
Herausgeber:
Dr.-Ing. Heinz Moser, Vorstandsmitglied der Stadtwerke Essen AG i.R.

Professor Dr.-Ing. Albrecht Kottmann

Rohre und Rohrwerkstoffe in der Gas- und Wasserversorgung

VULKAN-VERLAG ESSEN

Inhalt

Vorwort	III	7	Ablagerungen und Beschichtungen in Rohrleitungen	28
Werkstoffe und Rohre in der Versorgungswirtschaft	1	7.1	Schadensbilder	28
1 Die Technischen Eigenschaften der wichtigsten Rohrwerkstoffe	1	7.2	Die Schutzwirkung der Zementmörtel- auskleidung	28
1.1 Dichte	1	7.3	Versuche mit Überzügen aus Quarzsanden	29
1.2 Zugfestigkeit und Druckfestigkeit	2	7.4	Entkeimen	30
1.3 Bruchdehnung	3	7.5	Ablagerungen in nichtmetallischen Rohrleitungen	30
1.4 Streckgrenze (Elastizitätsgrenze)	4	7.6	Zementmörtel als Außenschutz	30
1.5 Der Elastizitätsmodul	5	8	Das Wesentliche über	
1.6 Druckwellenfortpflanzungs- geschwindigkeit	6	8.1	Rohrverbindungen	31
1.6.1 Gleichung zur Ermittlung der Wellengeschwindigkeit a	6	8.2	Die Stemmuffe	31
1.6.2 Die Querkontraktion bzw. Querdehnung ausgedrückt durch μ	6	8.3	Die Flanschverbindung	31
1.6.3 Der Einfluß der Werkstoffdehnung auf die Druckwellengeschwindigkeit a	7	8.4	Steckverbindung	31
1.6.4 Ungenauigkeiten bei der Herleitung der Gleichungen	9	8.5	Grundsätzliche Überlegungen zu den Verbindungsarten im Rohrleitungsbau	31
1.7 Bruchverhalten	11	8.6	Die Rohrverbindung in der Leitung	32
1.7.1 Das Arbeitsvermögen von Zugstäben	11	8.7	Anforderungen an Elastomere	33
1.7.1.1 Diskussion über die Art der Darstellung	12	8.7.1	Härtemessungen	33
1.7.2 Das Arbeitsvermögen von Rohr- abschnitten	12	8.7.2	Härteprüfung an Metallen	33
1.8 Die Kerbschlagarbeit	14	8.7.3	Härteprüfung an Elastomeren und Thermoplasten	33
1.9 Wärmeleitzahl	15	8.8	Vergleich der mechanischen Festigkeiten	34
1.10 Wärmedehnung	16	9	Druck-Verformungsrest	35
1.11 Elektrischer Widerstand bzw. elektrische Leitfähigkeit	16	9.1	Die Beanspruchung von Rohren durch äußere Lasten	35
1.12 Die rechnerische Ermittlung des ertragbaren Biegemoments eines Graugußrohrs	18	9.2	Die Momentenverteilung am Ringträger	35
1.12.1 Grundlagen	18	9.2.1	Lastfälle Linienlagerung mit Erdlast	36
1.12.2 Spannungsverteilung	19	9.2.2	Widerstandsmomente	36
1.12.2.1 Erster Lösungsweg	19	9.2.3	Lastmomente	37
1.12.2.2 Zweiter Lösungsweg	20	9.3	Das Rohr als Balken	37
2 Besonderheiten des Spannbetondruckrohrs	20	9.3.1	Biegemomente quer zur Rohrachse	37
2.1 Sicherheit gegen Rißbildung	20	9.3.1.1	Lastfälle	37
2.2 Vergleich von Arbeitsvermögen	21	9.3.1.2	Form des Auflagers	38
3 Zeitstandkurven von Kunststoffrohren	21	9.3.1.3	Widerstandsmomente	38
4 Herstellungsbedingte Spannungen (Eigenspannungen) in Rohren und Rohrverbindungen	24	9.3.1.4	Aufnehmbare Momente	38
4.1 Temperaturbedingte Spannungen	24	9.3.1.5	Lastmomente	39
4.2 Der Einfluß von Fremdkörpern und deren Lage in der Rohrwand auf die Zeitstand- festigkeit von Kunststoffrohren	25	9.3.2	Biegemomente in Längsrichtung	39
5 Beim Rohrleitungsbau erzeugte Spannungen	26	9.3.2.1	Lastfälle	39
5.1 Schweißspannungen	26	9.3.2.2	Form des Auflagers	39
5.2 Spannungsrisse an Schweißwülsten	26	9.3.2.3	Widerstandsmomente	39
5.3 Spannungsrisse an Rohrverbindungen mit Stützrohr	27	9.3.2.4	Aufnehmbare Momente	39
6 Spannungsabbau durch Kriechen	27	9.4	Überlagerung der Spannungen	39
		9.5	Folgerungen	40
		9.6	Vorbehalte gegen Verallgemeinerungen der Untersuchungsergebnisse	41
		10	Die rechnerische Sicherheit bei der Bemessung von Rohren	42
		10.1	Die bisherige Bemessungsgrundlage	42
		10.2	Die Aufgaben des Sicherheits- beiwertes	42
		10.3	Die Werkstoffe Asbestzement, Beton, Grauguß, duktiler Gußeisen und Stahl ...	43
		10.4	Die Werkstoffe PVC, PE-HD und PE-LD	44
		10.5	Zusammenschau aller Rohrwerkstoffe ...	45
		11	Werkstoffe für Armaturen	47
		11.1	Werkstoffe für Gehäuse	47

