

AD 2000-Merkblatt

ICS 23.020.30

Ausgabe September 2016

Herstellung und Prüfung von Rohrleitungen	Bauvorschriften Rohrleitungen aus metallischen Werkstoffen	AD 2000-Merkblatt HP 100 R korrigierte Fassung 06.2017
--	---	---

Die AD 2000-Merkblätter werden von den in der „Arbeitsgemeinschaft Druckbehälter“ (AD) zusammenarbeitenden, nachstehend genannten sieben Verbänden aufgestellt. Aufbau und Anwendung des AD 2000-Regelwerkes sowie die Verfahrensrichtlinien regelt das AD 2000-Merkblatt G 1.

Die AD 2000-Merkblätter enthalten sicherheitstechnische Anforderungen, die für normale Betriebsverhältnisse zu stellen sind. Sind über das normale Maß hinausgehende Beanspruchungen beim Betrieb der Druckbehälter zu erwarten, so ist diesen durch Erfüllung besonderer Anforderungen Rechnung zu tragen.

Wird von den Forderungen dieses AD 2000-Merkblattes abgewichen, muss nachweisbar sein, dass der sicherheitstechnische Maßstab dieses Regelwerkes auf andere Weise eingehalten ist, z. B. durch Werkstoffprüfungen, Versuche, Spannungsanalyse, Betriebserfahrungen.

FDBR e. V. Fachverband Anlagenbau, Düsseldorf

Deutsche Gesetzliche Unfallversicherung (DGUV), Berlin

Verband der Chemischen Industrie e. V. (VCI), Frankfurt/Main

Verband Deutscher Maschinen- und Anlagenbau e. V. (VDMA), Fachgemeinschaft Verfahrenstechnische Maschinen und Apparate, Frankfurt/Main

Stahlinstitut VDEh, Düsseldorf

VGB PowerTech e. V., Essen

Verband der TÜV e. V. (VdTÜV), Berlin

Die AD 2000-Merkblätter werden durch die Verbände laufend dem Fortschritt der Technik angepasst. Anregungen hierzu sind zu richten an den Herausgeber:

Verband der TÜV e. V., Friedrichstraße 136, 10117 Berlin.

Inhalt

	Seite
0 Präambel	2
1 Geltungsbereich.....	2
2 Begriffe	2
3 Allgemeines	2
4 Anforderungen an Hersteller.....	3
5 Anforderungen an Werkstoffe	3
6 Berechnung	7
7 Herstellung und Verlegung	8
8 Äußerer Korrosionsschutz	12
9 Vermeidung von Gefahren infolge elektrostatischer Aufladungen	12
10 Sicherheitstechnische Ausrüstungsteile.....	12
11 Kennzeichnung	13
Anlage 1 zu AD 2000-Merkblatt HP 100 R.....	14
Anlage 2 zu AD 2000-Merkblatt HP 100 R.....	15
Anlage 3 zu AD 2000-Merkblatt HP 100 R.....	22

Ersatz für Ausgabe November 2007; | = Änderungen gegenüber der vorangehenden Ausgabe; | = Korrektur

Die AD 2000-Merkblätter sind urheberrechtlich geschützt. Die Nutzungsrechte, insbesondere die der Übersetzung, des Nachdrucks, der Entnahme von Abbildungen, die Wiedergabe auf fotomechanischem Wege und die Speicherung in Datenverarbeitungsanlagen, bleiben, auch bei auszugsweiser Verwertung, dem Urheber vorbehalten.

0 Präambel

Zur Erfüllung der wesentlichen Sicherheitsanforderungen der Druckgeräterichtlinie kann das AD 2000-Regelwerk angewandt werden, vornehmlich für die Konformitätsbewertung nach den Modulen „G“ und „B (Baumuster) + F“.

Das AD 2000-Regelwerk folgt einem in sich geschlossenen Auslegungskonzept. Die Anwendung anderer technischer Regeln nach dem Stand der Technik zur Lösung von Teilproblemen setzt die Beachtung des Gesamtkonzeptes voraus.

Bei anderen Modulen der Druckgeräterichtlinie oder für andere Rechtsgebiete kann das AD 2000-Regelwerk sinngemäß angewandt werden. Die Prüfständigkeit richtet sich nach den Vorgaben des jeweiligen Rechtsgebietes.

1 Geltungsbereich

Dieses AD 2000-Merkblatt gilt für die Berechnung, die Konstruktion, den Werkstoff, die Herstellung, die Prüfung und die Verlegung von Rohrleitungen nach Druckgeräterichtlinie aus metallischen Werkstoffen.

Die Entwurfsprüfung für Rohrleitungen (soweit erforderlich) sowie deren Schluss- und Druckprüfung sind nach AD 2000-Merkblatt HP 512 R durchzuführen.

2 Begriffe

2.1 Rohrleitungen sind zur Durchleitung von Fluiden bestimmte Leitungsbauteile, die für den Einbau in ein Drucksystem miteinander verbunden sind. Zu Rohrleitungen zählen insbesondere Rohre oder Rohrsysteme, Rohrformteile, Ausrüstungsteile¹⁾, Ausdehnungsstücke, Schlauchleitungen oder ggf. andere druckhaltende Teile. Wärmetauscher aus Rohren zum Kühlen oder Erhitzen von Luft sind Rohrleitungen gleichgestellt.

2.2 Ein Rohrleitungssystem kann als eine einzige Rohrleitung betrachtet werden, wenn

- es von Fluiden gleicher Gruppe und gleichem Aggregatzustand durchströmt ist und
- es über die ganze Ausdehnung für den gleichen maximal zulässigen Druck vorgesehen ist.

Unterbrechungen durch verschiedene Anlageteile, wie Pumpen, Maschinen, Behälter etc., stehen einer Zusammenfassung zu einer einzigen Rohrleitung nicht entgegen.

2.3 Oberirdische Rohrleitungen sind solche, die in Räumen oder im Freien ohne Erd- oder Sanddeckung verlegt sind. Dazu zählen auch solche Rohrleitungen, die in nicht verfüllten Gräben oder Kanälen verlegt sind.

Erdgedeckte Rohrleitungen sind solche, die ganz oder teilweise mit Erde oder Sand bedeckt sind.

3 Allgemeines

Rohrleitungen müssen so beschaffen sein, dass sie den auf Grund der vorgesehenen Betriebsweise zu erwartenden mechanischen, chemischen und thermischen Beanspruchungen sicher genügen und dicht bleiben. Vibrationen der Rohrleitungen sind zu berücksichtigen. Rohrleitungen müssen insbesondere

- (1) so ausgeführt sein, dass sie den maximal zulässigen Druck und die zulässige minimale/maximale Temperatur sicher aufnehmen,
- (2) aus Werkstoffen hergestellt sein, die
 - a) die am fertigen Bauteil erforderlichen mechanischen Eigenschaften haben,
 - b) von dem Beschickungsgut (Fluid) nicht in gefährlicher Weise angegriffen werden und mit diesem keine gefährlichen Verbindungen eingehen, sofern die Werkstoffe dem Beschickungsgut ausgesetzt sind²⁾,
 - c) korrosionsbeständig oder gegen Korrosion geschützt sind, sofern sie korrosiven Einflüssen unterliegen; unter korrosiven Einflüssen sind hier nur von außen einwirkende Einflüsse zu verstehen,
- (3) mit den für einen sicheren Betrieb erforderlichen Einrichtungen ausgerüstet sein, die ihrer Aufgabe sicher genügen.

-
- 1) Sofern Ausrüstungsteile selbst Druckgeräte (Ausrüstungsteile mit Sicherheitsfunktion, druckhaltende Ausrüstungsteile) sind, müssen diese Ausrüstungsteile einer gesonderten Konformitätsbewertung unterzogen werden und mit einer CE-Kennzeichnung versehen sein, wenn diese unter Anhang I der Druckgeräterichtlinie fallen.
 - 2) Die Möglichkeit von Schäden durch Turbulenzen oder Wirbelbildung ist gebührend zu berücksichtigen, z. B. durch Wanddickenzuschläge, durch die Verwendung von Auskleidung oder Beschichtung oder durch die Möglichkeit des Austausches der am stärksten betroffenen Teile.

4 Anforderungen an Hersteller

4.1 Anforderungen an Hersteller von Rohrleitungsteilen

Der Hersteller von Rohrleitungsteilen, wie Rohre, Formstücke, Flansche, Schrauben, Muttern, Armaturen oder deren Komponenten, muss

- über Einrichtungen für ein sachgemäßes Herstellen und Prüfen der Erzeugnisse verfügen; es können auch Einrichtungen anderer Stellen, die die Voraussetzungen erfüllen, in Anspruch genommen werden,
- über sachkundige Personen für das Herstellen und Prüfen der Erzeugnisse verfügen sowie eine Prüfaufsicht für die zerstörungsfreien Prüfungen haben, soweit solche in der Werkstoffspezifikation festgelegt sind,
- die Erzeugnisse nach einem geeigneten Verfahren herstellen und durch Güteüberwachung mit entsprechenden Aufzeichnungen die sachgemäße Herstellung der Erzeugnisse sowie die Einhaltung der in der Werkstoffspezifikation genannten Anforderungen sicherstellen.

Der Hersteller von Rohrleitungsteilen für Rohrleitungen der Kategorie II und III muss der zuständigen unabhängigen Stelle nachweisen, dass er o. g. Anforderungen erfüllt. Ferner muss er über ein dokumentiertes QM-System verfügen, sofern er Abnahmeprüfzeugnisse 3.1 nach DIN EN 10204 ausstellt. Bestehende QM-Systeme sind dabei zu berücksichtigen. Die Ergebnisse der Überprüfung sind durch die zuständige unabhängige Stelle zu bestätigen. Die Bestätigung hat eine Gültigkeit von drei Jahren und verlängert sich ohne zusätzliche Prüfung, sofern sich die zuständige unabhängige Stelle mindestens einmal jährlich davon überzeugt, dass die werkstoffspezifischen Anforderungen erfüllt sind. Dies kann auch im Rahmen laufender Werkstoffabnahmeprüfungen durch die zuständige unabhängige Stelle erfolgen.

Hersteller von Rohrleitungsteilen für Rohrleitungen der Kategorie I können Abnahmeprüfzeugnisse 3.1 ausstellen, ohne über ein dokumentiertes Qualitätsmanagementsystem zu verfügen.

Die Anforderungen dieses Abschnittes gelten auch für die Hersteller von Vormaterial.

4.2 Anforderungen an Hersteller von Rohrleitungen

Die Hersteller von Rohrleitungen müssen über Einrichtungen verfügen, um die Rohrleitungsteile sachgemäß verarbeiten und die notwendigen Prüfungen durchführen zu können. Es können auch Einrichtungen anderer Stellen, die die Voraussetzungen erfüllen, in Anspruch genommen werden.

Die Hersteller müssen eigenes verantwortliches Aufsichtspersonal und für die Fertigung sachkundige Personen haben.

Der Hersteller von Rohrleitungen muss die schweißtechnischen Qualitätsanforderungen nach DIN EN ISO 3834-3 erfüllen. Kommt Fremdpersonal zum Einsatz, muss sich der Hersteller von dessen Sachkunde und der sachgerechten Herstellung überzeugen.

Werden Fertigungsarbeiten ganz oder teilweise anderen Unternehmen übertragen, müssen auch diese für die auszuführenden Arbeiten die Bedingungen nach diesem Abschnitt 4.2 erfüllen.

Die zuständige unabhängige Stelle überzeugt sich im Rahmen ihrer Prüftätigkeit von der Erfüllung der Anforderungen. Der Fertigungsablauf darf dabei nicht beeinträchtigt werden.

5 Anforderungen an Werkstoffe

Die nachfolgend aufgeführten Anforderungen dieses Abschnittes beziehen sich auf die wichtigsten drucktragenden Teile von Rohrleitungen.

Die AD 2000-Merkblätter werden laufend an den Stand der Normung angepasst. Die Verwendung von Werkstoffen, die nach früher gültigen Ausgaben des AD- bzw. AD 2000-Regelwerkes geliefert wurden und die Anforderungen dieses AD 2000-Merkblattes erfüllen, ist weiterhin zulässig.

5.1 Anforderungen bei tiefen Temperaturen

Bei Betriebstemperaturen sowie bei Umgebungstemperaturen des Beschickungsgutes unter -10 °C sind zusätzlich zu den Anforderungen der Abschnitte 5.2 bis 5.5 die Einsatzgrenzen des AD 2000-Merkblattes W 10 zu berücksichtigen.

Alternativ zu AD 2000-Merkblatt W 10 kann der Anhang B der DIN EN 13480-2 angewandt werden.

5.2 Anforderungen an Werkstoffe für Rohre

5.2.1 Werkstoffe

Die Anforderungen an die Werkstoffe nach Abschnitt 3 Ziffer 1 und Ziffer 2a) gelten insbesondere als erfüllt, wenn Rohre aus Werkstoffen nach den Abschnitten 5.2.1.1 bis 5.2.1.5 im Rahmen der in den Normen und soweit zutreffend in den AD 2000-Merkblättern der Reihe W angegebenen Grenzen bzw. in der Eignungsfeststellung (siehe Abschnitt 5.2.1.5) angegebenen Anwendungsbereiche verwendet und ihre Güteeigenschaften nach Abschnitt 5.2.4 nachgewiesen werden.

5.2.1.1 Rohre aus unlegierten oder legierten Stählen:

- nahtlose Rohre nach DIN EN ISO 3183 (jedoch nur PSL 2-Rohre der Stahlsorten L245/B bis L485/X70 in den Lieferzuständen N, Q oder M, soweit zutreffend), DIN EN 10216-1 (ausgenommen die Güte TR 1), DIN EN 10216-2 (ausgenommen 8MoB5-4, 20MnNb6 und 20CrMoV13-5-5), DIN EN 10216-3, DIN EN 10216-4,
- geschweißte Rohre nach DIN EN ISO 3183 (jedoch nur PSL 2-Rohre der Stahlsorten L245/B bis L485/X70 in den Lieferzuständen N, Q oder M, soweit zutreffend), DIN EN 10217-1 (ausgenommen die Güte TR 1), DIN EN 10217-2, DIN EN 10217-3, DIN EN 10217-4, DIN EN 10217-5, DIN EN 10217-6.

5.2.1.2 Rohre aus nichtrostenden austenitischen Stählen nach DIN EN 10217-7, DIN EN 10216-5 und Stahl-Eisen-Werkstoffblatt SEW 400, soweit nicht in DIN EN 10216-5 enthalten.

5.2.1.3 Rohre aus Kupfer, nahtlos gezogen, nach DIN EN 12449, DIN EN 12451 und Installationsrohre aus Kupfer, nahtlos gezogen, nach DIN EN 1057 Werkstoff Cu-DHP, in den Festigkeitszuständen nach DIN EN 12449.

