



Technischer Katalog

für Versorgungssysteme aus PE



**XORELLA
FRANK**



Editorial

Rohrsysteme für die Gas- und Trinkwasseranwendungen



FRANK begleitet das Gebiet der Gas- und Wasserversorgung schon seit den frühen Anfängen mit Produkten aus Polyethylen. So wurden bereits Ende der 60er Jahre von FRANK die ersten Gasrohre an die damalige Firma Maingas in Frankfurt geliefert. Mittlerweile sind PE-Rohrsysteme aus dem Versorgungsbereich nicht mehr wegzudenken. Rohre aus PE 100, PE 100-RC oder PE-Xa sind in der Gasversorgung der Standard. Bei Trinkwasserleitungen, die zunächst nur bei Anschlussleitungen oder Leitungen mit kleineren und mittleren Durchmessern aus PE hergestellt wurden, hat mittlerweile auch in großen Nennweiten der Siegeszug des PE eingesetzt. Der größte von uns lieferbare Durchmesser für Druckrohrsysteme liegt aktuell bei 2500 mm.

Das vielfältige Sortiment von FRANK beinhaltet praxiserprobte und bewährte Komponenten. Um Ihnen den Umgang mit diesen Produkten näher zu bringen, haben wir in diesem Katalog die wichtigsten Informationen zusammengestellt. Der Katalog bietet Ihnen somit einen Überblick über die Anwendungsbereiche und die Verarbeitungsmöglichkeiten dieser qualitativ hochwertigen Bauteile. Die zusammengetragenen Daten und Empfehlungen beruhen auf einschlägigen Normen sowie unseren jahrzehntelangen Erfahrungen. Sie erhalten somit ein in sich abgerundetes Nachschlagwerk, das Ihnen die Arbeit bei Planungs- und Konstruktionsaufgaben erleichtert. Für weitere Informationen oder Fragen zur Auslegung und zum Betrieb von PE-Rohrsystemen steht Ihnen unsere technische Abteilung jederzeit unterstützend zur Seite.

A handwritten signature in black ink, appearing to read 'Thomas Frank', with a stylized flourish at the end.

Thomas Frank
Geschäftsführer der FRANK GmbH

Inhalt

1. Einleitung

- 1.1 Die FRANK Gruppe – ein starker Verbund 2
- 1.2 Auf die Qualität kommt es an 3
- 1.3 Für alle Anwendungsfälle die richtige Lösung 4



2. Der Werkstoff Polyethylen

- 2.1 Geschichtliche Entwicklung 8
- 2.2 Physiologische Unbedenklichkeit 9
- 2.3 Chemische Beständigkeit 9
- 2.4 Verhalten bei Strahlenbelastung 9
- 2.5 Abrasionsverhalten 10
- 2.6 Zeitstandkurven 12
- 2.7 Kriechmodulkurven 14
- 2.8 Materialdaten 15

3. Auslegung

- 3.1 Mindestwanddicke für Druckrohre 18
- 3.2 Zugkräfte 20
- 3.3 Betriebsüberdruck 22
- 3.4 Betriebsunterdruck (Beuldruck) 25
- 3.5 Rohrinne Durchmesser 26
- 3.6 Hydraulische Druckverluste (flüssige Medien) 27
- 3.7 Permeabilität 35
- 3.8 Längenänderung durch Temperaturwechsel 36
- 3.9 Mindestbiegeschenkel 37
- 3.10 Stützweiten 39
- 3.11 Festpunktbelastung von frei verlegten Rohrleitungen 42

4. Verlegung/Verarbeitung

- 4.1 Lagerung und Transport 46
- 4.2 Verlegung im Sandbett 48
- 4.3 Verlegung ohne Sandbett 51
- 4.4 Sandbettfreie Verlegeverfahren 53
- 4.5 PE-Rohre für die Erdverlegung 58
- 4.6 Zulässige Zugkräfte für Sureline und SurePEX 59
- 4.7 Rohrbiegeradien 60
- 4.8 Rohrflexibilität 61
- 4.9 Bodenarten 61
- 4.10 Verbindungstechnik 62
- 4.11 Befestigung 65

5. Schweißtechnik

- 5.1 Heizelementstumpfschweißen (HS) 68
- 5.2 Heizwendelschweißen (HM) 72
- 5.3 Schweißparameter für AGRU Heizwendelformteile 78

6. Druckprüfung

- 6.1 PE-Trinkwasserleitungen 84
- 6.2 PE-Gasleitungen: Prüfmedium Luft 86
- 6.3 Oberirdisch verlegte PE-Rohrleitungen 87



7. Berechnungshilfen

- 7.1 Umrechnungstabellen 90
- 7.2 Formeln 92



8. Normen und Richtlinien

- 8.1 Werkstoff 96
- 8.2 Verlegung 96
- 8.3 Rohr 97
- 8.4 Rohrleitung 97
- 8.5 Formteile, Rohrverbindungen und -leitungsteile 98
- 8.6 Schweißen 99
- 8.7 Sicherheit 100



9. Anhang

- 9.1 Begriffsbeschreibung 104
- 9.2 Index 109



Copyright:

Alle Rechte vorbehalten. Jegliche Vervielfältigung dieses Katalogs, gleich nach welchem Verfahren, ist ohne vorherige schriftliche Genehmigung durch die Firma FRANK, auch auszugsweise, untersagt.

Bei der Erstellung dieses Katalogs haben wir mit größter Sorgfalt gearbeitet. Trotzdem können Fehler nicht ganz ausgeschlossen werden. Für fehlerhafte Angaben und deren Folgen übernimmt die Firma FRANK keine Haftung.



1. Einleitung

1.1	Die FRANK Gruppe – ein starker Verbund	2
1.2	Auf die Qualität kommt es an	3
1.3	Für alle Anwendungsfälle die richtige Lösung	4

1.1 Die FRANK Gruppe – ein starker Verbund

Seit 50 Jahren gehört die FRANK GmbH als eigentümergeführtes Unternehmen zu den führenden Anbietern von Kunststoff-Rohrsystemen. In unseren spezialisierten Tochterfirmen arbeiten heute weltweit über 400 qualifizierte Mitarbeiter an der Fertigung, der Weiterentwicklung und dem Vertrieb innovativer Qualitätsprodukte.



FRANK GmbH

Strategische Steuerung der Unternehmensgruppe, nationaler und internationaler Vertrieb des gesamten Produktprogramms, technische Anwendungsberatung und Koordination der Produktentwicklung.



agru-FRANK GmbH

Produktion von Rohren aus PE 100, PE 100-RC und PE-Xa für die Trinkwasser-, Gasversorgung sowie für die Abwasserentsorgung und den Industriebedarf. Fertigung von aus Rohr geformten Bögen und Erdwärmesonden.



