplexe Konstruktionen

Systemteile, die nicht unmittelbar unter Druck stehen, deren Versagen aber einen Leitungsbruch oder eine Undichtheit in einem unter Druck stehenden Rohrabschnitt verursachen könnte, werden der gleichen Klasse wie der unter Druck stehende Abschnitt zugeteilt.

Rohrleitungen, die während des Betriebs zugänglich sind, werden als Minimum der Projektklasse B zugeteilt.

Basierend auf den zu erwartenden Auswirkungen, werden die Projektklassen A, B und C mittels Bild 3. festgelegt:



- 1: Projektklasse B. Schweißnahtkontrolle 10%. $\gamma_{fat} = 6,67$ (Ermüdungsanalyse)
- 2: Projektklasse A. Schweißnahtkontrolle 5%. $\gamma_{fat} = 5$ (Ermüdungsanalyse)
- 3: Projektklasse C. Schweißnahtkontrolle 20%. $\gamma_{fat} = 10$ (Ermüdungsanalyse)
- 4: Generelle Dokumentation
- 5: Spezielle Dokumentation
- 6: Grenze der Kaltverlegung TW 360

Bild 3: Projektklassen (Schweißnahtkontrolle siehe 8.5.8, allgemeine Dokumentation siehe 7.2)

Anwendungsregel:

Bezüglich der Projektklasse müssen folgende Aspekte berücksichtigt werden:

- Dokumentationsanforderungen,
- Bestimmung von γ_{fat} in Palmgren-Miners Formel,
- Schweißanforderungen,
- Kontrollumfang der Schweißnähte,
- Qualitätssicherung und Kontrollumfang.

Eine Anlage kann immer in eine höhere Projektklasse eingestuft werden als in Bild. 3 beschrieben.

Systeme der Projektklassen A und B mit Betriebsdruck $p > 25$ bar werden in Projektklasse B beziehungsweise C behandelt.

Anwendungsregel:

Folgende Bedingungen können die Wahl einer höheren Projektklasse erfordern:

- Systemauslegung und Komplexität,
- Boden- und Grundwasserbedingungen,
- Verkehrsbedingungen,
- Lage in Verhältnis zu anderen Strukturen und Versorgungsnetzen,
- Erfahrungen mit ähnlichen Anlagen,
- Neue Methoden,
- Lage der Rohrleitung und Möglichkeiten der Instandhaltung und des Austausches.

5.5 Projektdokumentation

Jede Rohrinstallation wird auf der Grundlage von Projektdokumentation, die ausreichend detailliert ist, um die Ausführung in der beabsichtigten Qualität zu gewährleisten durchgeführt.

Wenn die Installation während der Ausführung geändert wird, wird das Projektmaterial auch entsprechend geändert.

Allgemeine Projektdokumentation in allen Klassen umfasst:

- Allgemeine Betriebsdaten,
- Rohrleitungsdaten,
- Festlegungen für die Qualitätssicherung.

5.5.1 Allgemeine und Betriebsdaten

Betriebsdaten:

- Auslegungslbensdauer, Auslegungsdruck und Auslegungstemperatur,
- Anzahl der Betriebstemperatur- und Druckzyklen und deren Dauer während des Betriebslebens der Rohrleitung (geschätztes Rohrleitungsbetriebsmuster während der technischen Lebensdauer).

Anwendungsregel:

Die entsprechenden Werte für Sommer- und Winterbedingungen, sowie die erwartete Anzahl voller Zyklen sollten angegeben werden..

5.5.2 Rohrleitungsdaten

Daten bezüglich Verlegeort, Werkstoffe und Sondermaßnahmen.

a) Daten bezüglich Rohrleitungstrasse.

Die Zeichnungen müssen sämtliche Informationen enthalten, die für eine sichere und zuverlässige Konstruktion erforderlich sind, wie:

- eine Karte der geplanten Trasse,
- Längenprofil,
- die Lage der Rohrleitung in Verhältnis zu anderen Strukturen, einschließlich quer- oder parallelverlaufender Rohrleitungen oder Kabel, Gebäude oder anderer Hindernisse,

- Lage von horizontalen und vertikalen Bögen, T-Stücken und Reduzierstücken, Mantelrohren, Festpunkten, Betonkanälen, usw.,
- Informationen über Tiefbauarbeiten und Sonderkonstruktionen

Anwendungsregel:

Obengenannte Daten können wie folgt bereitgestellt werden:

- Eine geographische Karte mit, falls erforderlich, eine Angabe des Gebiets, das in den einzelnen Trassenkarten behandelt wird,
- Trassenkarten oder ähnliche Zeichnungen,
- Detailkarten und Zeichnungen von Standardstrukturen mit Angabe der entsprechenden Trassenkarte(n) und mit sämtlichen Informationen, die für die Bewertung der Konstruktion und der Installation benötigt werden.