5.2.1.4 Rohre aus Aluminium nach DIN EN 754 und DIN EN 755.

5.2.1.5 Rohre aus sonstigen metallischen Werkstoffen, wenn ihre Eignung vor deren Verwendung festgestellt worden ist:

- für Rohrleitungen der Kategorien I und II durch den Hersteller der Rohrleitung,
- für Rohrleitungen der Kategorie III durch die zuständige unabhängige Stelle.

Die Feststellungen können anhand von Prüfungen oder Betriebsbewährungen getroffen werden.

Wenn die Eignung des Werkstoffes für Druckbehälter festgestellt ist, so gilt diese entsprechend.

5.2.2 Besondere Anforderungen an Rohre für geschweißte oder gelötete Rohrleitungen

5.2.2.1 Werkstoffe für Rohre, die für geschweißte oder gelötete Rohrleitungen verwendet werden, müssen auch den an die Verarbeitung, Löteignung oder Schweißeignung zu stellenden Anforderungen genügen.

5.2.2.2 Abschnitt 5.2.2.1 gilt bei den Werkstoffen nach den Abschnitten 5.2.1.1 bis 5.2.1.4 als erfüllt.

5.2.2.3 Sonstige metallische Werkstoffe dürfen für geschweißte oder gelötete Rohrleitungen verwendet werden, wenn auch deren Eignung nach Abschnitt 5.2.1.5 miteinbezogen worden ist.

5.2.3 Prüfung der Werkstoffe

5.2.3.1 Bei Werkstoffen nach den Abschnitten 5.2.1.1 bis 5.2.1.4 richtet sich der Prüfumfang bei Rohren

- für Rohrleitungen der Kategorie III nach den AD 2000-Merkblättern der Reihe W,
- für Rohrleitungen der Kategorien I und II nach den in den Abschnitten 5.2.1.1 bis 5.2.1.4 genannten Werkstoffnormen oder SEW 400.

5.2.3.2 Bei Werkstoffen nach Abschnitt 5.2.1.5 richtet sich der Prüfumfang nach den Festlegungen bei der Feststellung der Eignung.

5.2.4 Nachweis der Güteeigenschaften

5.2.4.1 Der Nachweis der Güteeigenschaften bei Rohren gemäß Abschnitt 5.2.1.1 bis 5.2.1.4 für:

- Rohrleitungen der Kategorie III ist gemäß der Einteilung in Tafel 1 zu erbringen. Falls der Nachweis der Güteeigenschaften gemäß den AD 2000-Merkblättern der Reihe W erfolgt, können bei Rohrleitungen im Einvernehmen mit der zuständigen unabhängigen Stelle die Anforderungen bezüglich Dokumentation und Kennzeichnung bei der Weiterverarbeitung unter sinngemäßer Anwendung der AD 2000-Merkblätter der Reihen HP und W festgelegt werden,
- Rohrleitungen der Kategorie II ist mit einem Abnahmeprüfzeugnis 3.1 nach DIN EN 10204 zu erbringen,
- Rohrleitungen der Kategorie I ist mindestens mit einem Werkszeugnis 2.2 nach DIN EN 10204 zu erbringen.

Bei Rohren mit einem Durchmesser bis DN 100 genügt die Inbezugnahme der Gütenachweise in der Dokumentation oder als Gütenachweis die dauerhafte Kennzeichnung mit Werkstoffsorte und Herstellerzeichen.

5.2.4.2 Der Nachweis der Güteeigenschaften für Rohre nach Abschnitt 5.2.1.5 ist entsprechend den Festlegungen in der Feststellung der Eignung zu erbringen.

5.3 Anforderungen an metallische Werkstoffe für Formstücke

Wenn beim Versagen eines Formstückes eine Gefährdung eintreten kann, sind Formstücke aus zähem Werkstoff zu verwenden. In solchen Fällen können jedoch bei Drücken bis 10 bar und Temperaturen bis 200 °C Formstücke aus Gusseisen mit Lamellengraphit verwendet werden, wenn das Formstück gegenüber der auftretenden Beanspruchung überdimensioniert ist. Dies gilt in der Regel als erfüllt, wenn bei der Berechnung des Formstückes der Sicherheitsbeiwert um den Faktor 1,5 erhöht wird.

Bei Gasen in flüssigem Zustand ist für das Formstück zäher Werkstoff zu verwenden.

Als zähe Werkstoffe gelten die Werkstoffe nach den Abschnitten 5.3.1.1 bis 5.3.1.3, wenn die in den dort erwähnten DIN-Normen festgelegten Mindestanforderungen an die Bruchdehnung und an die Kerbschlagzähigkeit erfüllt sind. Ausgenommen sind Werkstoffe nach dem AD 2000-Merkblatt W 3/1.

In Abhängigkeit von den zu erwartenden betrieblichen Beanspruchungen können auch andere Werkstoffe als den besonderen Anforderungen an die Zähigkeit genügend bezeichnet werden, wenn ein Gutachten der zuständigen unabhängigen Stelle über die Verwendbarkeit vorliegt.

Tafel 1 — Art der Prüfbescheinigungen entsprechend Abschnitt 5.2.4.1 bei Rohren für Rohrleitungen der Kategorie III

Werkstoff	Prüfgruppe*)	Werkstoffuntergruppe*)	Art der Prüfbescheinigung nach DIN EN 10204
Stahl	1	1.1, 1.2	3.1
	2	1.3, 3.1	gemäß AD 2000 Reihe W
	3	4.1, 4.2	gemäß AD 2000 Reihe W
	4.1	5.1, 5.2	3.1
		5.3, 5.4	gemäß AD 2000 Reihe W
	4.2	6.1, 6.4	gemäß AD 2000 Reihe W
	5.1	1.1, 1.2, 9.1	3.1
	5.2	1.1	3.1
		1.3	gemäß AD 2000 Reihe W
	5.3	1.3	gemäß AD 2000 Reihe W
	5.4	9.2, 9.3	gemäß AD 2000 Reihe W
	6	8.1	3.1
		8.2	gemäß AD 2000 Reihe W
	7	8.1	3.1
		8.2	gemäß AD 2000 Reihe W
	8	10.1, 10.2	gemäß AD 2000 Reihe W
Aluminium und Aluminiumlegierungen	Al 1	21	gemäß AD 2000 Reihe W
	Al 2	EN AW-3003, EN AW-5754, EN AW-5083	3.1
		alle übrigen Al-Legierungen der Werkstoffgruppen 22.1, 22.3	gemäß AD 2000 Reihe W
	Al 3	23.1	gemäß AD 2000 Reihe W

*) Prüfgruppen und Werkstoffuntergruppen nach AD 2000-Merkblatt HP 0, Tafeln 1, 2 und 3

5.3.1 Werkstoffe

5.3.1.1 Die Anforderungen an die Werkstoffe nach Abschnitt 3.2 Ziffer 1 und Ziffer 2a) gelten insbesondere als erfüllt, wenn für:

- (1) Formstücke aus Rohren Werkstoffe nach Abschnitt 5.2,
- (2) Formstücke aus Blechen Werkstoffe nach AD 2000-Merkblättern W 1, W 2 und W 6/1,
- (3) Formstücke aus Stahlguss bzw. Gusseisen Werkstoffe nach AD 2000-Merkblättern W 3/2, W 3/3 bzw. W 5,
- (4) Formstücke aus Kupferwerkstoffen
 - Kapillarlötfittings nach DIN EN 1254-1
 - Rohrbogen aus Kupfer in Verbindung mit AD 2000-Merkblatt W 6/2 oder
- (5) geschmiedete Formstücke aus Werkstoffen nach AD 2000-Merkblatt W 2 und W 13 verwendet werden.

5.3.1.2 Für Formstücke aus Werkstoffen nach Abschnitt 5.3.1.1 Ziffer 1, 2, 4 und 5 sowie für Formstücke aus Stahlguss nach Abschnitt 5.3.1.1 Ziffer 3 gelten die Verarbeitbarkeit und Schweißseignung als nachgewiesen.

5.3.1.3 Formstücke aus sonstigen metallischen Werkstoffen, wenn ihre Eignung vor deren Verwendung festgestellt worden ist

- für Rohrleitungen der Kategorien I und II durch den Hersteller der Rohrleitung,
- für Rohrleitungen der Kategorie III durch die zuständige unabhängige Stelle.

Die Feststellungen können anhand von Prüfungen oder Betriebsbewährungen getroffen werden.

Wenn die Eignung des Werkstoffes für Druckbehälter festgestellt ist, so gilt diese entsprechend.

5.3.2 Prüfung der Formstücke

Formstücke für Rohrleitungen sind nach DIN EN 10253-2 und DIN EN 10253-4 zu prüfen. Sofern Herstellverfahren angewendet werden, die von den in DIN EN 10253-2 oder -4 genannten Verfahren abweichen, sind Prüfungen nach AD 2000-Merkblatt HP 8/3 Abschnitt 5.1.2 und 5.2 durchzuführen.

5.3.3 Nachweis der Güteeigenschaften

Für Formstücke aus Werkstoffen nach Abschnitt 5.3.1.1

- in Rohrleitungen der Kategorie III ist der Nachweis der Güteeigenschaften gemäß den Einteilungen in Tafel 1 dieses AD 2000-Merkblattes zu erbringen,
- in Rohrleitungen der Kategorie II ist ein Abnahmeprüfzeugnis 3.1 gemäß DIN EN 10204 zu erbringen,
- in Rohrleitungen der Kategorie I ist ein Werkszeugnis 2.2 nach DIN EN 10204 ausreichend. Bei Formstücken bis DN 100 genügt als Gütenachweis die Stempelung mit Werkstoff und Herstellerzeichen.

Der Nachweis der Güteeigenschaften für Formstücke aus Werkstoffen nach Abschnitt 5.3.1.3 ist entsprechend den Festlegungen in der Feststellung der Eignung zu erbringen.

5.4 Anforderungen an Werkstoffe für Flansche, Schrauben und Muttern

5.4.1 Werkstoffe und Prüfung

5.4.1.1 Die Anforderungen an die Werkstoffe und die Prüfung der Flansche, Schrauben und Muttern gelten als erfüllt, wenn

- für Rohrleitungen der Kategorie III die jeweils zutreffenden AD 2000-Merkblätter W 2, W 6/1, W 6/2, W 7, W 9 und W 13 eingehalten sind,
- für Rohrleitungen der Kategorien I und II die jeweils zutreffenden Normen DIN EN 1092-1 (Flansche aus Stahl), DIN EN 1092-4 (Flansche aus Aluminium), DIN EN 10269 (Vormaterial), DIN EN ISO 898-1 (Schrauben aus C-Stahl oder legierten Stählen), DIN EN ISO 898-2 (Muttern aus C-Stahl oder legierten Stählen), DIN EN ISO 3506-1 (Schrauben aus nichtrostenden Stählen) und DIN EN ISO 3506-2 (Muttern aus nichtrostenden Stählen) eingehalten sind.

5.4.1.2 Die Anforderungen an die Werkstoffe und die Prüfung der Flansche, Schrauben und Muttern aus anderen metallischen Werkstoffen gelten als erfüllt, wenn ihre Eignung vor deren Verwendung festgestellt worden ist

- für Rohrleitungen der Kategorien I und II durch den Hersteller der Rohrleitung,
- für Rohrleitungen der Kategorie III durch die zuständige unabhängige Stelle.

Die Feststellungen können anhand von Prüfungen oder Betriebsbewährungen getroffen werden.

Wenn die Eignung des Werkstoffes für Druckbehälter festgestellt ist, so gilt diese entsprechend.

5.4.2 Nachweis der Güteeigenschaften

Für die Nachweise der Güteeigenschaften gilt Abschnitt 5.3.3 sinngemäß, d. h.

- Flansche in Rohrleitungen der Kategorie III gemäß den Einteilungen in Tafel 1,
- Schrauben und Muttern in Rohrleitungen der Kategorie III unter Anwendung der AD 2000-Merkblätter der Reihe W. Als Ausnahme hiervon erfolgt der Nachweis für Schrauben aus 25CrMo4 mit Abnahmeprüfzeugnis 3.1 nach DIN EN 10204,
- Flansche, Schrauben und Muttern in Rohrleitungen der Kategorie II mit Abnahmeprüfzeugnis 3.1 gemäß DIN EN 10204,
- Flansche, Schrauben und Muttern in Rohrleitungen der Kategorie I durch eine Werksbescheinigung 2.2 gemäß DIN EN 10204.

5.5 Anforderungen an Werkstoffe für Armaturen

Die Anforderungen an Werkstoffe für Gehäuse von Armaturen nach Abschnitt 3 Ziffer 1 und Ziffer 2a) gelten insbesondere als erfüllt, wenn Gehäuse nach AD 2000-Merkblatt A 4 „Gehäuse von Ausrüstungsteilen“ verwendet werden.

5.6 Anforderungen an Werkstoffe für Schneid- und Klemmringverschraubungen

5.6.1 Für Schneidringverschraubungen nach DIN 2353 sind Werkstoffe nach DIN 3859-1 und DIN EN ISO 8434-1 zulässig.

Der Nachweis der Güteeigenschaften der einzelnen Bauteile muss mindestens mit Werkszeugnis 2.2 nach DIN EN 10204 erfolgen.

Der Hersteller der Verschraubung hat durch eine Kennzeichnung zu bestätigen, dass die Verschraubung der DIN 2353 bzw. DIN EN ISO 8434-1 entspricht und die geforderten Werkstoffnachweise vorliegen. Die Kennzeichnung muss folgende Angaben enthalten:

- Herstellerkennzeichen
- Baureihe (Angabe entsprechend DIN 2353 bzw. DIN EN ISO 8434-1)
- Werkstoffgruppe, sofern nach DIN 3859-1 bzw. DIN EN ISO 8434-1 Cu, Cu-Legierungen oder nichtrostender Stahl verwendet wird.

5.6.2 Für andere Schneidringverschraubungen und für Klemmringverschraubungen ist die Eignung der Werkstoffe im Rahmen einer Bauteilprüfung nachzuweisen (siehe hierzu auch Abschnitt 7.4.1).

Bei Rohrleitungen der Kategorien I und II kann der Nachweis der Eignung der Werkstoffe durch den Hersteller erfolgen.

6 Berechnung

6.1 Allgemeines

Rohre, Formstücke und andere Bauteile sind gegen Innendruck, ggf. Außendruck und Zusatzbelastungen, soweit diese die Auslegung der Rohrleitungen wesentlich beeinflussen, nach den allgemein anerkannten Regeln der Technik, z. B. DIN EN 13480-3, ASME B 31.3, zu berechnen.

Dabei werden alle maßgeblichen Belastungen, vgl. AD 2000-Merkblatt S 3/0, insbesondere unter Berücksichtigung von Innendruck, Massenkräften und Temperaturzwängungen zu Lastfällen kombiniert. Die überlagerten Beanspruchungen werden nach den in den allgemein anerkannten Regeln der Technik festgelegten Kriterien mit den zulässigen Werten verglichen.