FRANK KUNSTSTOFFTECHNIK GmbH

Fertigung von Sonderbauteilen und Fertigbauwerken wie z. B. Trinkwasserspeichern, Quellsammelschächten, Stauräumen sowie Produktion von Wickelrohren aus PE, PP und Sonderwerkstoffen (z. B. elektrisch leitfähig) bis 3500 mm Durchmesser.



G quadrat Geokunststoffgesellschaft mbH

Spezialist für Abdichtsysteme im Bereich Mülldeponien und Tunnelabdichtungen.



PF-Schweißtechnologie GmbH

Entwicklung und Produktion von Schweißgeräten, Zubehör und Werkzeugen zur Verbindung thermoplastischer Rohre und Formteile.



Xorella-FRANK AG

Produktion, Montage und Vertrieb von Armaturen sowie Vertrieb für das FRANK-Produktprogramm in der Schweiz.



agru-FRANK Polska SP. z o.o.

Vertrieb des FRANK-Produktprogramms in Polen über die beiden Niederlassungen in Wrocław und Warschau.



PPS-FRANK N.Z. Ltd.

Produktion von Wickelrohren, Schachtbauwerken, Stauräumen und Sonderbauteilen bis 3000 mm Durchmesser, Christchurch/Neuseeland.



DRS-Rohrwerke Sachsen GmbH

Produktion und Vertrieb von korrigierten Kabelschutz-/Kanalrohren und Wickelrohren.



TWS

Produktion von Wickelrohren für den industriellen Bereich aus PE, PP und Sonderwerkstoffen.

1.2 Auf die Qualität kommt es an

Fundiertes und stets der Entwicklung angepasstes Know-how in Verbindung mit unseren langjährigen Erfahrungen über Eigenschaften und Verarbeitung von Kunststoffen setzen wir mit modernsten Fertigungsanlagen und -prozessen um. Zusätzlich zu den offiziellen Qualitätsmanagementsystemen arbeiten wir mit intern erweiterten und entwickelten Qualitätskontrollen. Damit stellen wir sicher, dass die Qualität unserer Produkte weit über dem Standard liegt.

Qualitätsmanagementsystem nach DIN EN ISO 9001

Wir arbeiten nach einem Qualitätsmanagementsystem gemäß DIN EN ISO 9001, das der ständigen Überwachung durch externe Prüfinstitute unterliegt. Diese Norm ist konsequent darauf ausgelegt, die Erwartungen unserer Kunden schnell und zielorientiert zu erfüllen. Für uns spielen dabei nicht nur die Produktqualität, regelmäßige Schulungen unserer Mitarbeiter und die stetige Weiterentwicklung unseres Produktprogramms eine bedeutende Rolle, sondern auch die ständige Verbesserung unserer Serviceleistungen. Wir legen großen Wert auf einen vertraulichen, persönlichen und kontinuierlichen Kontakt: zu unseren Mitarbeitern, zu unseren Kunden. Zu unseren Partnern sowie zu unseren Zulieferern, die wir für eine langjährige, partnerschaftliche Zusammenarbeit entsprechend unserem hohen Qualitätsmaßstab sorgfältig auswählen.

Umweltmanagementsystem nach DIN EN ISO 14001:2009

Zum Schutz und Erhalt unserer Umwelt achten wir neben der Qualität unserer Produkte und der Zufriedenheit unserer Mitarbeiter und Kunden auf die Nachhaltigkeit. Durch das von uns im Jahr 2010 eingeführte Umweltmanagementsystem nach DIN EN ISO 14001:2009, erfolgreich und ohne Abweichungen zertifiziert, verbessern wir kontinuierlich die Nachhaltigkeit sämtlicher Prozesse in unserem Unternehmen. Die kontinuierliche Verringerung des Ressourcenverbrauches in allen Unternehmensbereichen trägt aktiv zum Erhalt unserer Umwelt bei. Wir reduzieren hierdurch gleichzeitig auch Kosten und geben diese Einsparungen an unsere Kunden weiter.



Werks-/Abnahmeprüfzeugnisse nach DIN EN 10204

Durch die Kennzeichnung der Rohre und Formteile mit einer Seriennummer können wir für Sie alle Prüfungen durch ein Werks- bzw. Abnahmeprüfzeugnis gemäß DIN EN 10204 dokumentieren: beginnend von der verwendeten Rohmaterialcharge bis zur Ausgangskontrolle des fertigen Produktes. Diese Abnahmeprüfzeugnisse werden Ihnen von unserer Qualitätssicherung auf Wunsch ausgestellt.

1.3 Für alle Anwendungsfälle die richtige Lösung

Rohrleitungsbau

Als Komplettanbieter für PE-Kunststoffrohrsysteme bieten wir Ihnen neben Rohren ein umfangreiches Programm an Formteilen sowie der entsprechenden Verbindungstechnik. AGRU-FRANK PE-Rohrsysteme sind für alle gängigen Verlegeverfahren von Versorgungsleitungen flexibel einsetzbar. Ob für die konventionelle Art durch Grabenverlegung mit Sandbett oder mit den Möglichkeiten der sandbettfreien bzw. grabenlosen Verlegung. Alle AGRU-FRANK Gas- und Trinkwasserrohre haben die erforderlichen Eigenschaften und Zulassungen. Für Ihren Anwendungsfall haben wir die passende Lösung: Wir beraten Sie gerne!

Trinkwasserspeicherung

Unser Programm gewährleistet die Versorgungssicherheit sowie die Qualitätserhaltung des zu speichernden Trinkwassers. Im medienberührenden Bereich werden ausschließlich Rohstoffe gemäß KTW-Leitlinie und DVGW-Arbeitsblatt W 270 verwendet. Ob es sich um eine Neubau- oder Sanierungsmaßnahme handelt, unser komplettes Trinkwasserspeicherprogramm zeichnet sich zudem durch seine besonders wartungsfreundliche Art aus.

Verlegung im Sandbett

Rohre, Stützen- und Heizwendelformteile und Armaturen aus PE 100

Sandbettfreie Verlegung

SURELINE®-Rohre und Heizwendelformteile aus PE 100-RC, SurePEX-Rohre aus PE-Xa

Verlegung im Trinkwasserschutzgebiet

PE-Doppelrohrsysteme, Leckageüberwachungssysteme, PKS®-Secutec (doppelwandig, überwachbarer Kanalbau)

Neubau und Erweiterung

Hydro⁺-Betonschutzplatten aus PE

PE-Fertigbauwerke

FTW®-Trinkwasserspeicher und Quellsammelschächte, Brunnenstuben

Sanierung

Hydro^{click}-Auskleidungssystem aus PE



Abb. 1 – Verlegung einer Sureline-Rohrleitung mittels Berstlining



Abb. 2 – Einsetzen eines FTW®-Trinkwasserspeichers

Biogasbereich

Die effiziente Nutzung erneuerbarer Energien hat umweltpolitisch höchste Priorität. Mit die wichtigsten Bausteine für die Erreichung der Umweltziele sind der Bau und der Betrieb von Biogasanlagen. Die dazu benötigten Ausrüstungskomponenten wie z. B. Betonschutzplatten für die korrosionssichere Fermenterauskleidung, Rohre und Formteile aus Polyethylen, elektrisch leitfähige Materialien, Rohreinbindungen und vieles mehr finden Sie im Folgenden in unserem breit gefächerten Produktprogramm.