11.1.1	Gußeisen.....	47	14.3.2.1	Klemm- und Flanschverbindungen.....	68
11.1.2	Stahlguß.....	48	14.3.3	Zerstörungsfreie Prüfverfahren für Schweißnähte.....	69
11.1.3	Stahl für geschweißte Armaturen.....	48	14.3.3.1	Prüfen mit Ultraschall.....	69
11.1.4	Stahl für geschmiedete Armaturen.....	48	14.3.3.1.1	Stumpfschweißnähte.....	69
11.1.5	Thermoplaste.....	48	14.3.3.1.2	Heizwendelschweißfittings.....	69
11.2	Werkstoffe für Spindeln und Spindel- abdichtungen.....	48	14.3.3.2	Prüfen mit Durchstrahlungsgeräten.....	70
11.2.1	Messing.....	48	14.3.3.2.1	Stumpfschweißnähte.....	70
11.2.2	Nichtrostender Stahl.....	49	14.3.3.2.2	Heizwendelschweißfittings.....	70
11.3	Die elastischen Werkstoffe.....	52	14.3.3.3	Prüfung mit Computertomographie.....	70
11.4	Schutzüberzüge.....	52	14.3.4	Druckprüfungen.....	70
11.4.1	Allgemeines.....	52	14.3.5	Mängel an Schweißverbindungen.....	70
11.4.1.1	Anstriche aus Epoxidharzlacken.....	53	14.3.5.1	Heizwendelschweißverfahren.....	70
11.4.2	Auskleiden mit Emaille.....	53	14.3.5.1.1	Bindefehler infolge mechanischer Verspannung.....	71
11.4.3	Beschichten mit Epoxidharzpulver.....	53	14.3.5.1.2	Bindefehler infolge falscher Schweiß- vorbereitung oder Rohrdeformation.....	71
11.4.3.1	Bisher durchgeführte vergleichende Prüfungen und deren Ergebnisse.....	53	14.3.5.1.3	Bindefehler infolge unvollständigem Rohreinschub.....	72
11.4.3.2	Die Verbesserung der Haftung von EP-Pulvern.....	54	14.3.5.1.4	Bindefehler infolge ungenügender Formschlüssigkeit.....	72
11.4.3.3	Wichtige Einzelheiten.....	54	14.3.5.1.5	Bindefehler infolge zu niedriger Schweiß- temperatur und unterschiedlichem Schmelzindex.....	72
11.4.3.3.1	Was sind Epoxidharze?.....	54	14.3.5.1.6	Thermische Schädigung.....	73
11.4.3.3.2	Temperaturführung.....	55	14.3.5.1.7	Radial verlagerte Heizwendeln.....	73
11.4.3.3.3	Die Vorbereitung des Haftgrundes.....	55	14.3.5.1.8	Verschobene Heizwendeln.....	73
11.4.3.3.4	Schichtdicken.....	55	14.3.5.1.9	Fremdstoffe in der Schweißzone.....	73
11.4.3.3.5	Wirbelsintern im Wirbelbett.....	56	14.3.5.1.10	Überlagerung von Fehlern.....	74
11.4.3.3.6	Elektrostatisches Beschichten.....	56	14.3.5.2	Der Vulkan im Rohr – Beispiel einer un- dichten Schweißung als Folge mehrerer Fehler.....	74
11.4.3.3.7	Kathodische Enthftung.....	56	14.3.5.3	Bewertung der beschriebenen Fehler- quellen.....	75