Ist die Berechnung der Rohrleitung nicht oder nur mit einem nicht vertretbaren Aufwand möglich, kann die ausreichende Dimensionierung der Rohrleitung auch durch experimentelle Auslegungsmethoden belegt werden (nur zulässig für $PS \times DN \leq 3000$ bar nach Leitlinie 5/7).

Die nachfolgend aufgeführten Punkte gelten im Wesentlichen für nicht erdverlegte Rohrleitungen. Bei erdverlegten Rohrleitungen sind die erforderlichen Zusatzbetrachtungen, z. B. hinsichtlich Erdauflast, behindertes Dehnverhalten im Erdreich, Bergsenkungseinflüsse, im Einzelfall festzulegen.

6.2 Vereinfachte Vorgehensweise

Abweichend von Abschnitt 6.1 können die Beanspruchungen aus Innendruck, Massenkräften und Temperaturzwängungen vereinfacht jeweils unabhängig von den übrigen Belastungen nach den Abschnitten 6.2.1 bis 6.2.3 erfasst werden.

6.2.1 Berechnung der Rohre, Formstücke und anderer Bauteile gegen Innen- oder Außendruck

Der Nachweis für Beanspruchungen aus Innendruck erfolgt nach den allgemein anerkannten Regeln der Technik wie z. B. DIN EN 13480-3 und AD 2000-Merkblättern der Reihe B. Die Sicherheitsbeiwerte sind DIN EN 13480-3 bzw. AD 2000-Merkblatt B 0 zu entnehmen.

Für Armaturengehäuse gilt das AD 2000-Merkblatt A 4.

6.2.1.1 Rohre

Für Rohre gilt Abschnitt 6.2.1 als erfüllt, wenn das Wanddicken-Durchmesserverhältnis $(s_g - c_1 - c_2)/d_a$ bei $p \cdot S/K$ nach Anlage 1 mindestens eingehalten wird. Die Voraussetzungen von Anlage 1 sind dabei zu beachten.

6.2.1.2 Rohrbogen, Reduzierstücke, Kappen

Bei Rohrbogen und Reduzierstücken Typ B sowie Kappen nach DIN EN 10253-2 oder DIN EN 10253-4 ist eine Berechnung gegen Innendruck nicht erforderlich, wenn die Anschlusswanddicke der Formstücke entsprechend der erforderlichen Rohrwanddicke s_g nach Abschnitt 6.2.1 bzw. Abschnitt 6.2.1.1 gewählt wird.

Bei Rohrbogen und Reduzierstücken Typ A muss der maximal zulässige Druck entsprechend dem zulässigen Ausnutzungsgrad dieser Formstücke gegenüber dem geraden Rohr reduziert werden.

6.2.1.3 Formstücke

Bei Formstücken nach DIN EN 1254-1 und DIN EN 1254-4 ist eine Berechnung gegen Innendruck nicht erforderlich, wenn die in dieser Norm angegebenen Betriebsüberdrücke nicht überschritten werden.

Bei T-Stücken Typ B nach DIN EN 10253-2 oder DIN EN 10253-4 ist eine Berechnung gegen Innendruck nicht erforderlich, wenn die Anschlusswanddicke der Formstücke entsprechend der erforderlichen Rohrwanddicke s_e nach Abschnitt 6.2.1 bzw. Abschnitt 6.2.1.1 gewählt wird.

Bei T-Stücken Typ A nach DIN EN 10253-2 oder DIN EN 10253-4 muss der maximal zulässige Druck entsprechend dem zulässigen Ausnutzungsgrad dieser T-Stücke gegenüber dem geraden Rohr reduziert werden.

Bei 90°-Abzweigen und 45°-Abzweigen ist eine Berechnung nicht erforderlich, wenn das Wanddicken-Durchmesser-verhältnis $(s_e - c_1 - c_2)/d_a$ bei $p \cdot S/K$ mindestens eingehalten ist. Die Voraussetzungen von Anlage 1 sind dabei zu beachten.

6.2.2 Festlegung der zulässigen Stützweiten

Durch die Festlegung der zulässigen Stützweiten werden die Auswirkungen der Massenkräfte auf die Durchbiegung bzw. auf die Spannungen begrenzt, so dass eine getrennte Behandlung von Innendruck und Massenkräften möglich wird. Der Nachweis der Zulässigkeit der Stützweiten gilt als erbracht, wenn für die Stahlrohre die Stützweiten nach der Tabelle in Anlage 2 eingehalten und die Bedingungen in den Erläuterungen zur Festlegung der Stützweite beachtet werden. Für andere Parameter, z. B. andere Werkstoffe, kann die Tabelle Anlage 2 nach den in den Erläuterungen enthaltenen Angaben umgerechnet werden. Zulässige Stützweiten für Cu-Rohre können auch nach dem DKI-Informationsdruck Nr. i158³⁾ festgelegt werden.

6.2.3 Elastizitätskontrolle

6.2.3.1 Zur Sicherstellung einer ausreichenden Elastizität, z. B. bei behinderter Wärmedehnung der Rohrleitung oder bei der Wärmedehnung anschließender Behälter, muss ein Rohrleitungssystem über ausreichende Möglichkeiten der Biegeverformung oder Torsionsverformung verfügen. Dies wird im Regelfall durch entsprechende Verlegung erreicht.

6.2.3.2 Abweichend von Abschnitt 6.1 ist eine Berechnung der Elastizität nicht erforderlich, wenn die Schenkellängen den Bedingungen nach Anlage 3 genügen. Dabei wird vorausgesetzt, dass aufgrund der Verlegung die Torsionsspannungen von untergeordneter Bedeutung sind.

Die Elastizität von Cu-Rohren kann auch nach dem DKI-Informationsdruck Nr. i158³⁾ beurteilt werden.

Anlage 3 enthält Beispiele zur Elastizitätskontrolle und Erläuterungen.

7 Herstellung und Verlegung

7.1 Allgemeines

7.1.1 Beim Zusammenfügen einer Rohrleitung dürfen die einzelnen Rohre nicht unzulässig beansprucht oder verformt werden. Montageanweisungen sind zu beachten.

Dies gilt als erfüllt, wenn durch Kalt- oder Warmumformung, z. B. bei Richtarbeiten oder durch das Biegen der Rohre, die Güteeigenschaften des Werkstoffes nicht unzulässig beeinträchtigt und die einzelnen Rohre so zusammengefügt worden sind, dass Spannungen und Verformungen, die die Sicherheit der Rohrleitung beeinträchtigen können, ausgeschlossen sind.

7.1.2 Verbindungselemente zwischen einzelnen Rohren müssen so beschaffen sein, dass eine sichere Verbindung und technische Dichtheit gewährleistet sind. Die Anzahl der Flanschverbindungen ist möglichst gering zu halten.

Bei Rohrleitungen für Stoffe mit besonderem Gefahrenpotenzial, z. B. bei verflüssigten brennbaren Gasen, sind diese Forderungen erfüllt, wenn z. B. Flansche mit Nut und Feder oder Vor- und Rücksprung oder besonderen Dichtungen, wie metallarmierte oder Metalledichtungen, verwendet werden.

7.1.3 Die Übertragung der Kennzeichnung beim Zertrennen von Rohren ist eine Möglichkeit, mit der Werkstoffe während des gesamten Herstellungs- und Fertigungsprozesses identifiziert werden können. Eine Übertragung der Kennzeichnung ist jedoch nicht notwendig, wenn auf andere geeignete Weise nachgewiesen werden kann, dass die Werkstoffe von der Wareneingangsprüfung über den Herstellungs- und Verlegungsprozess bis zur Endabnahme der Rohrleitung identifiziert werden können.

7.2 Grundsätze für Schweißarbeiten

7.2.1 Die Schweißnähte an Rohrleitungen müssen unter Verwendung geeigneter Arbeitsmittel und Zusatzwerkstoffe ausgeführt und so hergestellt sein, dass eine einwandfreie Verschweißung gewährleistet ist und Eigenspannungen begrenzt bleiben.

3) Deutsches Kupferinstitut. Die fachgerechte Kupferrohr-Installation – Eigenschaften Verarbeitung Verwendung. DKI-i158-09/2012. 40474 Düsseldorf. www.kupferinstitut.de

7.2.2 Bei der Herstellung von geschweißten Rohrleitungen sind Schweißverfahren anzuwenden, die vom Hersteller nachweislich beherrscht werden und die die Gleichmäßigkeit der Schweißnähte gewährleisten. Der Nachweis ist für Rohrleitungen der Kategorien II und III der zuständigen unabhängigen Stelle durch eine entsprechende Schweißverfahrensprüfung unter sinngemäßer Anwendung von AD 2000-Merkblatt HP 2/1 zu erbringen. Für Rohrleitungen der Kategorie I ist der Nachweis durch den Hersteller der Rohrleitung zu führen. Abweichend genügt bei Rohrleitungen mit einer Nennweite bis DN 150 aus Werkstoffen nach den Abschnitten 5.2.1.1 bis 5.2.1.4 die Entnahme objektgebundener Arbeitsprüfungen.

7.2.3 Die Hersteller müssen über sachkundiges Aufsichtspersonal verfügen. Die Aufgaben und die Verantwortung der Schweißaufsicht ergeben sich aus DIN EN ISO 14731. Die Schweißaufsicht hat dafür zu sorgen, dass die üblicherweise angewandten, dem Stand der Technik entsprechenden Regelungen eingehalten werden.

7.2.4 Die Hersteller dürfen nur geprüfte Schweißer einsetzen. Die Prüfung der Schweißer erfolgt bei Stahl, Aluminium, Nickel und deren Legierungen nach AD 2000-Merkblatt HP 3. Andere Werkstoffe sind entsprechend ihren Eigenschaften sinngemäß zuzuordnen. Kehlnahtprüfstücke können auch aus Blechen angefertigt werden.

7.2.5 Schweißzusätze und Schweißhilfsstoffe

7.2.5.1 Die Schweißzusätze, ggf. in Kombination mit Schweißhilfsstoffen, müssen für die Herstellung von Rohrleitungen geeignet sein, d. h., das Schweißgut muss auf die Grundwerkstoffe abgestimmt und die hierfür erforderlichen Güteeigenschaften müssen z. B. in einer Schweißzusatzspezifikation festgelegt sein.

7.2.5.2 Die Eignung der Schweißzusätze und Schweißhilfsstoffe wird für Rohrleitungen der Kategorien II und III durch die zuständige unabhängige Stelle festgestellt. Für Rohrleitungen der Kategorie I ist die Eignung durch den Hersteller der Rohrleitung festzustellen.

Siehe hierzu auch VdTÜV-Merkblatt 1153. Für die im VdTÜV-Kennblatt 1000 genannten Schweißzusätze und Schweißhilfsstoffe ist die Eignung innerhalb der dort genannten Anwendungsgrenzen festgestellt. Liegt eine Eignungsfeststellung nicht vor, kann die Eignung für einen bestimmten bzw. gleichartigen Anwendungsfall im Rahmen einer erweiterten Verfahrensprüfung erfolgen.

7.2.6 Schweißnahtprüfungen

7.2.6.1 Stumpf- und Kehlnähte als Schweißnähte an drucktragenden Teilen aus Stahl sind so auszuführen, dass sie den Anforderungen des AD 2000-Merkblattes HP 5/1 genügen. Die Art der zerstörungsfreien Prüfung und die Beurteilung der Befunde werden in Anlehnung an das AD 2000-Merkblatt HP 5/3 geregelt.

Stumpf- und Kehlnähte als Schweißverbindungen an Aluminium und Aluminiumlegierungen an drucktragenden Teilen sind so auszuführen, dass sie hinsichtlich ihres inneren und äußeren Befundes den Anforderungen der Tafel 2 entsprechen.

Tafel 2 — Techniken, Verfahren und Zulässigkeitskriterien für Stumpf- und Kehlnähte aus Aluminium und Aluminiumlegierungen

Technik (Abkürzungen)	Verfahren	Zulässigkeitskriterien
Sichtprüfung (VT)	DIN EN ISO 17637	DIN EN ISO 10042, Bewertungsgruppe B ¹⁾
Durchstrahlungsprüfung (RT)	DIN EN ISO 17636-1, Klasse B	DIN EN ISO 10675-2, Zulässigkeitsgrenze 1 ²⁾
Ultraschallprüfung (UT)	Manuelle UT, DIN EN ISO 17640 Für Wanddicke e_n (mm) $4 \leq e_n < 40$ Klasse A $40 \leq e_n < 100$ Klasse B $e \geq 100$ Klasse C Automatische UT, DIN EN ISO 10893 ⁴⁾	DIN EN ISO 11666, Zulässigkeitsgrenze 2 ³⁾
Eindringprüfung (PT)	DIN EN ISO 3452-1 + Prüfparameter nach DIN EN ISO 23277, Anhang A, Tabelle A.1	DIN EN ISO 23277, Zulässigkeitsgrenze 2

1) Bei den Fehlerarten 1.11 (502) (zu große Nahtüberhöhung/Stumpfnäht), 1.12 (503) (zu große Nahtüberhöhung/Kehlnäht), 1.14 (504) (zu große Wurzelüberhöhung), 3.1 (507) (Kantenversatz, nur bei Umfangsnähten), 1.10 (5011) (durchlaufende Einbrandkerbe, jedoch max. 0,2 mm tief), 1.18 (5013/515) (Wurzelrückfall, Wurzelkerbe), 1.16 (511) (Decklagenunterwölbung) nach DIN EN ISO 10042 ist die Bewertungsgruppe C ausreichend.

2) Bei den Fehlerarten 5 (2016) (Schlauchporen, vereinzelt), 6 (303) (Oxideinschluss), 7 (3041) (Wolframeinschluss), 2a (2011) (Poren), 3 (2013) (Porenneß) nach DIN EN ISO 10675-2 ist die Zulässigkeitsgrenze 2 ausreichend.

3) Flächenfehler sind nicht zulässig. Bei $e_n \geq 60$ mm muss die Ultraschallprüfung Unregelmäßigkeiten senkrecht zur Oberfläche nach DIN EN ISO 16826 mit einbeziehen.

4) DIN EN ISO 10893 gilt für ZfP von Stahlrohren. Bis zum Vorliegen einer ZfP-Norm über die automatische Ultraschallprüfung von Werkstoffen aus Aluminium und Aluminiumlegierungen sind DIN EN ISO 10893-11 und DIN EN ISO 10893-9 als Referenznormen für zulässige automatische Ultraschallprüfverfahren für Werkstoffe aus Aluminium und Aluminiumlegierungen nach diesem AD 2000-Merkblatt anzuwenden.