Die folgenden Zeichnungen können benötigt werden:

- Zeichnungen von Rohrleitungselementen, Festpunkten, Mänteln usw.,
- Isometrische Berechnungszeichnungen für Sonderstrukturen,
- Entfernungen zwischen dem Rohr und Gebäuden (Vermessungsentfernung) und Projektklasse auf einer getrennten Liste oder Trassenkarte,
- Zeichnungen von Pfahlstrukturen (Pfahlplan).

b) Daten bezüglich Rohrleitungsdimensionen:

- Außendurchmesser und Toleranzen,
- Nennwandstärke und Toleranzen,
- relevante Daten über Formstücke, einschließlich Krümmungsradien und anderer Informationen über Einbauelemente (Reduzierstücke, T-Stücke, usw.),
- eventuelle Korrosionszulagen,
- Daten über Strebe- und Stützstrukturen, welche eine Wirkung auf die Verteilung der auf das Mediumrohr einwirkenden Kräfte ausüben.

c) Werkstoffdaten:

- Werkstoffspezifikationen und -zertifikate.

d) Verlegungsdaten:

Informationen können über u.a. folgende Aspekte, erforderlich sein:

- angewandte Vorspannung, die behandelte Stelle und Methoden der Vorspannung,
- kleine Winkelabweichungen und zulässige elastische Krümmungsradien in der Rohrleitung, dauerhafte und vorläufige,
- Prüfdruck,
- Verlegetemperatur.

e) Bauzeichnungen:

- Eintragung des Standortes.

Anwendungsregel:

Ein Installationsplan sollte Punkte a) bis d) beinhalten.

5.5.3 Anforderungen an die Qualitätssicherung

Anwendungsregel:

Ein Qualitätssicherungsplan sollte für jedes Projekt erarbeitet werden.

Die Qualitätssicherung kann, zum Beispiel, in fünf Stufen eingeteilt werden:

- Beschaffung,
- Auslegung,
- Verlegung und Genehmigung,
- Inbetriebnahme,
- Betriebsphase.

Ein Qualitätssystem sollte für jede Stufe der folgenden Bereiche gesichert sein:

- Leitung und Organisation der Qualitätssicherung,
- Leitung und Organisation der Kontrolle.

Folgendes wird empfohlen:

- Vergleich des Projektentwurfes mit den vorgeschriebenen Zielen und den Bedingungen des beabsichtigten Betreibes,
- Konstruktionsprüfung,
- Prüfung der werkmäßig gedämmten Komponenten,
- Prüfung jeder Ausführungsphase, mit Beachtung der Konstruktionsdetails,
- Anfordern der in dem Qualitätssicherungsplan angegebenen Kontrollen, Prüfungen und Zertifikate für die verwendeten Werkstoffe vor Inbetriebnahme der Anlage.

Während jeder Phase der Ausführung sollten Lieferant, Hersteller und Eigentümer die komplette Dokumentation aktualisieren:

- Beschreibung der Werkstoffe,
- Qualitätssicherungsplan,
- Auslegungsprotokoll,
- Inbetriebnahmebericht,
- Wartungsunterlagen,
- Prüfbescheinigungen für die Werkstoffe, Werkszeugnisse, Schweißprüfungen usw., wie im Qualitätsplan vorgesehen,
- Abnahmeprotokoll.

6 Komponenten und Werkstoffe

6.1 Grundanforderungen an die Rohrwerkstoffe

Werkmäßig gedämmte Verbundrohrsysteme für die Fernwärme, mit einem Verbundrohrsystem von Stahlmediumrohr, Polyurethan-Wärmedämmung und einem Polyethylenaußenmantel hoher Rohdichte, sollten mindestens den allgemeinen Werkstoffanforderungen der folgenden Normen entsprechen:

EN 253, Fernwärmerohre, Werkmäßig gedämmte Verbundmantelrohrsysteme für erdverlegte Fernwärmenetze. Verbund-Rohrsystem bestehend aus Stahl-Mediumrohr, Polyurethan-Wärmedämmung und Außenmantel aus Polyethylen

EN 448, Fernwärmerohre, Werkmäßig gedämmte Verbundmantelrohrsysteme für erdverlegte Fernwärmenetze.

Verbund-Formstücke, bestehend aus Stahl-Mediumrohr, Polyurethan-Wärmedämmung und Außenmantel aus Polyethylen

EN 488, Fernwärmerohre, Werkmäßig gedämmte Verbundmantelrohrsysteme für erdverlegte Fernwärmenetze. Vordämmte Absperrarmaturen für Stahlmediumrohre mit Polyurethan-Wärmedämmung und Außenmantel aus Polyethylen

EN 489, Fernwärmerohre, Werkmäßig gedämmte Verbundmantelrohrsysteme für erdverlegte Fernwärmenetze.