Schweißtechnik

Die sicherste Verbindungstechnik für PE-Rohre ist das Schweißen. Im Rohrleitungstiefbau sind das Heizelementstumpf- und Heizwendelschweißen die beiden vorrangigen Verfahren. Profitieren Sie von unseren langjährigen Erfahrungen und unserem technischen Know-how auf höchstem Niveau! Wir geben Ihnen nicht nur hochwertige Kunststoff-Schweißmaschinen und Werkzeuge an die Hand: Unsere Experten vermitteln Ihnen ihr Wissen. Für jede Ihrer Anwendungen!

Rohrleitung

Rohre und Formteile aus PE 100, PE 100-RC und PE-el, Armaturen, Doppelrohrsysteme

Behälter

Kondensatsammler, Betonschutzplatten

Geobaustoffe

Vlies, Geogitter, Dichtungsbahnen

Zubehör

Schälgeräte, Spannklemmen, Schneidwerkzeuge, Rundrückklemmen

Schweißmaschinen

Heizwendelschweißen bis DN 2400 (Mammut, polycontrol plus), Heizelementstumpfschweißen bis da 2400 mm, Extrusionsschweißen bis 6 kg/h

Mietpark

Schweißmaschinen (Heizwendel-, Heizelementstumpf- und Extrusionsschweißen), Rotationschälgeräte, Innenwulstenferner, Rundungsschellen



Abb. 3 – Rohrleitungen aus PE-el für die Biogasanwendung



Abb. 4 – Heizwendelschweißung



2. Der Werkstoff Polyethylen

2.1	Geschichtliche Entwicklung.....	8
2.2	Physiologische Unbedenklichkeit.....	9
2.3	Chemische Beständigkeit	9
2.4	Verhalten bei Strahlenbelastung	9
2.5	Abrasionsverhalten	10
2.6	Zeitstandkurven.....	12
2.7	Kriechmodulkurven	14
2.8	Materialdaten	15

2.1 Geschichtliche Entwicklung

Durch die permanente Weiterentwicklung der PE-Formmassen wurde die Leistungsfähigkeit von PE-Rohren und -Formteilen erheblich verbessert. Polyethylenrohre werden seit einigen Jahren nicht mehr nach der Dichte eingeteilt (PE-LD, PE-MD, PE-HD), sondern nach Festigkeitsklassen gemäß ISO 9080 eingestuft (PE 63, PE 80, PE 100). Des Weiteren sind bereits die Modifikationen wie das PE 100-RC und das PE-Xa aus dem Kunststoffrohrleitungsbau nicht mehr wegzudenken.



PE-Historie

1898 – Hans von Pechmann (Chemiker) entdeckt Polyethylen.

1933 – Reginald Gibson und Eric Fawcett stellen erstmals Polyethylen industriell her.

1935 – Durch Veränderung der Apparaturen konnte PE gezielt polymerisiert werden und damit begann die PE-Herstellung (PE der 1. Generation).

1953 – Karl Ziegler und Giulio Natta entwickeln einen Katalysator, der die Herstellung von Polyethylen unter Normaldruck ermöglicht. Der Katalysator bekommt den Namen „Ziegler-Natta-Katalysator“.

1956 – Die Farbwerke Hoechst AG produziert das erste PE-Druckrohr.

1957 – Start der kommerziellen Herstellung von Polyethylen. Große Mengen an Polyethylen werden im Bereich Rohrleitungssysteme, Kabelisolierungen und Verpackungsmaterialien verwendet.

1968 – Die FRANK GmbH verkauft das erste Gasrohr aus Polyethylen in Deutschland. Die ersten Rohrformteile aus Rohrqualität kommen auf dem Markt.

1973 – Der „Ziegler-Natta-Katalysator“ wird verbessert und damit ist es möglich, Polyethylen mit engeren Molekulargewichtsverteilungen und Comonomereinbau herzustellen.

1971 – Die ersten vernetzten PE-Werkstoffe (PE-X) kommen auf den Markt.

1975 – Die ersten Werkstofftypen, die in die Werkstoffklasse PE 80 eingestuft werden können, sind auf dem Markt (PE der 2. Generation).

1988 – Vorstellung der Werkstoffklasse PE 100 (PE der 3. Generation).

1991 – Die agru-Frank GmbH beginnt in Wölfersheim mit der Rohrproduktion.

2000 – Die spannungsrissbeständigeren Werkstoffe aus PE 100-RC werden entwickelt.

2003 – Die agru-Frank GmbH produziert PE 100-RC Sureline-Rohre für die sandbettfreie Verlegung.

2007 – Die Produktpalette der agru-Frank GmbH wird durch SurePEX-Rohre aus PE-Xa erweitert.

Heute – Modifizierungen wie das PE 100-RC und Werkstoffe wie das PE-Xa zeigen, dass sich Polyethylen ständig weiter entwickeln lässt und ein Ende dieser Erfolgsgeschichte noch lange nicht in Sicht ist.

2.2 Physiologische Unbedenklichkeit

Polyethylen entspricht in seiner Zusammensetzung den einschlägigen lebensmittelrechtlichen Bestimmungen (nach BGA, KTW- und EU-Richtlinien). Weiterhin sind PE-Rohre und -Formteile auf ihre Trinkwassertauglichkeit überprüft und zugelassen. Seit über 50 Jahren wird PE für den Transport von Trink- und Mineralwasser im Rohrleitungsbau eingesetzt und gilt als physiologisch unbedenklich.

2.3 Chemische Beständigkeit

Infolge seiner unpolaren Struktur weist PE eine ungewöhnlich hohe Beständigkeit gegenüber einer Vielzahl von Säuren und Laugen auf. Es ist widerstandsfähig gegen wässrige Lösungen von Salzen, gegen nicht oxidierende Säuren und Laugen. Bis 60°C ist PE gegen viele Lösungsmittel beständig, wird jedoch von aromatischen und halogenierten Fetten und Wachsen gequollen. Gegen starke Oxidationsmittel wie Salpetersäure, Ozon, Oleum, Wasserstoffperoxid oder Halogene ist PE bedingt bis nicht widerstandsfähig. Konkrete Anwendungsfälle können mit unserer technischen Abteilung geklärt werden.