7.2.6.2 Der Umfang zerstörungsfreier Prüfungen für Rohrleitungen nach Kategorie II + III ist in Tafel 3 festgelegt. Anforderungen an das ZfP-Personal siehe AD 2000-Merkblatt HP 4. Die Einschränkung in Fußnote 2 von Tafel 3 gilt nicht für emaillierte Rohrleitungen oder emaillierte Rohrleitungsteile. Die Auswahl der zu prüfenden Nähte (Stichproben) erfolgt in Abhängigkeit vom Schwierigkeitsgrad beim Schweißen und in Abhängigkeit vom Schweißverfahren.

Tafel 3 — Umfang der zerstörungsfreien Prüfung – Durchstrahlungs- oder Ultraschallprüfung – für Rohrleitungen in % der Anzahl der Rundnähte

Fluidgruppen	Kategorie	Prüfgruppe*) 1 / 5.1 / 6 / Al 1	Prüfgruppe*) 2 / 4.1 / 5.2 / 5.4 / 7 / 8 / Ni 1 / Ni 2 / Ti 1 / Al 2	Prüfgruppe*) 3 / 4.2 / 5.3 / Cu
2 ¹⁾	II + III	2	10	25
1 ²⁾	II			
1	II + III	10	25	100
1, 2	I	2	10	25

*) Prüfgruppen nach AD 2000-Merkblatt HP 0, Tafel 1, 2 und 3.
 1) Einschließlich oxidierende Fluide.
 2) Bis einschließlich PS · DN = 2000 bar, aber nicht für organische Peroxide oder toxische Fluide.

Bei Ausnutzung der Festigkeitskennwerte von 50–85 % sind die Werte der Tafel 3 zu halbieren, bei weniger als 50 % zu vierteln, jedoch nicht weniger als 2 %. Der Ausnutzungsgrad ergibt sich bei der Beurteilung nach Abschnitt 6.2 aus der Betrachtung gegen Innendruck, bei der Beurteilung nach Abschnitt 6.1 aus der Vergleichsspannung.

Bei Werkstoffen, die in der Tafel der Prüfgruppen nicht enthalten sind, aber einer dieser Prüfgruppen zuordenbar sind, kann der Prüfumfang entsprechend festgelegt werden.

Werden die Ausführungen der Schweißarbeiten sowie die Schweißer besonders überwacht, z. B. im Rahmen einer werkstattmäßigen Vorfertigung, kann im Einvernehmen mit der zuständigen unabhängigen Stelle ein Teil der Prüfungen nach Tafel 3 nicht objektgebunden durchgeführt werden. Bei Rohrleitungen, deren Nähte nach dem Gas- oder MSG-Schweißverfahren hergestellt sind, ist zusätzlich eine Arbeitsprüfung zu entnehmen, die durch Biege- bzw. Bruch-Proben je Schweißer und Werkstoffgruppe im Umfang nach AD 2000-Merkblatt HP 0 zu untersuchen ist.

Für Rohrleitungen der Kategorie I wird der Prüfumfang nach Tafel 3 empfohlen.

7.3 Löten

7.3.1 Lötverbindungen an Rohrleitungen müssen unter Verwendung geeigneter Arbeitsmittel als Hartlötverbindungen durch Spalltlötung (Kapillarlötung) so ausgeführt und hergestellt werden, dass eine einwandfreie Lötung gewährleistet ist. Lötverbindungen sind zulässig bis DN 32, ausgenommen Rohrleitungen für Kältemittel der Gruppe L1.

Hartlötverbindungen durch Spalltlötung sind nur unter Verwendung von Installationsrohren aus Kupfer mit Maßen nach DIN EN 1057 (siehe Abschnitt 5.2.1.3 und DVGW-Arbeitsblatt GW 392) sowie Formstücken nach DIN EN 1254-1 und DIN EN 1254-4 (siehe Abschnitt 5.3.1.1 Nr. 4) zulässig. Bei abweichenden Maßen ist der Nachweis zu erbringen, dass die Lötverbindungen geeignet sind.

7.3.2 Die Forderungen nach Abschnitt 7.3.1 für Hartlöten gelten als erfüllt, wenn die Bestimmungen des DVGW-Arbeitsblattes GW 2 für das Hartlöten eingehalten sind und wenn an Rohrleitungen der Kategorien II und III

- für die Lötungen eine Verfahrensprüfung vorliegt. Die Verfahrensprüfung ist nach DIN EN 13134/VdTÜV-Merkblatt 1160 mit der zuständigen unabhängigen Stelle durchzuführen, wobei Anzahl und Größe der Prüfstücke nach Abschnitt 6 des VdTÜV-Merkblattes 1160 so zu wählen sind, dass alle erforderlichen Proben entnommen werden können. An Stelle des Warmausziehversuchs nach Abschnitt 8.2.3 des VdTÜV-Merkblattes Schweißtechnik 1160 ist der Warmauslötversuch⁴⁾ durchzuführen, für den die Anforderungen im Abschnitt 9.1.3 b) und c) dieses VdTÜV-Merkblattes gelten. Auf den Warmauslötversuch kann verzichtet werden, wenn die Durchstrahlungsprüfung nach Abschnitt 8.1.3 des VdTÜV-Merkblattes entsprechend DKI-Werkstoffblatt Nr. 811 durchgeführt wird,
- nur Lötter mit einer Lötprüfung nach DIN EN ISO 13585 eingesetzt werden, die von einer zuständigen unabhängigen Stelle zugelassen wurden. Eine Wiederholungsprüfung ist nach mehr als 6-monatiger Unterbrechung der Tätigkeit als Lötter erforderlich, oder wenn im Rahmen der Schlussprüfung der Rohrleitungen an den Lötverbindungen systematische Fehler festgestellt wurden.

Für Rohrleitungen der Kategorie I ist der Nachweis der Erfüllung der Anforderungen nach Abschnitt 7.3.1 durch den Hersteller der Rohrleitung zu erbringen.

4) Prüfstück längs teilen, auf Löttemperatur erwärmen, Teile vertikal auseinanderheben und in Wasser abschrecken.

7.3.3 Der Umfang der zerstörungsfreien Prüfung (Durchstrahlungs- oder Ultraschallprüfung) beträgt für Rohrleitungen der Kategorie II und III 10 % der Lötverbindungen.

Der Umfang der ZfP kann bei Rohrleitungen der Kategorie I 2 % betragen. Dabei kann die Prüfung auch nicht objektgebunden erfolgen.

Bei der Durchstrahlungsprüfung sind flächenhafte Fehler mittels zweier um 90° versetzter Aufnahmen am fertigen Bauteil feststellbar, so dass der Spaltfüllgrad (Benetzungsgrad) beurteilbar ist. Alternativ zu diesen zerstörungsfreien Prüfungen können auch Arbeitsprüfungen im vergleichbaren Umfang objektgebunden im Labor zerstörend oder zerstörungsfrei geprüft werden.

| Dabei ist darauf zu achten, dass alle Lötter erfasst werden.

Art der zerstörungsfreien Prüfung und Beurteilung der Prüfbefunde erfolgen in Anlehnung an AD 2000-Merkblatt HP 5/3. Der Benetzungsgrad muss mindestens 80 % der Mindest-Überlappungslänge, die Mindest-Überlappungslänge muss das 3-Fache der Wanddicke, mindestens aber 5 mm betragen.

7.4 Verlegung der Rohrleitungen⁵⁾

7.4.1 Rohrleitungen sind grundsätzlich oberirdisch, außerhalb der Verkehrsbereiche zu verlegen und müssen leicht zugänglich sein. Es sollen möglichst wenige lösbare Verbindungen verwendet werden.

Verbindungsstellen in Rohrleitungen werden in der Regel als Schweiß-, Hartlöt-, Muffen-, Schraub- oder Flanschverbindungen ausgeführt. Schneidringverschraubungen dürfen nur bis DN 32 und nur zur Verbindung von Präzisionsstahlrohren mit Abmessungen nach DIN EN 10305-1 und DIN EN 10305-2, nichtrostenden Rohren mit Abmessungen nach DIN EN ISO 1127 in den Toleranzklassen D 4 und T 4 sowie Kupferrohren mit Abmessungen nach DIN EN 1057 verwendet werden.

Die Eignung von Klemmring und anderen Schneidringverschraubungen, abweichend von DIN 2353, ist bei Rohrleitungen der Kategorie III der zuständigen unabhängigen Stelle entweder durch ausreichende Erfahrungen des Betreibers oder durch eine Bauteilprüfung in Anlehnung an VdTÜV-Merkblatt 1065 nachzuweisen. Bei Rohrleitungen der Kategorien I und II überzeugt sich der Hersteller von der Eignung der Verbindungen.

Lösbare Verbindungen sind so anzuordnen, dass sie gut überprüfbar sind. Insbesondere bei Schneid- und Klemmringverschraubungen ist darauf zu achten, dass sie, z. B. durch geeignete Anordnung der Rohrhalterungen, in Bereichen geringer Beanspruchung eingesetzt werden.

7.4.2 Werden Rohrleitungen erdgedeckt verlegt, müssen sie hinsichtlich ihres technischen Aufbaus einer der folgenden Anforderungen entsprechen:

- sie müssen doppelwandig sein; Undichtheiten der Rohrwände müssen durch ein zugelassenes Leckanzeigegerät angezeigt werden;
- sie müssen als Saugleitungen ausgebildet sein, in denen die Flüssigkeitssäule bei Undichtheiten abreißt;
- sie müssen mit einem Schutzrohr versehen oder in einem Kanal verlegt sein; auslaufende Stoffe müssen in einer Kontrolleinrichtung sichtbar werden; in diesem Fall dürfen die Rohrleitungen keine (brennbaren) hochentzündlichen, leicht entzündlichen und entzündlichen Flüssigkeiten mit einem Flammpunkt bis 55 °C führen.

Bei nicht korrodierend wirkenden Stoffen, die nicht wassergefährdend sind, sind auch Umhüllungen z. B. nach DIN 30670, DIN EN 10289, DIN EN 10290 und DIN EN 10300 in Verbindung mit einem kathodischen Korrosionsschutz zulässig.

Kann aus Sicherheitsgründen keine dieser Anforderungen erfüllt werden, darf nur ein gleichwertiger technischer Aufbau verwendet werden.

| Lösbare Verbindungen sind nur in erdgedeckten Abschnitten von Wasserleitungen zulässig.

7.4.3 Erdgedeckte Rohrleitungen müssen so verlegt sein, dass die Wirkung von Korrosionsschutzmaßnahmen nicht beeinträchtigt wird.

Dies gilt in der Regel als erfüllt, wenn für die Vorbereitung der Sohle und zum Verfüllen der Rohrgräben oder -kanäle Sand (Korngröße ≤ 2 mm) oder andere Bodensubstanzen verwendet worden sind, die frei von scharfkantigen Gegenständen, Steinen, Asche, Schlacke und anderen bodenfremden und aggressiven Stoffen sind. Sie müssen damit allseitig mit einer Schichtdicke von mindestens 10 cm umgeben sein.

7.4.4 Unter Erdgleiche außerhalb von Gebäuden verlegte Rohrleitungen für hochentzündliche, leicht entzündliche und entzündliche Fluide müssen vollständig vom Verfüllmaterial umgeben sein. Es dürfen keine Hohlräume vorhanden sein.

Dies gilt auch für einwandige Rohrleitungen in nicht begehbaren Rohrkanälen.

Abweichend von Absatz 2 brauchen Rohrleitungen in flachen Kanälen, die oben offen sind oder mit Gitterrosten abgedeckt sind, nicht vom Verfüllmaterial umgeben zu sein.

7.4.5 Rohrleitungen müssen so verlegt sein, dass sie ihre Lage nicht unzulässig verändern.

5) Die im Abschnitt 7.4 enthaltenen Anforderungen können von den Vorschriften anderer EU-Mitgliedstaaten abweichen.

Dies gilt als erfüllt, wenn:

- (1) temperaturbedingte Dehnungen bei der Verlegung berücksichtigt und längere Rohrleitungen mit elastischen Zwischenstücken ausgerüstet sind, soweit nicht die Rohrführung ausreichende Dehnung ermöglicht;
- (2) oberirdische Rohrleitungen auf Stützen in ausreichender Anzahl aufliegen, so dass eine unzulässige Durchbiegung vermieden wird, und sie so befestigt sind, dass gefährliche Lageveränderungen nicht eintreten können, und
- (3) erdgedeckte Rohrleitungen in Rohrgräben so verlegt sind, dass sie gleichmäßig aufliegen.

7.4.6 Falls sich im Innern von Rohrleitungen für gasförmige Fluide Kondensflüssigkeit bilden kann, sind Einrichtungen zur Entwässerung bzw. zur Entfernung von Ablagerungen aus tiefliegenden Bereichen vorzusehen, um Schäden aufgrund von Wasserschlag oder Korrosion zu vermeiden.

7.4.7 Enthalten die Rohrleitungen Fluide der Gruppe 1, so ist in geeigneter Weise dafür zu sorgen, dass die Rohrabzweigungen, die wegen ihrer Abmessungen erhebliche Risiken mit sich bringen, abgesperrt werden können.

7.4.8 Zur Minimierung der Gefahr einer unbeabsichtigten Entnahme sind die Entnahmestellen auf der fest installierten Seite der Verbindungen unter Angabe des enthaltenen Fluids deutlich zu kennzeichnen.

8 Äußerer Korrosionsschutz⁶⁾

8.1 Allgemeines

Rohrleitungen, die korrosiven Einflüssen von außen unterliegen und deren Werkstoffe nicht hinreichend korrosionsbeständig sind, müssen gegen Korrosion geschützt sein.

8.2 Oberirdische Rohrleitungen

Oberirdische Rohrleitungen, die durch Korrosion von außen gefährdet sind, müssen mit einer geeigneten Beschichtung (Korrosionsschutzanstrich) versehen sein.

8.3 Erdgedeckte Rohrleitungen

8.3.1 Ist ein mit einer erdgedeckt verlegten Rohrleitung verbundener Druckbehälter mit einem kathodischen Korrosionsschutz ausgerüstet, ist auch die erdgedeckt verlegte Rohrleitung stets kathodisch zu schützen.

8.3.2 Werden Rohre oder Anlageteile aus unterschiedlichen Metallen, bei denen wegen einer galvanischen Elementbildung Korrosionen zu befürchten sind, miteinander verbunden, so müssen sie durch Isolierstücke elektrisch voneinander getrennt werden, sofern sie nicht kathodisch geschützt sind. Entsprechendes gilt für die Isolierung von Rohren gegen Halterungen.

9 Vermeidung von Gefahren infolge elektrostatischer Aufladungen⁶⁾

9.1 Rohrleitungen müssen so beschaffen sein, dass betriebsmäßige Vorgänge gefährliche elektrostatische Aufladungen nicht hervorrufen können.