Rohrsysteme für Stahlmediumrohre mit Polyurethan-Wärmedämmung und Außenmantel aus Polyethylen

Alle Werkstoffe, die für die einwandfreie Funktion des Systems von Bedeutung sind, müssen stabile Eigenschaften während der Betriebslebensdauer des Systems bewahren, in Bezug auf Temperaturen und andere Einwirkungsmöglichkeiten. Ermüdung, Kriechen und Alterung sind in diesem Zusammenhang zu berücksichtigen.

Bei der Auslegung des Systems werden Kennwerte der Komponenten für die Berechnung berücksichtigt, die während der gesamten Betriebslebensdauer des Systems gelten.

Anwendungsregel:

Eigenschaften, welche die Betriebslebensdauer des Systems nicht direkt beeinflussen, wie Wärmeleitfähigkeit, sollten mit gewichteten Durchschnittswerten berechnet werden..

6.1.1 Nicht-genormte Komponenten

Wenn die für die Verteilung des Fernwärme-Wärmeträgermediums eingesetzten werksmäßig gedämmte Rohre, Komponenten und Verbindungen nicht Gegenstand der obengenannten Normen sind, werden die erforderlichen Anforderungen für Werkstoffeigenschaften, Festigkeit und Dauerhaftigkeit auf der Basis von anderen entsprechenden Europäischen Normen belegt, oder es muß auf andere Weise nachgewiesen werden, daß die Eigenschaften und das System den Funktionsanforderungen dieser Norm während der gesamten technischen Lebensdauer des Systems entsprechend genügen.

Nicht-genormte Komponenten erfüllen die Anforderungen der genormten Komponenten, wo erforderlich.

6.2 Stahlrohr und Rohrkomponenten

6.2.1 Allgemeines

Dieser Abschnitt umfasst folgende Stahlrohrkomponenten:

- gerades Rohr,
- Bögen,
- T-Stücke und Abzweigungen,
- Reduzierstücke und Verlängerungen,
- andere Stahlkomponenten, wie Wanddurchführungen und Einmalkompensatoren.

6.2.2 Werkzeugeugnisse

Alle Stahlmediumrohre und Komponenten, die für die Herstellung von Verbundrohrsystemen nach dieser Norm verwendet werden müssen mindestens ein 3.1.B Zertifikat nach EN 10204 aufweisen.

Der Hersteller muss die Dokumentation der Zertifikate aufbewahren.

6.2.3 Kennwerte für Stahl bei erhöhten Temperaturen

Als Werkstoffe für Stahlmediumrohre werden entweder Schweißrohre nach ISO 9330-1 oder ISO 9330-2, oder nahtlose Rohre nach ISO 9329-1 oder ISO 9329-2 verwendet.

Anwendungsregel:

Güteklassen TW360 und TW500 sollten bevorzugt werden. Alternativ können gleichwertige europäische oder nationale Normen verwendet werden. Es wird auf die Werkstoffe der Gruppe 1 nach Anhang B von EN 288-3 hingewiesen.

Festlegung der Mindestwerte für die Streckgrenze

Die Spannungswerte für die Streckgrenze bei Auslegungstemperatur richten sich nach der spezifischen Mindeststreckgrenze oder nach dem 0,2 %-Spannungswert der Spannungs-Dehnungskurve bei erhöhter Temperatur für die entsprechenden Werkstoffe. Diese für den Lieferzustand vorgeschriebenen spezifischen Mindestwerte können für Auslegungszwecke verwendet werden, wenn nicht auf Grund vorhergehender Wärmebehandlungsmaßnahmen niedrigere Werteanzusetzen sind. In solchen Fällen wird der zu verwendende Wert von den entsprechenden Vertragsparteien vereinbart.

Der spezifische Spannungswert für die Streckgrenze bei einer Temperatur von 20°C für Stahlsorten kann auch für Temperaturen $\leq 50^\circ\text{C}$ angesetzt werden. Im Falle von Temperaturen zwischen 50°C und einer entsprechend höheren Temperatur darf linear interpoliert werden.

Zusätzliche bei erhöhten Temperaturen durchgeführte Prüfungen zur Festlegung der Streckgrenze für eine spezifische Werkstofflieferung können zu einem höheren Festigkeitskennwert bei erhöhten Temperaturen, verglichen mit den in der entsprechenden Norm festgelegten Werten, führen.

Wenn ein Stahlmediumrohr oder eine Rohrkomponente ohne das erforderliche Zertifikat nach 6.2.2 geliefert werden, wird der spezifische Mindestfestigkeitswert durch einen zusätzlichen Sicherheitsfaktor dividiert:

$\gamma_{m,yield} = 1,2$. (Dieser Faktor wird mit dem Teilfestigkeitskennwert des Grundwerkstoffes nach 7.4.2 multipliziert)

Stahlsorten ohne Kennwert für die Streckgrenze

In Fällen in denen Werkstoffnormen für unlegierte und schwachlegierte Stahlsorten keinen spezifischen Wert für die Streckgrenze festlegen, wird folgende Formel verwendet:

$$R_{p0.2} = R_m \frac{720 - T}{1400}; \text{ für } 50^{\circ}\text{C} \leq T \leq 140^{\circ}\text{C}$$

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

Anwendungsregel:

Die folgenden Formeln sollten für schweißbaren Stahl mit Temperaturen bis 140°C angewandt werden:

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

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

Für einfache Konstruktion und Temperaturen bis 100°C kann der Wert des Produktes $E \cdot \alpha$ als gleich 2.52 N/mm²/K bewertet werden.