2.4 Verhalten bei Strahlenbelastung

Rohrleitungen aus Polyethylen können grundsätzlich im Bereich energiereicher Strahlung eingesetzt werden. So haben sie sich seit vielen Jahren zur Ableitung radioaktiver Abwässer aus Laboren und als Kühlwasserleitungen in der Kernenergietechnik bewährt. Die üblichen radioaktiven Abwässer enthalten Beta- und Gammastrahlen. PE-Rohrleitungen werden selbst nach jahrelangem Einsatz nicht radioaktiv. Auch in Umgebung höherer Aktivitäten werden Rohre aus PE nicht geschädigt, wenn sie während ihrer gesamten Betriebszeit keine höhere, gleichmäßige verteilte Strahlendosis als 10^6 Gray erhalten (der Grenzwert für den menschlichen Körper liegt bei 1-1,5 Gray).

Von FRANK eingesetzte PE-Materialien

PE 100

Diese Materialien werden auch als Polyethylentypen der 3. Generation bezeichnet und haben eine Mindestfestigkeit (MRS-Wert) von 10 N/mm^2 . Es handelt sich hierbei um eine Weiterentwicklung der PE-Materialien, die durch ein modifiziertes Polymerisationsverfahren eine andere Molmassenverteilung aufweisen. Dadurch haben PE-100-Typen eine höhere Dichte und auch verbesserte mechanische Eigenschaften, eine erhöhte Steifigkeit und Härte. Die Zeitstandfestigkeit sowie der Widerstand gegen langsame (Spannungsrisssbeständigkeit) und schnelle Rissfortpflanzung konnten deutlich verbessert werden. Somit eignet sich dieses Material bestens für die Herstellung von Druckrohren und Formteilen.

PE 100-RC

Materialien aus PE 100-RC haben wie PE 100 eine Mindestfestigkeit von 10 N/mm^2 , allerdings zeichnen sie sich durch ihren wesentlich höheren Widerstand gegen langsames Risswachstum aus. Durch diese erhöhte Spannungsrisssbeständigkeit können Rohrleitungen aus diesem Material für die sandbettfreie Verlegung eingesetzt werden. Die PE 100-RC Materialien müssen nach PAS 1075 eine Standzeit im FNCT von 8760 h aufweisen. Im Vergleich dazu liegen die Mindeststandzeiten von PE 100 deutlich darunter ($\geq 300 \text{ h}$). Ansonsten weisen die RC-Materialien die gleichen Werkstoffeigenschaften wie PE 100 auf.

PE-Xa

PE-Xa hat eine Festigkeit von ca. $9,5 \text{ N/mm}^2$ und ist ein PE-Material, das grundlegende Änderungen im molekularen Aufbau aufweist. Die ansonsten nebeneinander liegenden, nicht miteinander verbundenen Molekülketten sind bei PE-X-Material teilweise verbunden. Die Verbindungen werden durch entsprechende Vernetzungsverfahren erzeugt. Diese Vernetzung erfolgt während der Herstellung oder im Anschluss daran. Entsprechende Vernetzungsverfahren sind: Peroxid-Vernetzung (PE-Xa), Silan-Vernetzung (PE-Xb), Strahlen-Vernetzung (PE-Xc), Azo-Vernetzung (PE-Xd). Das PE-Xa-Material zeichnet sich durch eine hohe Betriebsdauer, Temperaturbeständigkeit, Flexibilität, Schlagzähigkeit und vor allem durch seine extrem hohe Spannungsrisssbeständigkeit aus. PE-Xa ist vom DVGW explizit für die sandbettfreie Verlegung freigegeben. Die Heizwendelschweißbeignung ist nach der DVS-Richtlinie 2207-1 Beiblatt 1 nachgewiesen.

2.5 Abrasionsverhalten

Freispiegelleitung

Abrasive Belastungsfälle treten u. a. bei Abwasserrohrsystemen auf. Entsprechende Rohrsysteme müssen diesbezüglich einen ausreichenden Widerstand beim Transport von Feststoffgemischen aufweisen. Nicht jeder Werkstoff ist für einen solchen Belastungsfall geeignet. Mit Hilfe des „Darmstädter Verfahrens“ (DIN EN 295-3) kann die Eignung hierfür ermittelt werden. Hierbei wird der Abrieb an der Innenseite des Rohres ermittelt. Das Verfahren läuft wie folgt ab: Die Innenseite der Rohrsohle einer 1 Meter langen Rohrhalbschale ist mit einem abrasiven Material

(Wasser-Kies-Gemisch) bedeckt und wird mit einer Frequenz von ca. 20 Lastspielen/min eingestellt. Nach einer definierten Beanspruchungszeit (mindestens 100.000 Lastspiele) wird die mittlere resultierende Wanddicke gemessen. Die Differenz zwischen Ausgangswanddicke und der mittleren resultierenden Wanddicke ist der mittlere Abrieb. Generell zeigt dieser Versuch, dass Polyethylen mit den höchsten Widerstand gegen Abrasion aufzeigt und demnach für abrasive Anwendungsgebiete hervorragend geeignet ist.