9.2 Abschnitt 9.1 gilt als erfüllt, wenn die Technischen Regeln für Betriebssicherheit 2153⁷⁾ berücksichtigt sind.

9.3 Rohrleitungen sind zu erden, sofern nicht durch die Verlegeart eine ausreichende Erdung gewährleistet ist. Der Widerstand gegen Erde darf nicht mehr als $10^6 \Omega$ betragen. Isolierende Rohrverbindungen oder Zwischenstücke mit einem Widerstand von mehr als $10^6 \Omega$ sind mit einer leitfähigen Verbindung zu überbrücken, oder die Rohrstücke sind getrennt zu erden. Übliche Flanschverbindungen gelten als ausreichend leitfähig. Bei Verlegung im Erdreich erübrigen sich im Allgemeinen die genannten Maßnahmen.

10 Sicherheitstechnische Ausrüstungsteile

10.1 Rohrleitungen müssen mit den für einen sicheren Betrieb erforderlichen und geeigneten Ausrüstungsteilen versehen sein, die so beschaffen sind, dass sie ihrer Aufgabe sicher genügen. Dabei sollen die AD 2000-Merkblätter der Reihe A, soweit zutreffend, sinngemäß angewendet werden.

10.2 Rohrleitungen müssen gegen Drucküberschreitung durch geeignete Einrichtungen gesichert sein, wenn eine Überschreitung des maximal zulässigen Druckes nicht auszuschließen ist.

10.3 Sind geeignete Einrichtungen nach Abschnitt 10.1 nicht möglich oder zweckdienlich, z. B. wenn Sicherheitsventile infolge korrodierenden, klebenden, staubenden oder sublimierenden Beschickungsgutes in ihrer Wirkungsweise beeinträchtigt werden können, sind auch organisatorische Maßnahmen, die in einer Betriebsanleitung festgelegt sein müssen, zulässig.

⁶⁾ Die in den Abschnitten 8 und 9 enthaltenen Anforderungen können von den Vorschriften anderer EU-Mitgliedstaaten abweichen.

⁷⁾ Technische Regeln für Betriebssicherheit (TRBS). Vermeidung von Zündgefahren infolge elektrostatischer Aufladungen. TRBS 2153. GMBI. Nr. 15/16 vom 9. April 2009 S. 278.

10.4 Die Sicherheitseinrichtungen gegen Drucküberschreitung sind nach den AD 2000-Merkblättern A 1, A 2 bzw. A 6 auszulegen und müssen an geeigneter Stelle eingebaut werden.

10.5 Zur Verhinderung von unzulässigen Drücken infolge Erwärmung der flüssigen Fluide, z. B. durch Sonneneinstrahlung, eignen sich z. B. auch Überströmventile.

11 Kennzeichnung

11.1 Rohrleitungen müssen mindestens mit folgenden Angaben gekennzeichnet werden:

- Hersteller⁸⁾ (Name und Anschrift)
- Herstellnummer
- Herstelljahr
- CE-Kennzeichnung⁹⁾ und Kennnummer¹⁰⁾ der zuständigen benannten Stelle
- Maximal zulässiger Druck PS (bar)
- Nennweite DN
- Zulässige minimale und maximale Temperatur TS (°C)

Das kann erfolgen durch:

- eine Kennzeichnung der Rohrleitung selbst

oder

- eine eindeutige Darstellung, z. B. in einem R&I-Fließbild oder einer Rohrleitungsliste, so dass die Rohrleitung in der Anlage zweifelsfrei identifiziert werden kann.

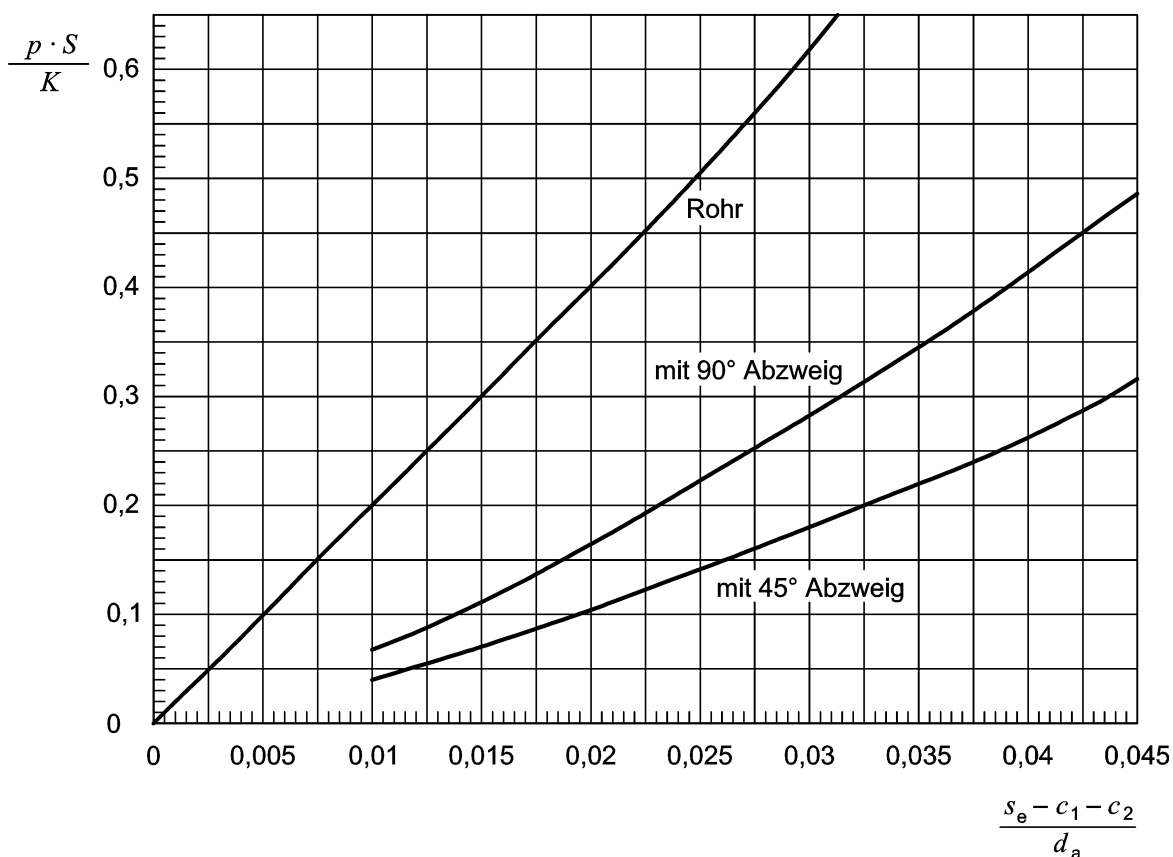
11.2 Der Verlauf erdgedeckt verlegter Rohrleitungen muss in den technischen Unterlagen erfasst sein.

8) Ggf. der in der Gemeinschaft ansässige Bevollmächtigte.

9) Nicht zulässig, wenn Betreiberprüfstelle prüft.

10) Entfällt bei Modul A.

Anlage 1 zu AD 2000-Merkblatt HP 100 R



Bezogener zul. Betriebsdruck von Rohrleitungen in Abhängigkeit vom Wanddicken-Durchmesserverhältnis $\frac{s_e - c_1 - c_2}{d_a}$

Kurven gelten für:

$v = 1$

Wanddickenverhältnis

Rohr/Abzweig 1 : 1

Durchmesserverhältnis

Rohr/Abzweig 1 : 1

Berechnung Rohr

AD 2000-Merkblatt B 1

Berechnung mit 90° Abzweig

DIN EN 13480-3 bzw. AD 2000-Merkblatt B 9

Berechnung mit 45° Abzweig

DIN EN 13480-3

Formelzeichen

p = Betriebsüberdruck

[bar]

S = Sicherheitsbeiwert

K = Festigkeitskennwert

[MPa]

d_a = Rohraußendurchmesser

[mm]

s_e = ausgeführte Wanddicke

[mm]

c_1 = Herstellungstoleranz

[mm]

c_2 = Abnutzungszuschlag

[mm]

Bild 1 — Beurteilung von T-Stücken

Anlage 2 zu AD 2000-Merkblatt HP 100 R

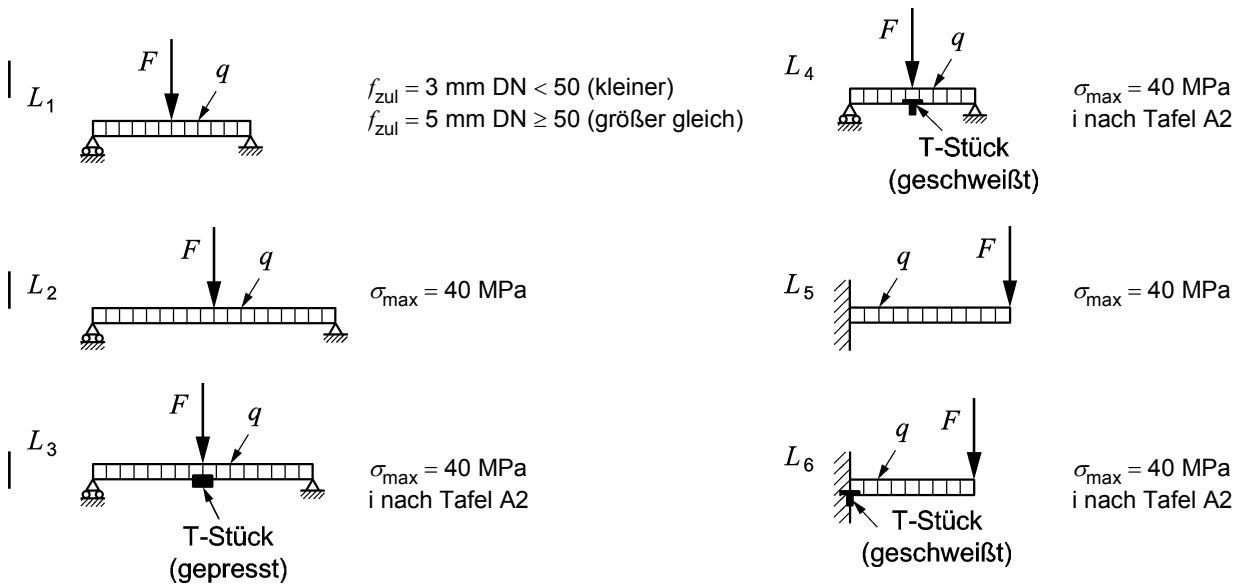
Zulässige Stützweiten für Stahlrohre (Randbedingungen: siehe Erläuterung zu Anlage 2)

			leeres Rohr, ohne Dämmung							wassergefülltes Rohr, ohne Dämmung							wassergefülltes Rohr, Dämmdicke DD 40							wassergefülltes Rohr, Dämmdicke DD 80						
DN	d_a	s	q	L_1	L_2	L_3	L_4	L_5	L_6	q	L_1	L_2	L_3	L_4	L_5	L_6	q	L_1	L_2	L_3	L_4	L_5	L_6	q	L_1	L_2	L_3	L_4	L_5	L_6
mm			kg/m	m						kg/m	m						kg/m	m						kg/m	m					
25	33.7	2.0	1.6	2.9	5.5	4.8	2.9	2.8	1.5	2.3	2.7	4.6	4.0	2.4	2.3	1.2	7.0	2.0	2.6	2.3	1.4	1.3	0.7	11.8	1.8	2.0	1.8	1.1	1.0	0.5
25	33.7	4.0	2.9	2.9	5.3	5.3	3.6	2.6	1.8	3.5	2.8	4.9	4.9	3.3	2.4	1.7	8.1	2.2	3.2	3.2	2.2	1.6	1.1	13.0	2.0	2.5	2.5	1.7	1.3	0.9
40	48.3	2.0	2.3	3.5	6.8	5.2	3.1	3.4	1.6	3.9	3.1	5.2	4.0	2.4	2.6	1.2	9.2	2.5	3.4	2.6	1.6	1.7	0.8	14.3	2.3	2.7	2.1	1.3	1.4	0.6
40	48.3	4.0	4.4	3.5	6.5	6.4	3.9	3.3	1.9	5.7	3.3	5.7	5.6	3.4	2.9	1.7	11.0	2.8	4.1	4.0	2.4	2.1	1.2	16.1	2.5	3.4	3.3	2.0	1.7	1.0
50	60.3	2.0	2.9	4.5	7.6	5.4	3.3	3.8	1.6	5.4	3.9	5.6	4.0	2.4	2.8	1.2	11.3	3.2	3.9	2.7	1.7	1.9	0.8	16.6	2.9	3.2	2.3	1.4	1.6	0.7
50	60.3	4.5	6.2	4.4	7.3	6.9	4.2	3.7	2.1	8.3	4.1	6.4	6.0	3.7	3.2	1.8	14.2	3.6	4.9	4.6	2.8	2.4	1.4	19.4	3.3	4.2	3.9	2.4	2.1	1.2
80	88.9	2.3	5.0	5.5	9.3	6.0	3.7	4.7	1.8	10.6	4.6	6.4	4.1	2.5	3.2	1.3	17.8	4.0	4.9	3.2	1.9	2.5	1.0	23.5	3.7	4.3	2.8	1.7	2.1	0.8
80	88.9	5.6	11.5	5.4	9.0	8.0	4.9	4.5	2.4	16.3	5.0	7.6	6.7	4.1	3.8	2.1	23.5	4.5	6.3	5.6	3.4	3.2	1.7	29.2	4.3	5.7	5.0	3.1	2.8	1.5
100	114.3	2.6	7.3	6.3	10.6	6.6	4.0	5.3	2.0	16.6	5.1	7.0	4.3	2.7	3.5	1.3	25.0	4.6	5.7	3.5	2.2	2.8	1.1	31.1	4.4	5.1	3.2	1.9	2.6	1.0
100	114.3	6.3	16.8	6.2	10.3	8.7	5.3	5.2	2.7	24.9	5.6	8.5	7.1	4.4	4.2	2.2	33.3	5.2	7.3	6.2	3.8	3.7	1.9	39.4	5.0	6.7	5.7	3.5	3.4	1.7
150	168.3	2.6	10.8	7.6	12.9	7.0	4.3	6.5	2.2	31.7	5.8	7.5	4.1	2.5	3.8	1.3	42.6	5.4	6.5	3.5	2.2	3.3	1.1	49.5	5.2	6.0	3.3	2.0	3.0	1.0
150	168.3	7.1	28.2	7.5	12.7	9.7	5.9	6.3	3.0	46.9	6.6	9.8	7.6	4.6	4.9	2.3	57.8	6.3	8.9	6.8	4.2	4.4	2.1	64.7	6.1	8.4	6.4	3.9	4.2	2.0
200	219.1	2.9	15.7	8.7	14.8	7.7	4.7	7.4	2.3	51.4	6.5	8.2	4.2	2.6	4.1	1.3	64.7	6.1	7.3	3.8	2.3	3.6	1.1	72.3	5.9	6.9	3.6	2.2	3.4	1.1
200	219.1	7.1	37.1	8.7	14.6	10.2	6.3	7.3	3.1	70.1	7.4	10.6	7.5	4.6	5.3	2.3	83.4	7.1	9.7	6.8	4.2	4.9	2.1	91.0	6.9	9.3	6.5	4.0	4.7	2.0
250	273.0	2.9	19.6	9.7	16.6	7.9	4.9	8.3	2.4	75.6	6.9	8.4	4.0	2.5	4.2	1.2	91.5	6.6	7.7	3.7	2.2	3.8	1.1	99.9	6.5	7.3	3.5	2.1	3.7	1.1
250	273.0	7.1	46.6	9.7	16.4	10.7	6.5	8.2	3.3	99.2	8.0	11.2	7.3	4.5	5.6	2.2	115.0	7.7	10.4	6.8	4.1	5.2	2.1	123.4	7.6	10.1	6.6	4.0	5.0	2.0
300	323.9	2.9	23.3	10.6	18.1	8.2	5.0	9.0	2.5	102.7	7.3	8.6	3.9	2.4	4.3	1.2	120.9	7.0	7.9	3.6	2.2	4.0	1.1	130.1	6.9	7.6	3.5	2.1	3.8	1.1
300	323.9	8.0	62.3	10.6	17.9	11.4	7.0	8.9	3.5	136.8	8.7	12.1	7.7	4.7	6.0	2.4	155.0	8.4	11.4	7.3	4.4	5.7	2.2	164.2	8.3	11.0	7.0	4.3	5.5	2.2
350	355.6	3.2	28.2	11.1	18.9	8.6	5.2	9.5	2.6	123.9	7.7	9.0	4.1	2.5	4.5	1.3	143.6	7.4	8.4	3.8	2.3	4.2	1.2	153.3	7.3	8.1	3.7	2.2	4.1	1.1
350	355.6	8.8	75.3	11.1	18.8	12.0	7.3	9.4	3.7	165.0	9.1	12.7	8.1	4.9	6.3	2.5	184.7	8.8	12.0	7.7	4.7	6.0	2.3	194.3	8.7	11.7	7.5	4.6	5.8	2.3
400	406.4	3.2	32.2	11.9	20.3	8.8	5.4	10.1	2.7	157.9	8.0	9.2	4.0	2.4	4.6	1.2	179.9	7.7	8.6	3.7	2.3	4.3	1.1	190.4	7.6	8.3	3.6	2.2	4.2	1.1
400	406.4	10.0	97.8	11.8	20.0	12.8	7.8	10.0	3.9	215.0	9.7	13.5	8.6	5.3	6.8	2.6	237.0	9.5	12.9	8.2	5.0	6.4	2.5	247.5	9.4	12.6	8.0	4.9	6.3	2.5
500	508.0	4.0	50.4	13.3	22.6	9.8	6.0	11.3	3.0	246.7	8.9	10.2	4.4	2.7	5.1	1.4	273.4	8.7	9.7	4.2	2.6	4.9	1.3	285.4	8.6	9.5	4.1	2.5	4.8	1.3
500	508.0	11.0	134.8	13.2	22.5	13.7	8.4	11.2	4.7	320.3	10.7	14.6	8.9	5.4	7.3	2.7	347.1	10.5	14.0	8.6	5.2	7.0	2.6	359.1	10.4	13.8	8.4	5.1	6.9	2.6