6.2.4 Spezifische Anforderungen für Rohrbögen und T-Stücke

Werksmäßig gedämmte Bögen und T-Stücke müssen EN 448 entsprechen.

Der Einsatz von Rohrbögen, die aus geraden Rohrstücken hergestellt werden, ist nicht erlaubt.

Rohrbögen und T-Stücke werden üblicherweise aus einem Stahl mit gleicher (oder höherer) Streckgrenze als die dazugehörigen geraden Rohre hergestellt.

Bei der Montage eines Bogens oder eines T-Stückes in ein Rohrsystem, darf die Nennwanddicke des Bogens oder des T-Stückes an den Schweißenden nicht weniger als die Nennwanddicke der dazugehörigen geraden Rohren betragen.

Abzweige dürfen nur angeschweißt werden. Die Einschweißung von Abzweigen ist nicht erlaubt (siehe Bild 4).

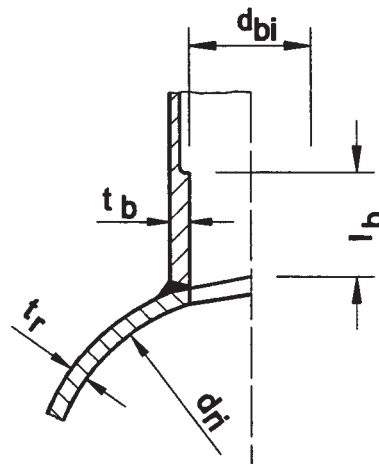


Bild 4: Angeschweißter Abzweig

T-Stücke dürfen durch die Erhöhung der Wandicke des Mediumrohres und/oder des Abzweigrohres, oder durch Ausgleichsplatten, verstärkt werden um dem Innendruck, Biegemomenten und der axialen Druckspannung nach Anhang A standzuhalten.

Extrudierte T-Stücke

Extrudierte T-Stücke sind geschweißte T-Stücke nach EN 448, wobei ein Kragenflansch gezogen wird, und worauf das Abzweigrohr dann geschweißt wird.

Anwendungsregel:

Bei extrudierten T-Stücken für Projektklasse C sollte die Nennauslegungsspannung im Allgemeinen auf 90% von σ_d in Abschnitt 7.2.2 reduziert werden.

Werksmäßig gefertigte T-Stücke

Werksmäßig gefertigte T-Stücke werden hergestellt, indem ein Abzweigrohr direkt auf ein Mediumrohr geschweißt wird.

Ausgleichsplatten

Die Verstärkung der T-Stücke mittels Ausgleichsplatten in Projektklasse C wird auf Durchmesser Verhältnis von $d_{ob}/d_{or} \leq 0,8$ beschränkt, wobei d_{ob} und d_{or} der Außendurchmesser des Abzweigs beziehungsweise des Mediumrohres sind.

6.2.5 Spezifische Anforderungen für Reduzierstücke und Verlängerungen

Als Reduzierstücke werden genormte Komponenten nach Abschnitt 4.1.5 von EN 448 verwendet. Der Werkstoff des Reduzierstückes muss die gleiche oder eine höhere Festigkeit als die dazugehörigen geraden Rohren aufweisen.

Anhang A legt die zusätzlichen Anforderungen für nicht-genormte Komponenten fest.

Anwendungsregel:

Alternativ zu ISO 3419 darf eine gleichwertige europäische oder nationale Norm verwendet werden.

6.2.6 Spezifische Anforderungen für andere Komponenten

Andere Komponenten wie Wanddurchführungen und Einzelkompensatoren werden als nicht-genormte Komponenten betrachtet, die den Bedingungen des Abschnittes 6.1.1 unterliegen.

6.3 Polyurethan-Wärmedämmung

6.3.1. Allgemeines

Die Wärmedämmung muss den Anforderungen von EN 253 entsprechen.

Anwendungsregel:

Die Auswahl der Dämmdicke darf die Betriebswirtschaftlichkeit und die technischen Bedingungen berücksichtigen. Die folgenden Faktoren sollten betrachtet werden:

- Rohrdimensionen,
- Temperatur,
- Verlegekosten, Preis der Wärmeverluste zwischen Heizanlage und Verbraucherstation,
- Kondensationsrisiko,
- Nähe von Stromkabeln oder von anderen wärmeempfindlichen Versorgungsnetzen,
- Anforderungen an die Oberflächentemperatur und Umweltseinwirkungen,
- Anforderungen an die maximale Umgebungstemperatur in Heizzentralen usw.