PE-Abrasionsverhalten Freispiegelleitung

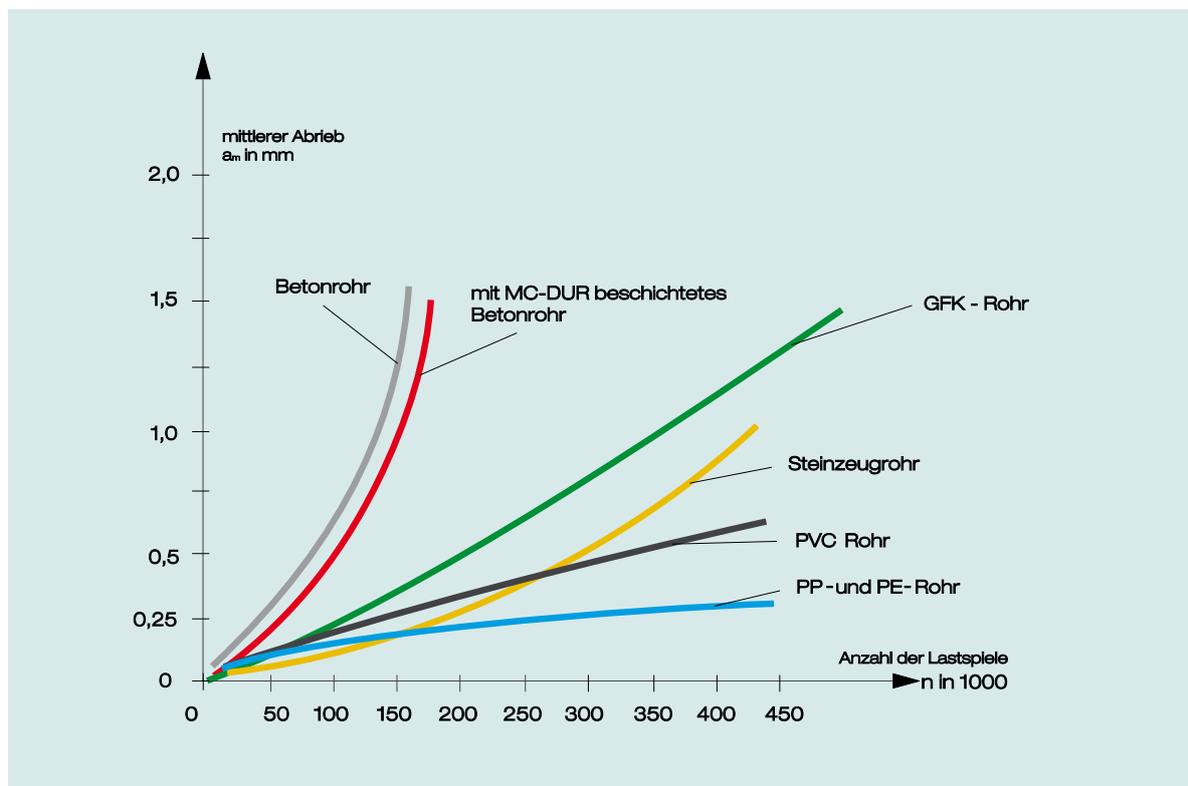


Abb. 5 – Abrasionsverhalten verschiedener Werkstoffe bei einer drucklosen Anwendung

Druckrohrleitung

Die Versuche zum Abrasionsverhalten von Druckrohrleitungen sind praxisbezogen. Hierbei wird ein entsprechendes Wasser-Kies-Gemisch durch eine Versuchsstrecke gepumpt. Dabei wird die Zeit bis zum Entstehen eines Loches bestimmt. Wie aus dem untenstehenden Diagramm ersichtlich ist, haben PE-Rohre einen wesentlichen Vorteil gegenüber Stahlrohren.

Achtung: Zur Förderung trockener, abrasiv wirkender Durchflusstoffe sind die Standardmaterialien nur bedingt einsetzbar. Auch sollten hier wegen einer möglichen statischen Aufladung nur elektrisch leitfähige Materialien (PE-el, PP-s, PP-el) verwendet werden. Die Verwendbarkeit ist im Einzelfall mit unserer anwendungstechnischen Abteilung abzustimmen.

PE-Abrasionsverhalten Druckleitung

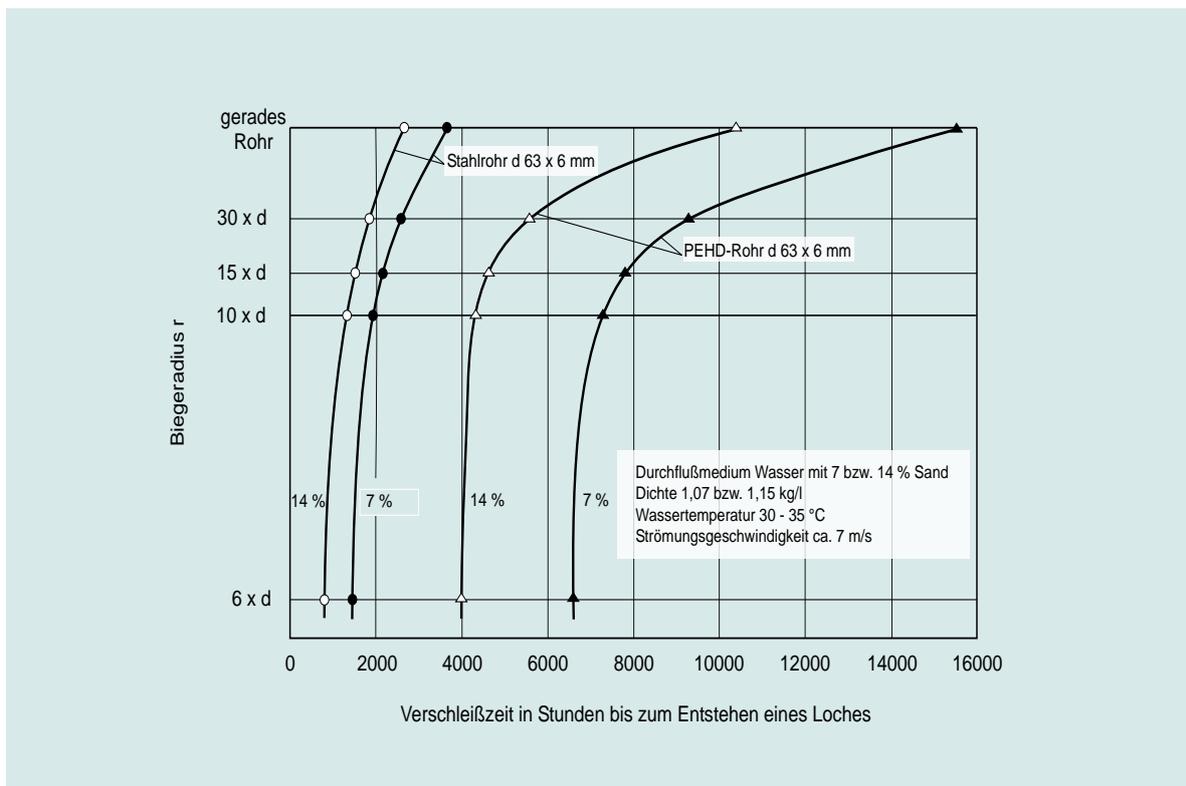


Abb. 6 – Abrasionsverhalten von Druckleitungen aus PE- und Stahlrohren mit unterschiedlichen Biegeradien

2.6 Zeitstandkurven

Um die Gebrauchsdauer von Polyethylen-Druckrohrsystemen gegenüber mechanischer und thermischer Langzeitbelastung zu bestimmen, wird eine Zeitstandkurve benötigt. Die materialspezifischen Zeitstandkurven werden durch Zeitstandinnendruckversuche ermittelt. Dabei werden die Standzeiten bei unterschiedlichen Drücken und Temperaturen erfasst. Aus diesen Daten lässt sich dann die Gebrauchsdauer bei beliebigen Temperaturen und Belastungen ablesen. Üblicherweise werden Rohrsysteme im Versorgungsgebiet bei Raumtemperatur und 100 Jahre Betriebsdauer ausgelegt.