AD 2000-Merkblatt

Seite 16 AD 2000-Merkblatt HP 100 R, Ausg. 09.2016

Erläuterungen zu Anlage 2



Voraussetzungen:

Gepresstes bzw. geschweißtes T-Stück mit waagrechtem Abzweig.
 Spannung aus Innendruck unberücksichtigt.
 Toleranzen und Zuschläge (c_1 und c_2) unberücksichtigt.

Tafel A1

Fall	System	Belastung	Kriterium		Bemerkung	Erl. Anl. 2 Bild 1
			Durchbiegung	Spannung		
A		$q \text{ [kg/m]}$ $m \text{ [kg]}$	Bestimmung von I iterativ $f = \frac{l_{AF}^3 \cdot 9,81 \cdot 10^6}{384EI} (q \cdot l_{AF} + 1,6 \cdot m)$	$l_{AS} = -\frac{m}{q} + \sqrt{\left(\frac{m}{q}\right)^2 + \frac{8 \cdot W \cdot \sigma}{9,81 \cdot 10^3 \cdot q \cdot i}}$		1
B		"	$f = \frac{l_{BF}^3 \cdot 9,81 \cdot 10^6}{24EI} (3q \cdot l_{BF} + 8 \cdot m)$	$l_{BS} = -\frac{m}{q} + \sqrt{\left(\frac{m}{q}\right)^2 + \frac{2 \cdot W \cdot \sigma}{9,81 \cdot 10^3 \cdot q \cdot i}}$		1
C		$q +$ Einzellast in allen Feldern	$f = \frac{l_{CF}^3 \cdot 9,81 \cdot 10^6}{384EI} (q \cdot l_{CF} + 2 \cdot m)$	$l_{CS} = -\frac{3m}{4q} + \sqrt{\left(\frac{3m}{4q}\right)^2 + \frac{12 \cdot W \cdot \sigma}{9,81 \cdot 10^3 \cdot q \cdot i}}$	Durchlaufträger mit gleichen Feldlängen (Einzelmasse in jedem Feld)	4
D		$q +$ Einzellast nur im jeweiligen Feld	$f = \frac{l_{DF}^3 \cdot 9,81 \cdot 10^6}{384EI} (q \cdot l_{DF} + 6,1 \cdot m)$	$l_{DS} = -\frac{126m}{265q} + \sqrt{\left(\frac{126m}{265q}\right)^2 + \frac{12 \cdot W \cdot \sigma}{9,81 \cdot 10^3 \cdot q \cdot i}}$	$\frac{m}{q} < 0,38 l^*$ $l^* = \sqrt{\frac{12 \cdot W \cdot \sigma}{9,81 \cdot 10^3 \cdot q \cdot i}}$	3
E		$q +$ Einzellast nur im jeweiligen Feld	$f = \frac{l_{EF}^3 \cdot 9,81 \cdot 10^6}{384EI} (q \cdot l_{EF} + 6,1 \cdot m)$	$l_{ES} = -\frac{543m}{265q} + \sqrt{\left(\frac{543m}{265q}\right)^2 + \frac{24 \cdot W \cdot \sigma}{9,81 \cdot 10^3 \cdot q \cdot i}}$	$\frac{m}{q} > 0,38 l^*$ $l^* = \sqrt{\frac{12 \cdot W \cdot \sigma}{9,81 \cdot 10^3 \cdot q \cdot i}}$	2

$$I = \frac{\pi}{64} (d_a^4 - d_i^4) [\text{mm}^4]; \quad W = I \frac{2}{d_a} [\text{mm}^3]; \quad E \text{ (GPa)}$$

Formelzeichen:

d_{Am}	[mm]	mittlerer Durchmesser des Abzweiges
d_m	[mm]	mittlerer Rohrdurchmesser
d_a	[mm]	Außendurchmesser der Rohrleitung
d_i	[mm]	Innendurchmesser der Rohrleitung
f	[mm]	Durchbiegung
l^*	[m] = m/q^*	äquivalente Länge
i	[-]	Spannungserhöhungsfaktor
l	[m]	Stützweite, Kraglänge (allgemein)
m	[kg]	Zusatz (einzel) -Masse
q	[kg/m]	auf die Länge bezogene Masse
s	[mm]	Nennwanddicke
v	[-]	Schweißnahtwertigkeit
x	[-] = $1/L$	Verhältnis der Länge mit/ohne Zusatzmasse
y	[-] = $1^*/L$	Verhältnis äquivalente Länge / Länge ohne Zusatzmasse
DN		Nennweite
E	[GPa]	Elastizitätsmodul
F	[N] = $m \cdot g$	Einzellast
I	[mm ⁴]	Trägheitsmoment
K	[MPa]	Festigkeitskennwert
L	[m]	Länge ohne Zusatzmasse
S	[-]	Sicherheitsbeiwert
W	[mm ³]	Widerstandsmoment
ϱ	[kg/m ³]	Dichte
σ	[MPa]	Spannung
g	$\left[\frac{m}{s^2} \right]$	Erdbeschleunigung
Indices für f, L von Anlage 2		
A, B, C, D, E Bezug auf Fälle in Anlage 2, Tafel A1		
F, S Bezug auf Kriterium Durchbiegung/Spannung		
* von Tabelle Anlage 2 abweichende Parameter		
– auf Durchlaufträger bezogen		

Erläuterung zu Abschnitt 6.2.2:

Festlegung der zulässigen Stützweiten

1 Allgemeines

Die Stützweiten in Tabelle „zulässige Stützweiten für Stahlrohre“ wurden auf der Grundlage der Gleichungen in der Tabelle unter „Erläuterungen zu Anlage 2“ ermittelt. Bei der auf die Länge bezogenen Masse q wurden die folgenden Daten berücksichtigt:

Medium	ϱ_M	=	1000 kg/m ³
Rohrwerkstoff	ϱ_R	=	7900 kg/m ³
Wärmedämmung	ϱ_D	=	120 kg/m ³
Blechmantel	$\varrho_B \cdot s_B$	=	10 kg/m ²

Überlappungen und Befestigungsmaterial sind darin berücksichtigt. Die versteifende Wirkung des Blechmantels wurde nicht in Ansatz gebracht, obwohl sie u. U. erheblich sein kann. Zusatzbelastungen $F = m \cdot g$ sind bei den Stützweiten der Tabelle Anlage 2 nicht berücksichtigt.

1.1 Begrenzung der Durchbiegung – L_1

Die Stützweiten L_1 wurden nach dem Kriterium „Begrenzung der Durchbiegung“ festgelegt. Die Grenzdurchbiegung f wurde dabei im Hinblick auf die Vermeidung möglicher „Pfützenbildung“ wie folgt angenommen:

für DN < 50 $f_{zul} = 3 \text{ mm}$

für DN ≥ 50 $f_{zul} = 5 \text{ mm}$

Berechnungsmodell für L_1 ist der beiderseits gelenkig gelagerte Einfeldträger (Fall A in Anlage „Erläuterung zu Anlage 2“). Für den Elastizitätsmodul wurde ein mittlerer Wert von $E \approx 200$ GPa angenommen.

$$L_1 = l_{AF}(f, q, m = 0, E \cdot I) = L_{AF}(f, q, E \cdot I)$$

1.2 Begrenzung der Spannung – L_2 bis L_6

Die Stützweiten L_2 bis L_6 wurden nach dem Kriterium „Begrenzung der Spannung“ festgelegt. Bei Einhaltung der Stützweiten L_2 bis L_6 sind die Spannungen infolge q bei L_2 und L_5 in der ungestörten Rohrleitung und bei L_3 , L_4 und L_6 in einer Rohrleitung mit T-Stück (gepresst bzw. geschweißt) an der Stelle des maximalen Momentes auf $\sigma = 40$ MPa begrenzt.

1.2.1 Gelenkig gelagerter Einfeldträger – L_2 bis L_4

Die Stützweiten in Anlage 2 wurden nach der Gleichung für l_{AS} in den Erläuterungen zu Anlage 2 ermittelt. Dabei wurde für L_2 eine ungestörte Rohrleitung mit einem Spannungserhöhungsfaktor $i = 1$ angenommen. Für L_3 wurde in Feldmitte ein gepresstes T-Stück nach Tafel A2 mit einem Spannungserhöhungsfaktor $i = 0,9/(8,8 \cdot s/d_m)^{2/3}$ angenommen.

Für L_4 wurde in Feldmitte ein geschweißtes T-Stück nach Tafel A2 mit einem Spannungserhöhungsfaktor $i = 0,9/(2 \cdot s/d_m)^{2/3}$ angenommen.

$$L_2 = l_{AS}(\sigma, q, m = 0, W, i = 1) = L_{AS}(\sigma, q, W, i = 1)$$

$$L_3 = l_{AS}(\sigma, q, m = 0, W, i = 0,9/(8,8 \cdot s/d_m)^{2/3}) \\ = l_{AS}(\sigma, q, W, i = 0,9/(8,8 \cdot s/d_m)^{2/3})$$

$$L_4 = l_{AS}(\sigma, q, m = 0, W, i = 0,9/(2 \cdot s/d_m)^{2/3}) \\ = l_{AS}(\sigma, q, W, i = 0,9/(2 \cdot s/d_m)^{2/3})$$

1.2.2 Kragträger – L_5 und L_6

Die Kragträgerlängen in Anlage 2 wurden nach der Gleichung für l_{BS} in den Erläuterungen zu Anlage 2 ermittelt. Dabei wurde für L_5 eine ungestörte Rohrleitung mit $i = 1$ angenommen. Für L_6 wurde an der Einspannstelle ein geschweißtes T-Stück nach Tafel 2 mit $i = 0,9/(2 \cdot s/d_m)^{2/3}$ angenommen.

$$L_5 = l_{BS}(\sigma, q, m = 0, W, i = 1) = L_{BS}(\sigma, q, W, i = 1)$$

$$L_6 = l_{BS}(\sigma, q, m = 0, W, i = 0,9/(2 \cdot s/d_m)^{2/3}) \\ = l_{BS}(\sigma, q, W, i = 0,9/(2 \cdot s/d_m)^{2/3})$$

2 Umrechnung der zulässigen Längen aus der Anlage 2

2.1 Andere Lagerungsbedingungen

Die Stützweiten \bar{L}_1 bis \bar{L}_4 gehen von dem Fall des gelenkig gelagerten Einfeldträgers aus. Häufig wird die Annahme eines Mittelfeldes eines Durchlaufträgers realistischer sein. Für diese Lagerungsbedingung können die zulässigen Stützweiten L_1 bis L_4 wie folgt aus \bar{L}_1 bis \bar{L}_4 abgeleitet werden.

$$\bar{L}_1 = \sqrt[4]{5} \cdot L_1 \sim 1,5 \cdot L_1$$

$$\bar{L}_i = \sqrt{1,5} \cdot L_i \sim 1,225 \cdot L_i \quad (i = 2, 3 \text{ und } 4)$$

2.2 Andere Parameter

Wenn das Trägheitsmoment I^* und das Widerstandsmoment W^* , die Streckenlast q^* , der Elastizitätsmodul E^* , die Vorgabewerte f^* und σ^* oder der Spannungserhöhungsfaktor i^* nach Tafel A2 von den Werten in Anlage 2 wesentlich abweichen, können die zulässigen Stützweiten bzw. Kragträgerlängen aus den Längen der Anlage 2 abgeleitet werden.