11.4.3.4	Neue Untersuchungen.....	56	14.3.6	Wie können Schweißverbindungen mit einfachen Hilfsmitteln zerstörend geprüft werden?.....	75
11.4.3.4.1	Vorbereitung der Prüfung.....	56	14.3.7	Genügt eine Schweißverbindung zwischen Rohren aus PE-Xa und üblichen Heizwendelschweißfittings diesen Ansprüchen?.....	76
11.4.3.4.2	Ergebnisse der Prüfung.....	56	14.3.8	Ein Beispiel für die Widerstandsfähigkeit von PE-Xa-Rohren gegen äußere Angriffe.....	76
11.4.3.5	Neue Normen.....	58	14.3.9	Spannungsfreies und formschlüssiges Verschweißen von Rohren und Form- stücken.....	76
11.4.3.6	Zusammenfassung.....	58	14.3.10	Genügt die Ausbildung der Kunststoff- schweißer im Rohrleitungsbau?.....	77
11.5	Korrosion durch Elementbildung.....	58	14.4	Ein Gerät zur spannungsarmen Verar- beitung von Rohren aus Polyethylen.....	78
12	Grundlagen für die Auswertung und Beurteilung von Werkstoffprüfung.....	59	14.4.1	Stand der Technik.....	78
12.1	Die Häufigkeitsverteilung.....	59	14.4.2	Versuche mit einem einfachen Gebläse.....	79
12.2	Die Geometrie der Normalverteilung.....	60	14.4.3	Versuche mit einem verbesserten Gerät.....	79
12.3	Toleranzfeld.....	60	14.4.4	Das Runden der Rohrenden.....	81
12.4	Summenhäufigkeitspapier.....	61	14.4.5	Erklärungen zu den Farbbildern.....	82
12.5	Standzeiten von Kunststoffrohren.....	61	14.4.6	Schlußbemerkung.....	83
12.6	Die Zahl der zu entnehmenden Proben...	61	14.5	Das elastisch-plastische Verhalten verschiedener Rohre aus unterschied- lichen Polyethylenen.....	85
12.7	Was ist eine Lieferung oder eine Herstellungseinheit?.....	63	14.5.1	Der „Kriechmodul“.....	85
13	Abschließender Vergleich und voraussichtliche Entwicklung.....	63	14.5.2	Der Spannungsabbau durch „Kriechen“ ..	86
14	Rohre für den grabenlosen Rohrleitungsbau.....	64	14.5.3	Die Elastizitätsmoduli in den DIN-Normen.....	86
14.1	Abgrenzung des Themas.....	64			
14.2	Die Struktur der verschiedenen Polyethylene.....	64			
14.2.1	Grundsätzliches.....	64			
14.2.2	Wodurch unterscheiden sich PE und PVC?.....	65			
14.2.3	Polyethylen.....	65			
14.2.4	Vernetztes Polyethylen.....	66			
14.2.5	Polyethylen im Vergleich mit Polypropylen.....	67			
14.3	Grundsätze für die Herstellung einwand- freier Schweißverbindungen zwischen Rohren aus Polyethylen.....	68			
14.3.1	Übliche Rohrverbindungen.....	68			
14.3.1.1	Schweißverbindungen und Schweiß- verfahren.....	68			
14.3.2	Besondere Anwendungsfälle.....	68			