Zeitstandkurven für Rohre aus PE 100 und PE 100-RC (Trinkwasser- und Erdgasanwendungen)

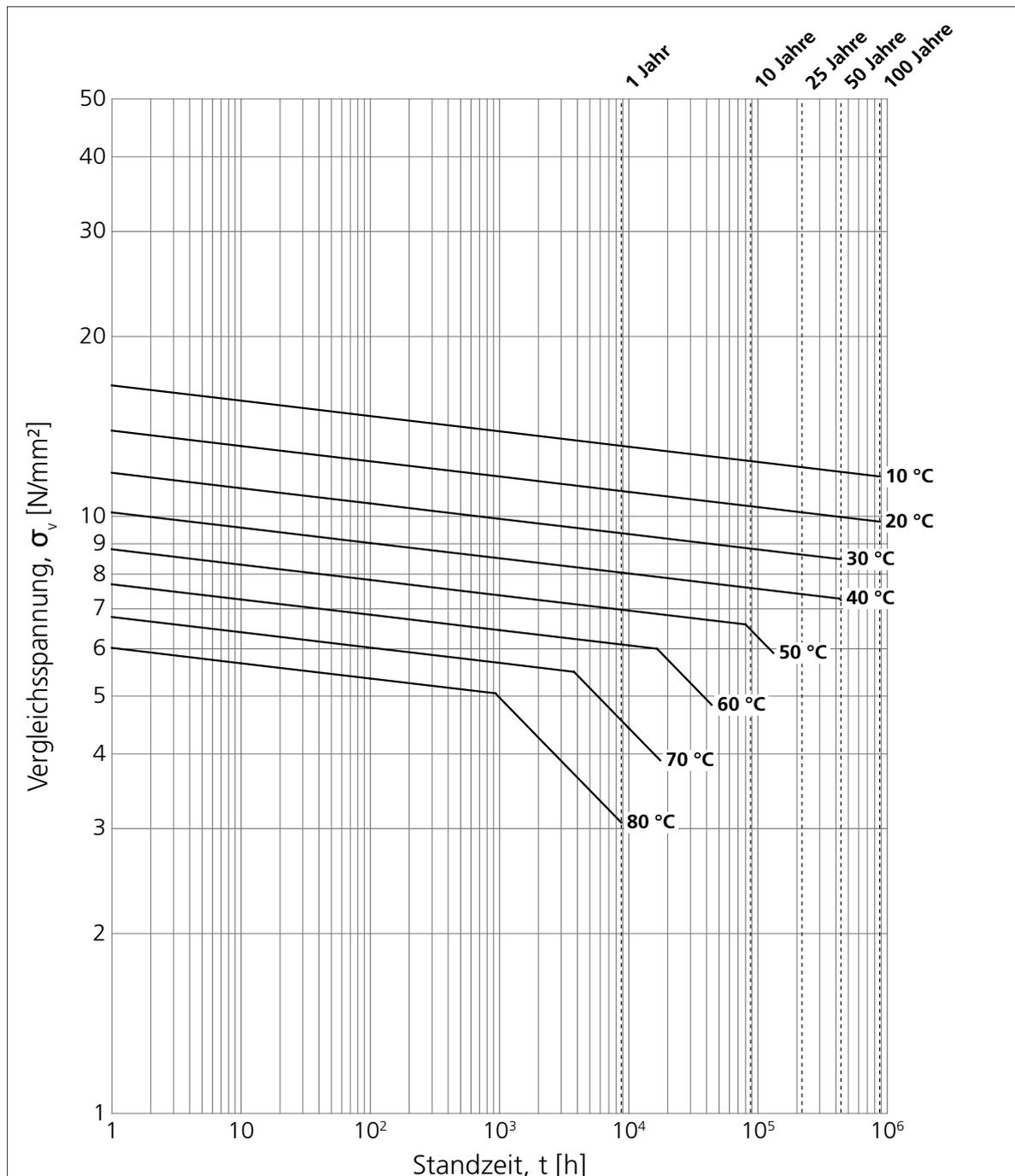


Abb. 7 – PE 100 und PE 100-RC Zeitstanddiagramm (Quelle: DVS-Richtlinie 2205-1 BB1)

Zeitstandkurven für Rohre aus PE-Xa (Trinkwasser- und Erdgasanwendungen)