Bei Begrenzung der Durchbiegung gilt:

$$L_1^* = \sqrt[4]{\frac{I^*}{I} \cdot \frac{E^*}{E} \cdot \frac{q}{q^*} \cdot \frac{f^*}{f}} \cdot L_1$$

Bei Begrenzung der Spannung gilt:

$$L_j^* = \sqrt{\frac{W^*}{W} \cdot \frac{q}{q^*} \cdot \frac{\sigma^*}{\sigma} \cdot \frac{i}{i^*}} \cdot L_j \quad (j = 2, 3, 4, 5 \text{ und } 6)$$

Entsprechend können bei anderen Lagerungsbedingungen die zulässigen Längen L^* aus den Längen L nach Abschnitt 2.1 umgerechnet werden.

3 Zusätzliche Einzellasten

Einzellasten, die zusätzlich zu den in der Anlage 2 angegebenen Streckenlasten in Ansatz zu bringen sind, können in den Fällen L_1 bis L_6 nach den in den Erläuterungen zu Anlage 2 genannten Gleichungen berücksichtigt werden. Die Stützweiten bzw. Kragträgerlängen können für das Kriterium „Spannungsbegrenzungen“ auch mit Hilfe der Anlage 2 und Abschnitt 1.2 ermittelt werden.

Dazu wird die Einzellast mit $l^* = \frac{m}{q^*}$ in eine äquivalente Länge l^* umgerechnet. Dann wird die zutreffende Stützweite bzw.

Kragträgerlänge ohne Einzellast aus der Anlage 2 oder nach den zutreffenden Gleichungen der Anlage 2 ermittelt. Abhängig vom Wert $y = l^*/L$ wird der Wert $x = l/L$ aus Anlage 2 abgelesen. Die zulässige Stützweite bei zusätzlicher Berücksichtigung der Einzellast $F = m \cdot g$ ergibt sich zu

$$l = x \cdot L$$

Weichen die Parameter von denen der in Anlage 2 zugrunde gelegten ab, ist zunächst diese Abweichung nach Abschnitt 2.2 zu berücksichtigen, danach wird nach den Abschnitten 1 und 2 der Einfluss der Einzellast betrachtet.

Beispiel:

Eine Rohrleitung DN 150 mit $s = 7,1$ mm ist als Durchlaufträger über mehrere Stützen ausgeführt. Die Metermasse der Rohrleitung mit Füllung beträgt $q^* = 60$ kg/m. In einem Mittelfeld zweigt eine Rohrleitung ab, so dass eine Zusatzmasse $m = 250$ kg auf dieses Feld wirkt. Das Abzweigformstück sei geschmiedet, so dass $i/i^* \approx 2,7$ ist. Wegen der hohen Betriebstemperaturen soll die Spannung auf $\sigma^* = 30$ MPa begrenzt werden.

Aus der Stützweitentabelle wird bei $q = 57,8$ [kg/m] eine Stützweite $L_4 = 4,2$ m abgelesen.

$$L = L_4^* = \sqrt{\frac{W^*}{W} \cdot \frac{q}{q^*} \cdot \frac{\sigma^*}{\sigma} \cdot \frac{i}{i^*}} \cdot L_4 \cdot 1,225$$

$$= \sqrt{1 \cdot \frac{57,8}{60} \cdot \frac{30}{40} \cdot 2,7} \cdot 4,2 \cdot 1,225 = 7,2 \text{ m}$$

$$l^* = \frac{m}{q^*} = \frac{250}{60} = 4,17 \text{ m}$$

$$y = \frac{l^*}{L} = \frac{4,17}{7,2} = 0,58 > 0,38 \quad \text{Kurve 2 aus Bild 1}$$

Aus Bild 1 „Diagramm zur Berücksichtigung von Einzellasten, ausgehend von der zulässigen Spannung“ wird für $y = 0,58$ mit Kurve 2 ein Wert $x = 0,65$ abgelesen.

Die zulässige Stützweite beträgt

$$l = x \cdot L = 0,65 \cdot 7,2 = 4,7 \text{ [m]}$$

Die Durchbiegung kann nach „Erläuterung zu Anlage 2“, Tafel A1, Fall E mit $l_{EF} = l = 4,7$ m und $q = q^*$ ermittelt werden.

AD 2000-Merkblatt

Seite 20 AD 2000-Merkblatt HP 100 R, Ausg. 09.2016

Tafel A2 — Form-, Flexibilitäts-, Spannungserhöhungsfaktoren und Widerstandsmomente

Bezeichnung	Skizze	Formfaktor H	Flexibilitäts- faktor $k_B (\geq 1!)$	Spannungs- erhöhungsfaktor $i (\geq 1!)$	Widerstands- moment W
gerades Rohr		1	1	1	
Glattrohrbogen	1)	$\frac{4 \cdot r \cdot s}{d_m^2}$	$\frac{1,65}{H}$	$\frac{0,9}{H^{2/3}}$	
Segmentbogen mit $l \leq \frac{d_m}{2}(1 + \tan \alpha)$	1)	$\frac{4 \cdot r \cdot s}{d_m^2}$ mit $r = \frac{l \cdot \cot \alpha}{2}$	$\frac{1,52}{H^{5/6}}$	$\frac{0,9}{H^{2/3}}$	$\frac{\pi}{32} \cdot \frac{d_a^4 - d_i^4}{d_a}$
Segmentbogen mit $l > \frac{d_m}{2}(1 + \tan \alpha)$	1) 2)	$\frac{4 \cdot r \cdot s}{d_m^2}$ mit $r = \frac{d_m \cdot (1 + \cot \alpha)}{4}$	$\frac{1,52}{H^{5/6}}$	$\frac{0,9}{H^{2/3}}$	
T-Stück mit aufgeschweiß- tem, eingeschweißtem oder ausgehaltem Stutzen	3)	$\frac{2 \cdot s}{d_m}$	1	$\frac{0,9}{H^{2/3}}$	Grundrohr: $\frac{\pi}{32} \cdot \frac{d_a^4 - d_i^4}{d_a}$
wie vor, jedoch mit zusätzlichem Verstärkungsring	3)	$\frac{2 \cdot (s + 0,5 \cdot s_A)^{5/2}}{d_m \cdot s^{3/2}}$ mit $s_A \leq s$	1	$\frac{0,9}{H^{2/3}}$	Stutzen: $\frac{\pi}{4} \cdot d_{Am}^2 \cdot s_x$
gepresstes Einschweiß- T-Stück mit s und s_A als Anschlusswanddicken	3)	$\frac{8,8 \cdot s}{d_m}$	1	$\frac{0,9}{H^{2/3}}$	mit s_x als kleinerem Wert von $s_{x1} = s$ und $s_{x2} = i \cdot s_A$
gepresstes Einschweiß- Reduzierstück		Formbedingungen: $\alpha \leq 60^\circ$ $s \geq d_a/100$ $s_2 \geq s_1$	1	$0,5 + \frac{\alpha}{100} \cdot \left(\frac{d_a}{s}\right)^{1/2}$ max. 2,0 (α in grad)	$\frac{\pi}{32} \cdot \frac{d_a^4 - d_i^4}{d_a}$

1) Für Rohrbögen, die in einem kleineren Abstand als $d_m/2$ vom Krümmungsbeginn oder -ende durch einen Flansch oder Ähnliches versteift sind, müssen k_B und i durch

$$k'_B = c \cdot k_B$$

$$i' = c \cdot i$$

ersetzt werden. Dabei gilt:

$$c = h^{1/6} \text{ bei einseitiger Versteifung}$$

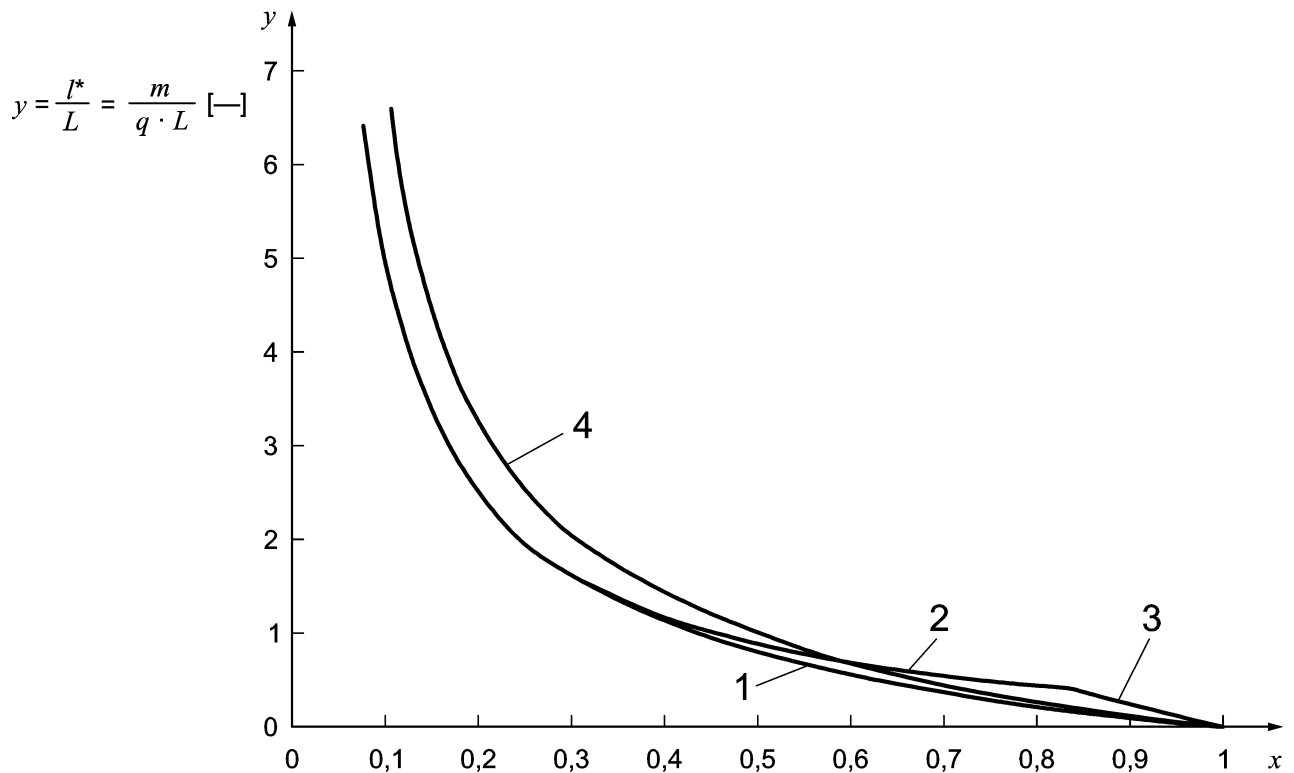
$$c = h^{1/3} \text{ bei beidseitiger Versteifung}$$

2) Diese Bögen werden in Einzelbögen mit dem Radius r und gerade Zwischenstücke der Länge $l_1 = 1 - 2 \cdot r \cdot \tan \alpha$ zerlegt. Die Werte für r , k_B und i gelten damit auch für einzelne Segmentnähte.

3) Bei den T-Stücken werden Grundrohr und Stutzen getrennt untersucht. Beim Grundrohr gilt als maßgebendes Moment das größere der beiden resultierenden Momente links und rechts des Achsenschnittpunktes. Für den Stutzen gilt das resultierende Moment seitens des abzweigenden Stranges. Es kann vereinfachend auf den Achsenschnittpunkt oder genauer auf den Punkt im Abstand

$$\alpha = 0,5 \sqrt{d_m^2 \cdot d_{Am}^2}$$

vom Achsenschnittpunkt bezogen werden.



Legende

- | | | |
|---|--|--|
| 1 | Träger auf 2 Stützen und Kragarm | $y = \frac{1-x^2}{2x}$ |
| 2 | Durchlaufträger mit Einzelmasse | $y = \frac{2-x^2}{1086} \frac{265}{x}$ für $y > 0,380$ |
| 3 | Durchlaufträger mit Einzelmasse | $y = \frac{1-x^2}{252} \frac{265}{x}$ für $y < 0,380$ |
| 4 | Durchlaufträger, Einzelmasse in jedem Feld | $y = \frac{1-x^2}{3} \frac{265}{x}$ |

max. Biegemoment:

in Feldmitte bei 1 und 2

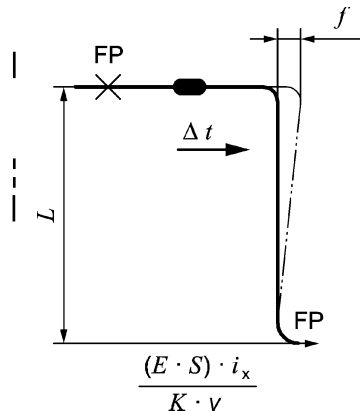
im Stützenbereich bei 3 und 4

$x = \frac{l}{L}$ (Reduktionsfaktor)

Bild 1 — Diagramm zur Berücksichtigung von Einzellasten, ausgehend von der zulässigen Spannung

AD 2000-Merkblatt

Anlage 3 zu AD 2000-Merkblatt HP 100 R



Beispiel:

Werkstoff:	P235GH
d_a :	168,3 mm
Δt :	20 °C
f :	10 mm
E 20 °C:	210 GPa
K 20 °C:	235 MPa
S :	1,5
v :	0,85
$(E \cdot S) \cdot i_x / (K \cdot v)$:	1577
i_x :	1,0

Verbinde Leiter $(E \cdot S) \cdot i_x / (K \cdot v)$ mit Leiter d_a , dann Schnittpunkt Leiter A mit Leiter f .
Leiter L ergibt eine erforderliche Rohrschenkellänge von 2,8 m.