14.5.5	Die Bestimmung der E-Moduli und der Querdehnzahlen an unter Innendruck stehenden Kunststoffrohren	87	14.7.3.8	Prüfbericht	103
14.5.5.1	Die Bedeutung der Querdehnung.....	87	14.7.3.9	Versuchsergebnisse	103
14.5.5.2	Grenzwerte und Literaturwerte für die Querdehnzahl μ	88	14.7.4	Der Stein-Eindruckversuch für Rohre aus PE-X	103
14.5.5.3	Der Versuchsaufbau.....	88	14.7.4.1	Zweck der Norm	103
14.5.5.4	Die rechnerische Ermittlung der Verformung unter Innendruck.....	88	14.7.4.2	Beigezogene Normen.....	104
14.5.5.5	Die radial wirkende Druckspannung	88	14.7.4.3	Grundsätzliches.....	104
14.5.5.6	Die parallel zur Rohrachse wirkende Längszugspannung	88	14.7.4.4	Geräte	104
14.5.5.7	Die Hypothese $\Delta L_i = \Delta L_a$	89	14.7.4.4.1	Quetsche zur Defomation des Rohrs.....	104
14.6	Vorschläge zur Anpassung der Gütesicherung an den bei Rohren aus PE erreichten Stand der Technik	90	14.7.4.4.2	Vorrichtung für die Druckprüfung.....	104
14.6.1	Grundsätzliches zum Stand der Technik.....	90	14.7.4.5	Die zu prüfenden Rohrabschnitte	104
14.6.2	Mögliche Verbesserungen bei der Gütesicherung	90	14.7.4.6	Arbeitsablauf	104
14.6.3	Ergebnisse der Prüfung.....	92	14.7.4.7	Prüfbericht	105
14.6.4	Zusammenfassung und Diskussion.....	93	14.7.5	Der Zugversuch am gekerbten Zustab	105
14.6.5	Besondere Vereinbarungen.....	97	14.7.6	Der Nageleindruckversuch	105
14.7	Neue Prüfverfahren	97	14.7.7	Versuche in größerem Maßstab	105
14.7.1	Der verbesserte Robertstest.....	97	14.7.7.1	Vorgänge	107
14.7.1.1	Gegenstand der Normung	97	14.7.7.2	Der einfache Biegeversuch	107
14.7.1.2	Prüfling	97	14.7.7.3	Schlagversuche unter Innendruck	108
14.7.1.3	Prüfbedingungen	98	14.7.7.3.1	Versuchsanordnung	108
14.7.1.4	Versuchsdurchführung	98	14.7.7.3.2	Versuchsdurchführung	108
14.7.1.5	Die Messung der Rißlänge	98	14.7.7.3.3	Versuchsauswertung	108
14.7.2	Die Prüfung nach dem Verfahren S4.....	98	14.7.7.4	Erklärung der Ergebnisse	108
14.7.2.1	Aufgabe der Norm	98	14.7.7.5	Schlußfolgerungen	110
14.7.2.2	Angeführte Normen	99	14.8	Die Auswirkung der im Kerbttest erzielten Versuchsergebnisse auf die Bemessung von Polyethylenrohren.....	111
14.7.2.3	Begriffe	99	14.9	Die Auswirkungen von Druckschwankungen auf das Langzeitverhalten von Polyethylenrohren.....	112
14.7.2.4	Grundsätzliches.....	99	14.10	Diffusion	112
14.7.2.5	Geräte	99	14.10.1	Die Messung der Gasdiffusion an Kunststoffrohren	113
14.7.2.6	Prüflinge	100	14.10.1.1	Grundlagen.....	113
14.7.2.6.1	Zurichten der Prüflinge	100	14.10.1.1.1	Einzelheiten zum Thema Diffusion	113
14.7.2.6.2	Zahl der Prüflinge	100	14.10.1.1.2	Dicke der Prüfkörper.....	113
14.7.2.7	Vorbereitung.....	100	14.10.1.1.3	Der Permutationskoeffizient	113
14.7.2.8	Prüfvorgang.....	100	14.10.1.2	Versuche bei den TWS.....	114
14.7.2.9	Prüfbericht.....	101	14.10.1.2.1	Aufgabenstellung.....	114
14.7.3	Der Kerbttest	101	14.10.1.2.2	Versuchsaufbau.....	114
14.7.3.1	Aufgabe der Norm	101	14.10.1.2.3	Versuchsdurchführung	115
14.7.3.2	Angeführte Normen	101	14.10.1.2.4	Drücke im gasführenden Kunststoffrohr	115
14.7.3.3	Grundsätzliches.....	101	14.10.1.2.5	Temperaturen	115
14.7.3.4	Geräte	101	14.10.1.2.6	Inhalt des Mantelraums	115
14.7.3.4.1	Prüfeinrichtung	101	14.10.1.2.7	Auswertung der Versuche	116
14.7.3.4.2	Das Gerät zur Herstellung der Kerben	101	14.10.1.3	Übertragung der Versuchsergebnisse auf die Verhältnisse im Rohrnetz.....	118
14.7.3.5	Die Bearbeitung der Prüflinge	101	14.10.1.3.1	Umrechnung von Wasserstoff und Methan auf Stadtgas und Erdgas	118
14.7.3.5.1	Prüflinge	101	14.10.1.3.2	Betriebsdrücke.....	118
14.7.3.5.2	Wanddickenmessung und Anordnung der Kerben.....	101	14.10.1.3.3	Rohrwanddicken.....	118
14.7.3.5.3	Das Fräsen der Kerben	101	14.10.1.3.4	Bodentemperaturen.....	119
14.7.3.5.4	Zahl der Prüflinge	102	14.10.1.4	Schlußfolgerungen	119
14.7.3.6	Vorbereitung.....	102	14.11	Neue Erkenntnisse beim Schweißen.....	119
14.7.3.7	Verlauf der Prüfung	103	14.12	Die Schrumpfverbindung für Rohre aus vernetztem Polyethylen	120
14.7.3.7.1	Wasserdruckprüfung	103	14.13	Zusammenfassung und Ausblick.....	124
14.7.3.7.2	Messung der Kerbtiefe	103	Schrifttum		125