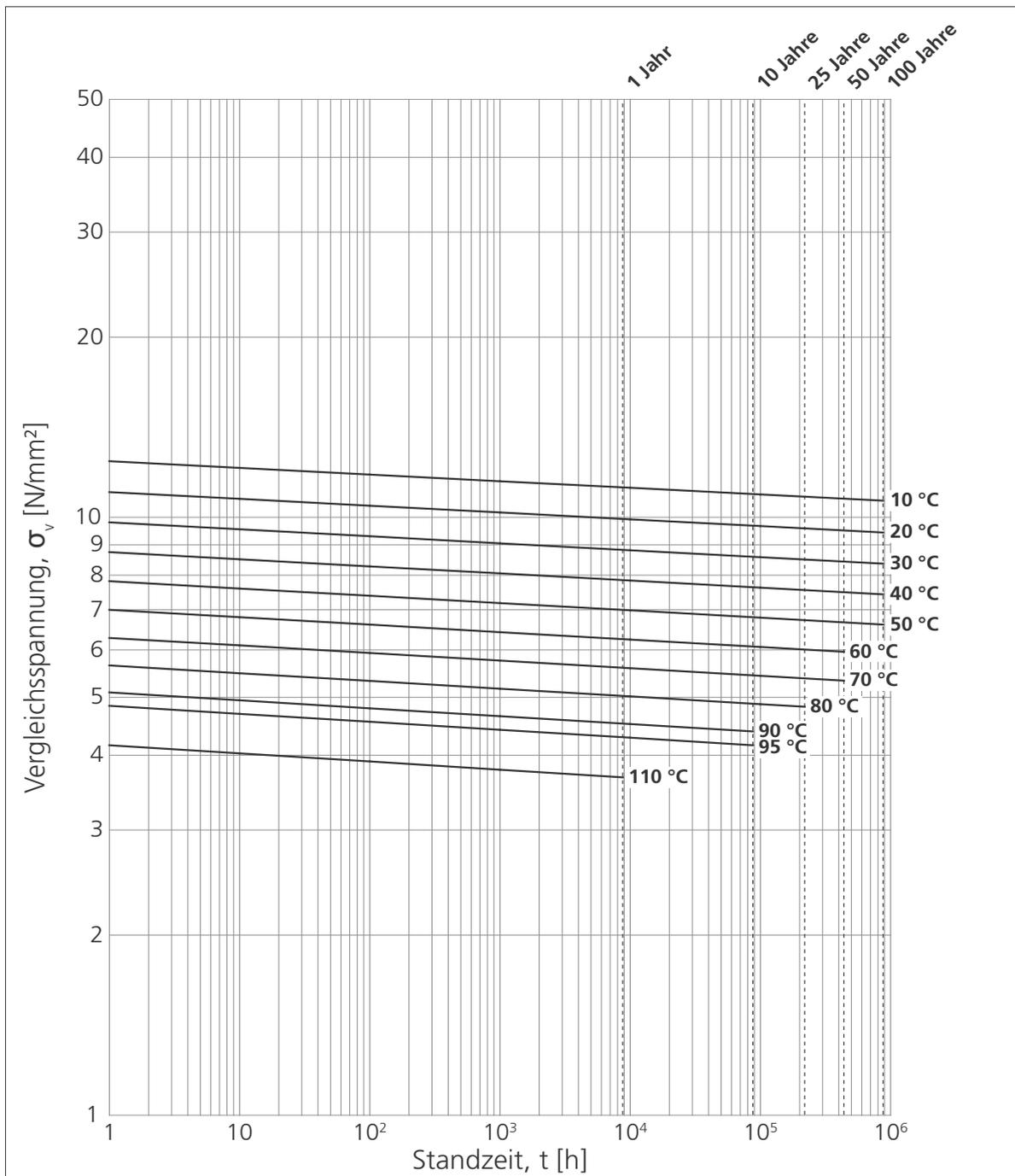


Abb. 8 - PE-Xa Zeitstanddiagramm (Quelle: DIN 16893)

2.7 Kriechmodulkurven

Kriechmodul: PE 100 und PE 100-RC für 1 Jahr

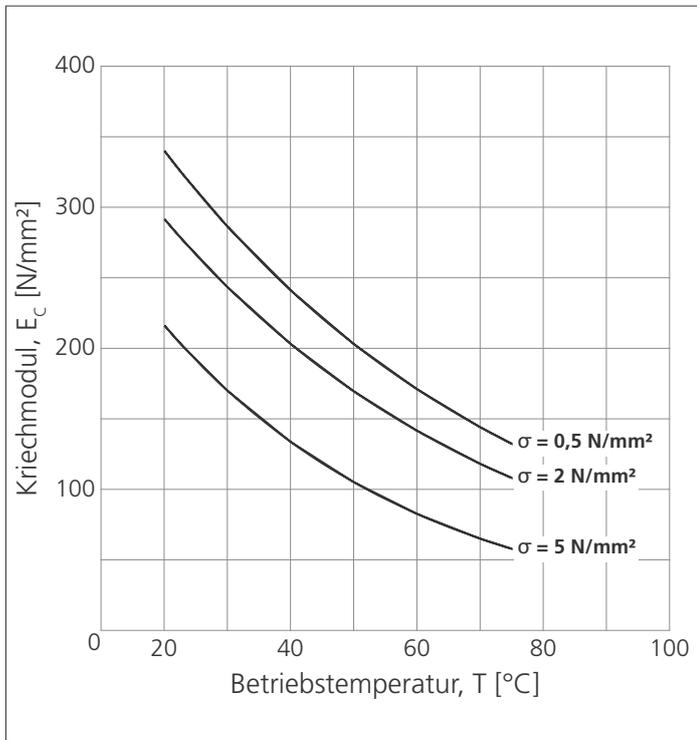


Abb. 9 – PE 100 und PE 100-RC Kriechmodul 1 Jahr

Kriechmodul: PE 100 und PE 100-RC für 10 Jahre

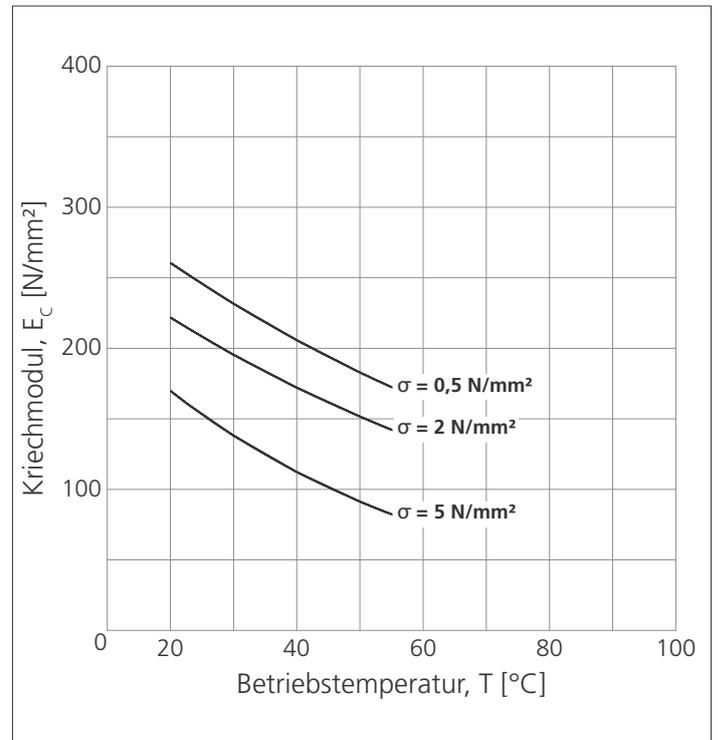


Abb. 10 – PE 100 und PE 100-RC Kriechmodul 10 Jahre

Kriechmodul: PE 100 und PE 100-RC für 25 Jahre

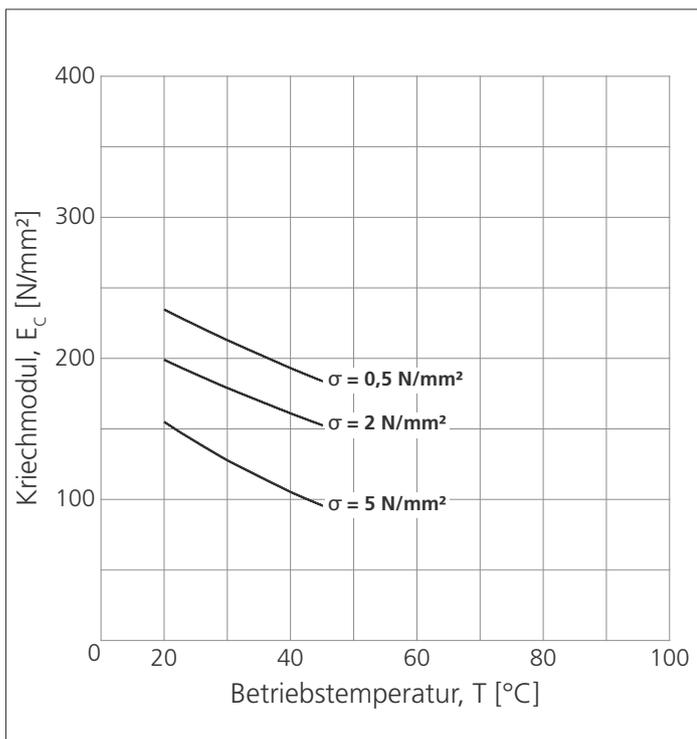


Abb. 11 – PE 100 und PE 100-RC Kriechmodul 25 Jahre

Achtung: Der aus den abgebildeten Diagrammen ermittelte Kriechmodul ist für Stabilitätsberechnungen noch mit einem Sicherheitsfaktor von > 2 abzumindern. Einflüsse durch chemische Beanspruchung oder durch Exzentrizität und Unrundheit sind gesondert zu berücksichtigen.