Bei den Berechnungen der Wärmeverluste sollte der Durchschnittswert λ für die gesamte Betriebslebensdauer des Rohrleitungssystems verwendet werden.

6.3.2 Kennwerte für PUR-Schaum

Anwendungsregel:

Elastizitätsmodul: $E_{PUR} = 6,5 \text{ Mpa}$ (langfristig bei 140°C)
 $E_{PUR} = 10,0 \text{ Mpa}$ (bei 23°C)

6.4 Polyethylen(PE)-Mantel

Die Anforderungen an den PE-Mantel und an die Schweißung des PE-Mantels sind in EN 253, 448 und 489 aufgeführt.

6.5 Dehnpolster

6.5.1 Allgemeine Anforderungen

Die Werkstoffe, die für Dehnpolster verwendet werden, müssen die benötigte Flexibilität aufweisen, chemisch stabil sein und die erforderliche Festigkeit während der gesamten Betriebslebensdauer des Rohrleitungssystems für den Auslegungstemperaturbereich aufweisen.

Die Dicke des Dehnpolsters wird so ausgewählt, daß die Oberflächentemperatur am PE-Mantel 50°C nicht übersteigt.

Der Dehnpolstertyp sollte vorzugsweise nach der Rohrverschiebung das Wiederverdichten durch das Sandauffüllen des Grabens verhindern.

6.5.2. Kennwerte für Dehnpolster

Elastizitätsmodul als Funktion des Druckprozents (Sekantenmodul) wird basierend auf Untersuchungen vom Hersteller festgelegt.

Anwendungsregel:

Wenn man von einachsigen Prüfungen ausgeht, sollte beachtet werden, daß die Dehnpolster in der Praxis aufgrund der Poissonschen Zahl etwa die zweifache Festigkeit haben.

6.6 Armaturen und Komponenten, Allgemeine Anforderungen

Werksmäßig gedämmte Armaturen müssen EN 488 entsprechen.

Die verwendeten Werkstoffe und die Herstellungsmethoden erlauben die Erfüllung der Auslegungsbedingungen für die gesamte Betriebslebensdauer

Ventile und Komponenten werden so ausgelegt, daß sie den Betriebsbedingungen und Außeneinwirkungen nach den entsprechenden Abschnitten und Anhängen dieser Norm standhalten können. Es soll besonders beachtet werden, daß die hohen axialen Druckkräfte in eingespannten Rohrleitungsteilen aufgenommen werden können.

Werksmäßig gedämmte Armaturen für die Erdverlegung werden so ausgelegt, daß sie so wenig Wartung wie möglich erfordern.

Alle werksmäßig gedämmten Komponenten müssen vollgeschweißt sein.

6.7 Kennzeichnung und Zertifikate

Armaturen und Zubehör müssen klar und dauerhaft gekennzeichnet sein, damit Hersteller, Druckklasse (wenn nötig), Auslegungstemperatur usw. festgestellt werden können.

Anwendungsregel:

Jede vorgefertigte Komponente, die Teil eines Fernwärmerohrleitungssystems ist, sollte mit einer Kennzeichnung versehen sein woraus ersichtlich ist, für welche Bedingungen die Komponente ausgelegt und hergestellt worden ist.

Diese Kennzeichnung muss folgende Auslegungsdaten enthalten:

- Werkstoff und Gütegrad,
- max. Betriebsdruck,
- max. axiale Spannung für gerade Rohrteile oder maximale axiale Kraft,
- max. Biegemoment (für Armaturen, Einmalkompensatoren),
- Verlegungsmethode:
 - A: Herkömmliche Installationsmethoden (z.B. Vorwärmung, Einzelkompensatoren).
 - B: Kaltverlegung.

In seinen Unterlagen muss der Hersteller die entsprechende Dokumentation aufbewahren, damit ein Nachweis, daß die Komponenten nach dieser Norm ausgelegt sind jederzeit möglich ist.

7 Belastungen und Grenzzustände

7.1 Allgemeines

Für Konstruktion und Berechnung muss eine ausreichende Dokumentation bereitgestellt werden um nachzuweisen, daß das Rohrleitungssystem allen entsprechenden Belastungen standhalten kann, und die Sicherheits- und Funktionsanforderungen während der gesamten Betriebslebensdauer erfüllt werden können.

Anwendungsregel:

Für die Auslegung und Berechnung eines gegebenen Rohrnetzes kann das in Bild 5 dargestellte Verfahren angewendet werden. Es besteht aus folgenden Phasen:

- Phase I Auswertung der Konstruktionsdaten.
- Phase II Klassifizierung der Aktionen.
- Phase III Unterteilung der Rohrleitung entlang der vorgeschlagenen Trasse in Abschnitte für die Spannungsanalyse.
- Phase IV Festlegung der Projektklasse und Optionen für die vereinfachte Analyse.
- Phase V Auswahl der möglichen Belastungskombinationen.
- Phase VI Berechnung der Grenzzustände (und der zu verwendenden Sicherheitsfaktoren).
- Phase VII Bestimmung der Querschnittskräfte und Verschiebungen aufgrund der berechneten Aktionskombinationen.
- Phase VIII Berechnungen der Spannungen (und/oder Dehnungen).
- Phase IX Auswahl der Bewertungskriterien (Grenzzustände und dazugehörige Grenzwerte).