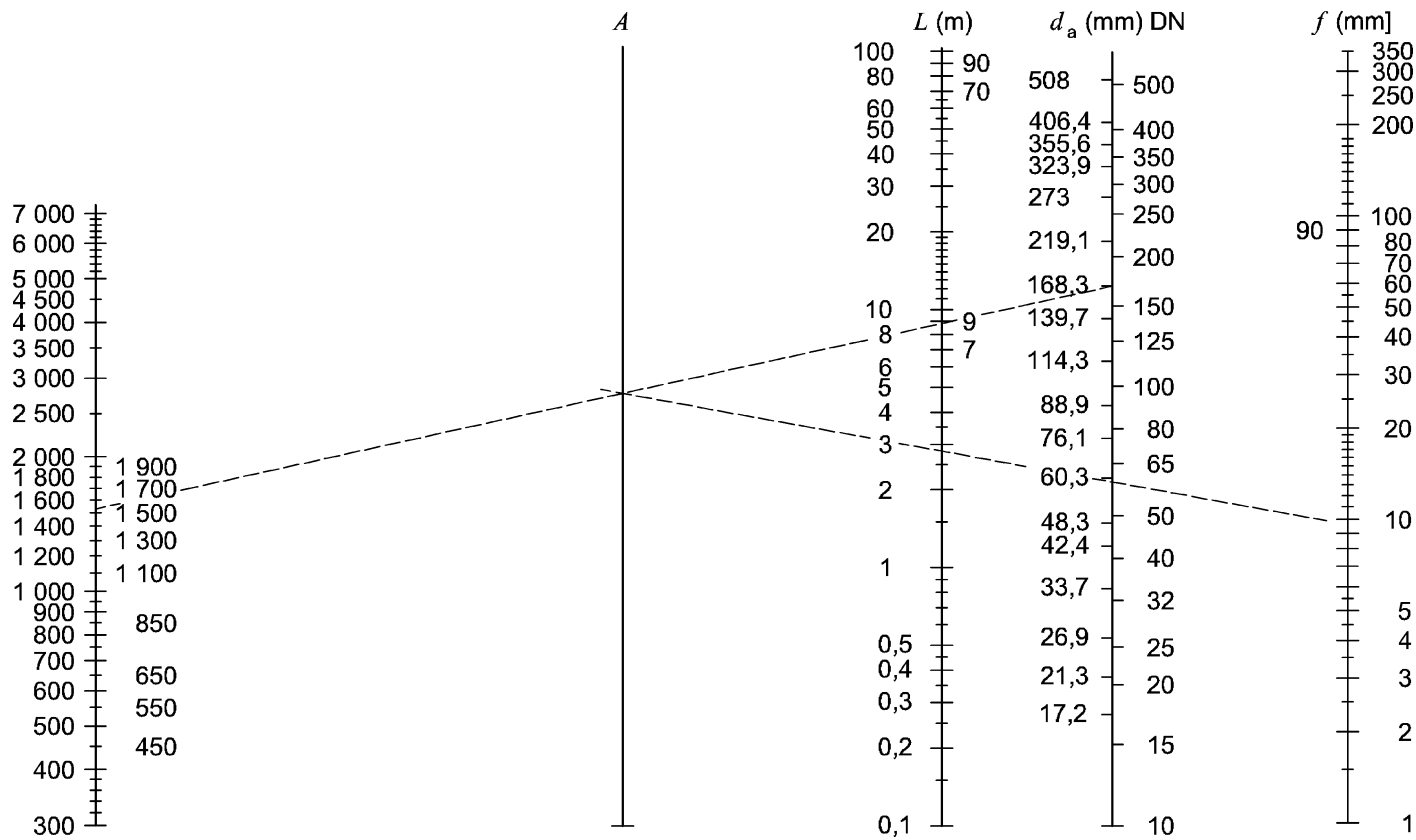


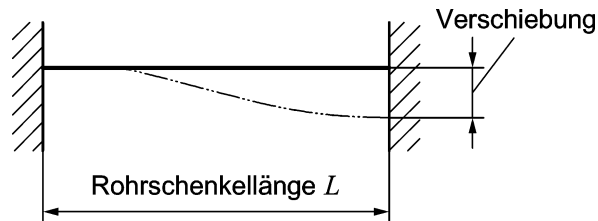
Bild 2 — Dehnungsaufnahme von Rohrschenkeln

Erläuterungen zu Anlage 3

Bestimmung der Rohrschenkellänge zur Aufnahme der Dehnung durch Temperatur für den Nennweitenbereich von DN 10 bis DN 500 mit Nomogramm

Variablen E, K, S, v und d_a

Nomogramm-Aufbau: Beidseitig eingespanntes Rohr ohne Bogen



Dem Nomogramm liegt das beidseitig eingespannte Rohr als statisches System zugrunde.

Der Einfluss von Rohrbogen auf die Spannung wurde über den Spannungserhöhungsfaktor nach ASME B 31.3 berücksichtigt. Er ist in das Nomogramm eingearbeitet.

Abzweige können mit dem Nomogramm erfasst werden, indem das Verhältnis der Spannungserhöhungsfaktoren Rohrbogen/Abzweig – es wird als Abminderungsfaktor i_x bezeichnet – in die Betrachtung eingebracht wird.

Das Nomogramm gilt auch für Flanschverbindungen im Rohrschenkel, wenn $F_Z = F_{RP}$ und die Wanddicke des Rohres entsprechend $F_R = F_Z + F_{RP}$ ausgelegt ist.

E	=	Elastizitätsmodul	[GPa]
K	=	Festigkeitskennwert	[MPa]
i_x	=	Abminderungsfaktor	
		$i_x = 1,0$ für Rohrbogen mit $R \geq 1,5 \cdot D$	
		$i_x = 2,1$ für geschweißte Rohrabzweige mit gleichem Wanddicken-Durchmesserverhältnis	
S	=	Sicherheitsbeiwert	
v	=	Schweißnahtwertigkeit	
f	=	aufzunehmende Dehnung	[mm]
		$f = 10^3 \cdot L \cdot \alpha \cdot \Delta t$	
L	=	Rohrschenkellänge	[m]
α	=	Längenausdehnungskoeffizient	[K ⁻¹]
Δt	=	Temperaturdifferenz	[K]
d_a	=	Rohraußendurchmesser	[mm]
d_i	=	Rohrinnendurchmesser	[mm]
DN	=	Nenndurchmesser	
F_{RP}	=	Rohrlängskraft infolge Innendruck	[N]
F_R	=	Rohrkraft	[N]
F_Z	=	Rohrzusatzkraft	[N]

$$M = \frac{6 \cdot E \cdot l \cdot f}{L^2}$$

$$M = \frac{K \cdot v}{S} \cdot W$$

$$W = \frac{\pi}{32} \cdot \frac{(d_a^4 - d_i^4)}{D}$$

$$l = \frac{\pi}{64} \cdot \frac{(d_a^4 - d_i^4)}{D}$$

$$L = \sqrt{\frac{3 \cdot E \cdot d_a \cdot f \cdot S}{10^6 \cdot K \cdot v}}$$

Literaturhinweis

- [1] Stahl im Hochbau
14. Auflage, Band 1/Teil 2
Nr. 6.5.1., S. 154, System 13

Wird eine Dehnung f von mehr als einem Rohrschenkel aufgenommen, sind die vorhandenen Rohrschenkel­längen L_1, L_2, \dots, L_i für die Anwendung des Nomogrammes Anlage 3 zu einer äquivalenten Rohrschenkel­länge L^* wie folgt zusammenzufassen:

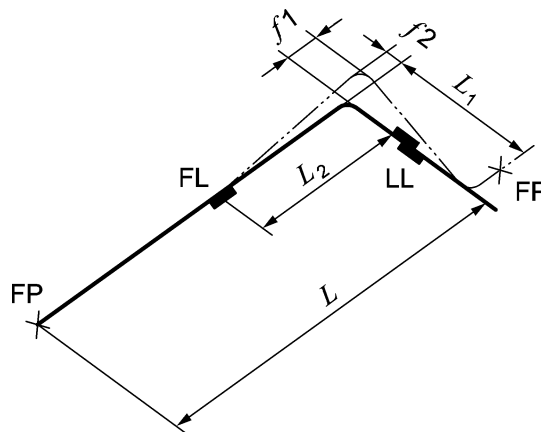
$$L^* = \sqrt{L_1^2 + L_2^2 + \dots + L_i^2}$$

Diese Vorgehensweise wird nachfolgend in den Beispielen 2 und 3 näher erläutert.

Beispiel 1: Rohrleitungsdehnung in zwei Richtungen

Bestimmung der Rohrschenkel­längen

Werkstoff:	P235GH
d_a :	168,3 mm
Δt :	200 °C
L :	12,3 mm
f_1 :	30 mm aus L_2
$E_{200\text{ °C}}$:	191 GPa
$K_{200\text{ °C}}$:	187 MPa
S :	1,5
ν :	0,85
$(E \cdot S) \cdot i_x / (K \cdot \nu)$:	1802
α :	$12,2 \cdot 10^{-6} \text{ K}^{-1}$
i_x :	1,0
FP	= Festpunkt
FL	= Führungslager
LL	= Loslager
f	= $10^3 \cdot L \cdot \alpha \cdot \Delta t$



Erforderliche Rohrschenkel­länge L_1 für f_1 aus Nomogramm

Verbinde Leiter $(E \cdot S) \cdot i_x / (K \cdot \nu)$ mit Leiter d_a , dann Schnittpunkt Leiter A mit Leiter f . Leiter L ergibt eine erforderliche Rohrschenkel­länge von $L_1 = 5,3 \text{ m}$.

Erforderliche Rohrschenkel­länge L_2 für f_2 aus Nomogramm

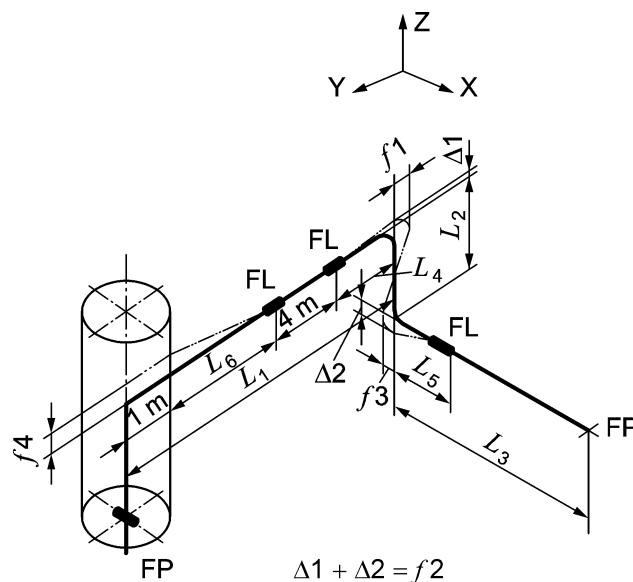
Dehnung $f_2 = 13 \text{ mm}$ aus L_1

Verbinde Schnittpunkt Leiter A mit Leiter f , Leiter L ergibt eine erforderliche Rohrschenkel­länge von $L_2 = 3,5 \text{ m}$.

Beispiel 2: Rohrleitungsgeometrie in drei Richtungen

Nachprüfung der vorhandenen Rohrschenkelängen

Werkstoff:	P235GH
d_a :	168,3 mm
Δt :	200 °C
L_1 :	9,4 m
$f1$:	23 mm aus L_1
L_2 :	3 m
$f2$:	7,3 mm aus L_2
L_3 :	7,5 m
$f3$:	18 mm aus L_3
$f4$:	12 mm aus Dehnung App.
L_4 :	2,5 m
L_5 :	3,5 m
L_6 :	3,4 m
$E_{200\text{ °C}}$:	191 GPa
$K_{200\text{ °C}}$:	187 MPa
S :	1,5
ν :	0,85
$(E \cdot S) \cdot i_x / (K \cdot \nu)$:	1802
i_x :	1,0
α :	$12,2 \cdot 10^{-6} \text{ K}^{-1}$
FP	= Festpunkt
FL	= Führungslager
LL	= Loslager
f	= $10^3 \cdot L \cdot \alpha \cdot \Delta t$



Erforderliche Rohrschenkelänge für $f1$ aus Nomogramm

Verbinde Leiter $(E \cdot S) \cdot i_x / (K \cdot \nu)$ mit Leiter d_a , dann Schnittpunkt Leiter A mit Leiter $f(f1)$, Leiter L ergibt eine erforderliche Rohrschenkelänge von $L_{\text{erf.}} = 4,6 \text{ m}$.

$$L_{\text{vorh.}}^* = \sqrt{L_2^2 + L_5^2} = 4,6 \text{ m} = L_{\text{erf.}}$$

Erforderliche Rohrschenkelänge für $f2$ aus Nomogramm

Verbinde Schnittpunkt Leiter A mit Leiter $f(f2)$, Leiter L ergibt eine erforderliche Rohrschenkelänge von $L_{\text{erf.}} = 2,6 \text{ m}$.

$$L_{\text{vorh.}}^* = \sqrt{L_4^2 + L_5^2} = 4,3 \text{ m} > L_{\text{erf.}}$$

Erforderliche Rohrschenkellänge für $f3$ aus Nomogramm

Verbinde Schnittpunkt Leiter A mit Leiter $f(f3)$, Leiter L ergibt eine erforderliche Rohrschenkellänge von $L_{\text{erf.}} = 4 \text{ m}$.

$$L_{\text{vorh.}}^* = \sqrt{L_2^2 + L_4^2} = 3,9 \text{ m} \cong L_{\text{erf.}}$$

Erforderliche Rohrschenkellänge für $f4$ aus Nomogramm

Verbinde Schnittpunkt Leiter A mit Leiter $f(f4)$, Leiter L ergibt eine erforderliche Rohrschenkellänge von $L_{\text{erf.}} = 3,4 \text{ m}$.

$$L_{\text{vorh.}} = 3,4 \text{ m} = L_{\text{erf.}}$$

Beispiel 3: Rohrleitungsführung in drei Richtungen mit Rohrabzweig

Nachprüfung der vorhandenen Rohrschenkellängen

Werkstoff:	P235GH
d_a :	168,3 mm
Δt :	200 °C
L_1 :	7 m
$f1$:	17 mm aus L_1
L_2 :	3,5 m
$f2$:	8,5 mm aus L_2
L_3 :	7 m
$f3$:	17 mm aus L_3
L_4 :	5 m
$f4$:	12 mm aus L_4
L_5 :	5 m
$f5$:	12 mm aus L_5
L_6 :	4,5 m
L_7 :	5,0 m
$E_{200 \text{ °C}}$:	191 GPa
$K_{200 \text{ °C}}$:	187 MPa
α :	$12,2 \cdot 10^{-6} \text{ K}^{-1}$
i_x :	2,1
S :	1,5
v :	0,85
$(E \cdot S) \cdot i_x / (K \cdot v)$:	3785
FP	= Festpunkt
FL	= Führungslager
LL	= Loslager
f	= $10^3 \cdot L \cdot \alpha \cdot \Delta t$


$$L_{\text{vorh.}}^* = \sqrt{L_2^2 + L_7^2} = 6,1 \text{ m} > L_{\text{erf.}}$$

Erforderliche Rohrschenkellänge für f_2 aus Nomogramm

$$L_{\text{vorh.}}^* = \sqrt{L_6^2 + L_7^2} = 6,7 \text{ m} > L_{\text{erf.}}$$

Erforderliche Rohrschenkelänge für f_3 aus Nomogramm

$$L_{\text{vorh.}}^* = \sqrt{L_2^2 + L_6^2} = 5,7 \text{ m} = L_{\text{erf.}}$$

Erforderliche Rohrschenkelänge für f_4 aus Nomogramm

$$L_{\text{vorh.}} = L_5 = 5 \text{ m} > L_{\text{erf.}}$$
$$L_{\text{vorh.}} = L_4 = 5 \text{ m} > L_{\text{erf.}}$$

Herausgeber:



Verband der TÜV e.V.

E-Mail: berlin@vdtuev.de
<http://www.vdtuev.de>

Bezugsquelle:

Beuth

Beuth Verlag GmbH
10772 Berlin
Tel. 030 / 26 01-22 60
Fax 030 / 26 01-12 60
kundenservice@beuth.de
www.beuth.de