Folgende Faktoren bestimmen die Tiefe der Analyse für jeden der obengenannten Schritte:

- die Komplexität des Rohrleitungssystems in dem jeweiligen Abschnitt,
- die physikalischen Rohrparameter,
- die Projektklasse.

Bei den Auslegungsverfahren geht man davon aus, daß dehnbare Werkstoffe für das System verwendet werden, und daß ein elastisch-plastisches Werkstoffmodell benutzt wird. Bei den Ermüdungsberechnungen wird eine lineare Kennlinie für das Spannungs-/Dehnungsverhältnis verwendet, auch für Spannungen, die über der Streckgrenze liegen.

Alternativ kann ein plastisches Werkstoffmodell verwendet werden. Die Berechnung muß in diesem Fall auf einem elastisch-plastischen Spannungs-/Dehnungsverhältnis des Werkstoffes basieren.

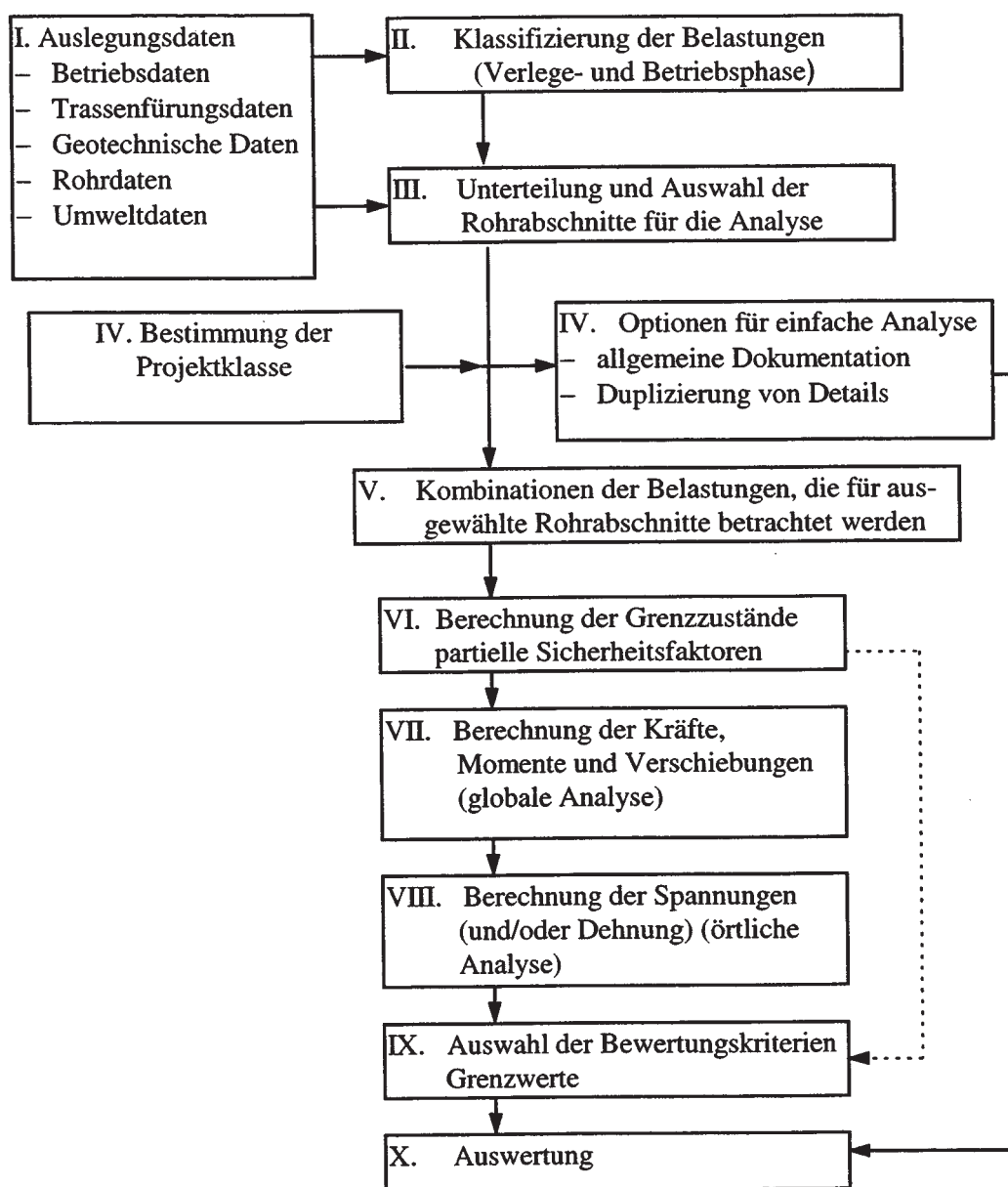


Bild 5: Ablaufdiagramm für die Auslegung eines Fernwärmenetzes

7.2 Vereinfachtes Analysenverfahren

In Projektklassen A und B können die Verlegung und die Berechnung auf der Basis von dokumentierten allgemeinen Berechnungsmethoden und Anweisungen vorgenommen werden, vorausgesetzt daß diese mit den Anforderungen dieser Norm übereinstimmen, und die Voraussetzungen der entsprechenden örtlichen Bedingungen (Druck, Temperatur, Verkehrsgegebenheiten usw.) erfüllt werden.

Anwendungsregel:

Eine allgemeine Dokumentation können z.B. Werksnormen und Herstellerangaben sein, vorausgesetzt, der Hersteller hat bei Werksnormen und Angaben für Übereinstimmung mit der Norm gesorgt.

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

Anwendungsregel: Das Ermüdungsverhalten sollte immer anhand einer festgelegten gleichen Anzahl voller Temperaturzyklen für das betrachtete Rohrleitungssystem überprüft werden.

7.3 Belastungen

7.3.1 Allgemeines

Belastungen sollten so festgelegt werden, daß die verwendeten Berechnungsmodelle ausreichende Ergebnisse liefern, die eine Abschätzung zulassen, ob die Installation die gegebenen Funktionsanforderungen erfüllen kann.

Anwendungsregel:

Der typische Wert einer variablen Belastung wird grundsätzlich als der Wert definiert, der - mit einer Wahrscheinlichkeit von 95% - nicht überschritten wird.

Die Eigenlast darf, in den meisten Fällen, auf der Basis der Nenndimensionen und der durchschnittlichen Einheitsmassen berechnet werden.

Für die Bewertung von Belastungen und der möglichen Kombinationen von Belastungen, müssen die Verlege- und Betriebsphasen und eine mögliche zukünftige Änderung des Verwendungszweckes der gegenwärtigen Installation und der Umgebung berücksichtigt werden.

Anwendungsregel:

Die Installationsphase umfaßt Transport, Handhabung, Schweißen, Montage, Verfüllen des Rohrgrabens, Prüfung und Inbetriebnahme (hierbei ist zu beachten, daß während der Installationsphase auftretende Belastungen, während der Betriebsphase noch andauern können, z.B. Vorspannung).

Die Betriebsphase umfaßt die Situation nach Fertigstellung der Installation, gleichgültig ob die Rohrleitung in Betrieb ist oder nicht.

Berechnete Belastungen werden durch Multiplizieren der Kennwerte mit dem (oder Dividieren durch den) partiellen Sicherheitsfaktor, γ_a , ermittelt.

Anwendungsregel:

Der Sicherheitsfaktor ist die erforderliche Sicherheitsspanne zwischen einer gegebenen Belastung und dem (oder den) damit verbundenen Grenzzustand (Grenzzuständen).

Der Wert des partiellen Sicherheitsfaktors kann von der Genauigkeit der Bestimmung der Belastungen abhängen.

7.3.2 Klassifizierung der Belastungen

Die Belastungen und die partiellen Sicherheitsfaktoren, die bei der Auslegung berücksichtigt werden sollen, sind in Tabelle 1 dargestellt.

Die Belastungen können wie folgt eingeteilt werden

- kraftbedingte Belastungen und
- verformungsbedingte Belastungen.

Anwendungsregel:

Eine kraftbedingte Belastung bewahrt ihre Größe unabhängig von der Strukturverformung, z.B. durch Druck und Gewicht.

Eine verformungsbedingte Belastung ist eine aufgeprägte Verformung oder Bewegung, z.B. Wärmeausdehnung oder Setzungen des Rohres.

Tabelle 1: Klassifizierung von Belastungen und partiellen Sicherheitskoeffizienten

KRAFTBEDINGTE AKTIONEN	PARTIELLE SICHERHEITS-FAKTOREN γ_a
DRUCK - Betriebsdruck - Schubdruck - Außendruck - Inneres Vakuum - Prüfdruck	1,2 1,2 1,05 1,2 1,0
STÄNDIGE BELASTUNGEN Eigenlast - Rohrelemente - Wasser - Zusatzelemente (Ventile, usw.) - Auftrieb - neutraler/passiver Erddruck - Setzungen *)	1,0 1,0 1,0 1,2 1,0 - 1,5 **)
VARIABLE BELASTUNGEN - Verkehr - Wind - Schnee	1,0 - 1,5 **)
VERFORMUNGSBEDINGTE AKTIONEN	
TEMPERATUR VARIATIONEN Variationen während des Betriebs - Start/Stopzyklen - laterale Bodenreaktionen - Reibung zwischen Boden und Rohr	1,0
STÄNDIGE BELASTUNGEN - Vorspannung thermisch, elektrisch, mechanisch - Setzungen *) - Verformungen während Verlegung	1,0 1,5 1,0 1,0

*) Wenn nicht angenommen werden darf, daß das Rohr den Setzungenbewegungen des Bodens folgt, sollte das Gewicht des Erdreichs als eine kraftbedingte Belastung betrachtet werden.

**) Abhängig von der Norm, die für diese Belastungen herangezogen wird.

7.4 Grenzzustände

7.4.1 Allgemeines

Rohrleitungen für Fernwärmesysteme müssen derart ausgelegt und gebaut werden, daß die Wahrscheinlichkeit der Überschreitung eines Grenzzustands durch Belastung oder eines Betriebsgrenzzustands während der geplanten Betriebslebensdauer ausreichend gering ist.

Anwendungsregel:

Die im Folgenden beschriebene Methode ist eine von vielen Möglichkeiten zu überprüfen, dass die funktionellen Anforderungen erfüllt sind.

Die Auslegungsbelastungen für die zu berechnenden Spannungen, Dehnungen und Verformungen dürfen nicht bewirken, dass die entsprechenden Auslegungswerte der Rohrwerkstoffe überschritten werden.

Die erforderliche Sicherheitsspanne zwischen "Betriebszustand" der Rohrleitung und dem Grenzzustand wird mit den Begriffen "Kennwert", "partieller Sicherheitsfaktor" und "berechnete Belastung" angegeben.

Anwendungsregel:

Die (dauerhaften) Unsicherheiten, die durch die partiellen Sicherheitsfaktoren behoben werden sollen sind, unter anderen:

- die Möglichkeit, daß die Belastung den Kennwert übersteigt,
- die Möglichkeit, daß die tatsächlichen Werte für die Stabilität der Rohrleitungen niedriger als die verwendeten Kennwerte sind,
- Abweichungen von den physikalischen Gegebenheiten, aufgrund des für die Untersuchung gewählten Berechnungsmodells.

Grenzzustände durch Belastung sind solche, die mit einem Bruch oder anderen Formen des Versagens der Konstruktion verbunden sind:

- Versagen durch plastische Verformung (Grenzzustand A),
- Bruch durch (erhöhten- und niedrigen Zyklus) Ermüdung (Grenzzustand B),
- Instabilität des Rohrleitungssystems oder eines Teiles davon (Grenzzustand C),
- Undichtheit (durch andere Faktoren verursacht, z.B. Korrosion oder durch Drittpersonen verursachte Schäden), die die Sicherheit beeinträchtigen kann.

Betriebsgrenzzustände sind solche Zustände, bei denen die vorgeschriebenen Betriebskriterien nicht mehr eingehalten werden:

- Verformungen oder Verbiegungen, die den effektiven Einsatz oder die Wartung des Rohrleitungssystems beeinträchtigen oder Schäden an Oberflächen oder Komponenten, die nicht Teil des Rohrleitungssystems sind - montierte Geräte und/oder angegliederte Konstruktionen usw. - verursachen. (Grenzzustand D).

7.4.2 Grenzzustände für Stahlrohre

Für Stahlrohre sind die folgenden Grenzzustände von den Grenzzuständen durch Belastung und Betriebsgrenzzuständen abgeleitet:

Grenzzustand A: Versagen durch plastische Verformung

Grenzzustand A1: Grenzzustand der Tragfähigkeit, bewirkt durch eine hohe Einzellast.
(Lasttragfähigkeit)

Grenzzustand A2: Grenzzustand der Tragfähigkeit, bewirkt durch eine Reihenlast (schrittweise plastische Verformung)

Für Belastungen werden die partiellen Sicherheitsfaktoren γ_a nach Tabelle 1 angewendet.

Grenzzustand A1: Grenzzustand der Tragfähigkeit, bewirkt durch eine hohe Einzellast (Lasttragfähigkeit)

Ein Spannungsgleichgewicht ist ein Spannungsfeld, das erforderlich ist, um die Gleichgewichtsgleichung für kraftbedingte Belastungen zu erfüllen.

Die entsprechende Spannungsintensität an jedem Punkt der Struktur darf nicht größer sein als der typische Werkstoffparameter dividiert durch den partiellen Sicherheitsfaktor.

Die Installation, einschließlich Armaturen und Zusatzelemente, wird für eine einzelne erhöhte Einwirkung der ungünstigsten Kombination von kraftbedingten Belastungen untersucht.

Anwendungsregel:

Die Belastungskombinationen umfassen Betriebszustand sowie Zustand während der Druckprüfung.

In einigen Sonderfällen müssen die axialen Kräfte von verformungsbedingten Belastungen bei der Berechnung des Gleichgewichtszustandes mitberücksichtigt werden (z.B. freitragende Rohre mit hohen axialen Kräften aufgrund der Vorspannung oder Vorwärmung).