2.8 Materialdaten

Richtwerte zu Materialeigenschaften von Polyethylen

	Eigenschaft	Norm	Einheit	PE 100	PE 100-RC	PE-Xa
Allgemein	MFR 190/5 (°C/kg)	DIN EN ISO 1133-1	g/10 min	0,2 ... 0,7	0,2 ... 0,4	k. A.
	MFI-Gruppe	DIN EN ISO 1872-1	-	T003 T005	T003	k. A.
	Dichte bei 23°C	DIN EN ISO 1183-1 DIN EN ISO 1183-2	g/cm ³	0,96 ¹⁾	0,96 ¹⁾	0,94 ¹⁾
	MRS-Klassifizierung (20°C)	DIN EN ISO 9080	N/mm ²	10	10	9,5
	Rauigkeitsbeiwert	---	-	0,01 ¹⁾	0,01 ¹⁾	0,01 ¹⁾
	Anwendungstemperatur	---	°C	- 40 ... 60	- 40 ... 60	- 50 ... 95
Mechanische Eigenschaften	E-Modul (Zugversuch)	EN ISO 527-1	N/mm ²	1000 ... 1200	1000 ... 1200	600 ... 900
	Streckspannung	EN ISO 527-1	N/mm ²	≥ 23	≥ 23	19 - 26
	Bruchdehnung (bei 20°C)	EN ISO 527-1	%	~ 350	≥ 350	>> 350
	Kugeldruckhärte	DIN EN ISO 2039-1	MPa	60	60	-
	Kerbschlagzähigkeit nach Charpy (bei 23°C)	DIN ISO 179-1/180	kJ/m ²	≥ 13	≥ 13	kein Bruch
	Spannungsrissebeständigkeit (FNCT)	ISO 16770 DIN EN 12814-3	h	≥ 300	≥ 8760	>> 8760
Thermische Eigenschaften	Längenausdehnungskoeffizient (bei 20°C)	---	k ⁻¹ x 10 ⁻⁴	1,8	1,8	1,4
		---	mm/mK	0,18	0,18	0,14
	Vicat-Erweichungstemperatur VST/B/50	ISO 306	°C	77	77	133
	Brandklasse	UL94 DIN 4102	- -	94-HB B2	94-HB B2	- B2
Wärmeleitfähigkeit (bei 20°C)	DIN 52612-2 DIN 52612-3	W/mK	0,42	0,42	0,38	
Elektrische Eigenschaften	spezifischer Durchgangswiderstand	DIN IEC 60093	Ω cm	> 10 ¹⁶	> 10 ¹⁶	> 10 ¹⁵
	Oberflächenwiderstand	DIN IEC 60093	Ω	> 10 ¹³	> 10 ¹³	> 10 ¹³
	Durchschlagfestigkeit	DIN EN 60243-1	kV/mm	70	70	60 - 90

Tab. 1 – Eigenschaften Polyethylen (Quelle: DIN EN 12201-1, DVS-Richtlinien 2205-1 Beiblatt 1, 2207-1 und 2210-1)

¹⁾ Werte gerundet



3. Auslegung

3.1	Mindestwanddicke für Druckrohre	18
3.2	Zugkräfte	20
3.3	Betriebsüberdruck	22
3.4	Betriebsunterdruck (Beuldruck)	25
3.5	Rohrinnendurchmesser	26
3.6	Hydraulische Druckverluste (flüssige Medien)	27
3.7	Permeabilität	35
3.8	Längenänderung durch Temperaturwechsel	36
3.9	Mindestbiegeschenkel.....	37
3.10	Stützweiten	39
3.11	Festpunktbelastung von frei verlegten Rohrleitungen.....	42

3.1 Mindestwanddicke für Druckrohre

Bei erdverlegten Rohrleitungen müssen auch die statischen Belastungen geprüft werden. Wenn Sie Fragen zur statischen Berechnung haben, stehen wir Ihnen gerne zur Verfügung.

Die notwendige Rohrwanddicke wird in der Versorgung überwiegend durch den vorliegenden Betriebsüberdruck bestimmt. Polyethylen-Druckrohre werden dabei in sogenannte SDR-Reihen eingeteilt. Bei der SDR-Reihe handelt es sich um das Verhältnis zwischen Rohrdurchmesser und Wanddicke. Dieses Verhältnis ist u. a. die Grundlage der PE-Rohrproduktion nach DIN 8074 „Rohre aus Polyethylen (PE) – PE 80, PE 100 – Maße“. Um eine Sonderproduktion zu vermeiden, sollte demnach die errechnete Mindestwanddicke auf die nächst größere Wanddicke, passend der SDR-Reihe, aufgerundet werden.

Die notwendige Rohrwanddicke hängt von folgenden Faktoren ab:

- Rohrmaterial
- Strömungsmedium in der Rohrleitung
- Betriebsüberdruck

Berechnung der Mindestrohrwanddicke

$$s_{min} = \frac{p \times d_a}{20 \times \sigma_{zul} + p}$$

Bereits berechnete Rohrwanddicken befinden sich auf Seite 19.

Umrechnungsfaktoren bei Bögen

Die zulässigen Wanddicken bei Bögen, die aus Rohr hergestellt werden, ist nicht gleich dem dazu verwendeten Rohr. Bedingt durch die Herstellungsart müssen entsprechende Bogenwanddickenfaktoren, wie folgt, berücksichtigt werden:

Berechnung der Wanddicke Bogeninnenseite

$$s_{Bi} = s_{min} \times f_{Bi}$$

Berechnung der zulässigen Betriebsspannung

$$\sigma_{zul} = \frac{\sigma_V}{C}$$

Berechnung der Wanddicke Bogenaußenseite

$$s_{Ba} = s_{min} \times f_{Ba}$$

Weitere Vergleichspannungswerte siehe Kapitel „Der Werkstoff Polyethylen“ auf Seite 12 und 13.

Vergleichsspannung (σ_V) [N/mm²] für Polyethylen bei 100 Jahren Betriebsdauer

Betriebstemperatur [°C]	PE 100/ PE 100-RC	PE-Xa
10	11,9	10,5
20	10,0	9,5
30	8,5	8,1
40	7,3	7,2

Tab. 2 – PE-Vergleichsspannung bei 100 Jahren Betriebsdauer

Gesamtbetriebskoeffizienten (C) [-] für Polyethylen

Trinkwasser	Erdgas
1,25	2,00

Tab. 3 – Mindestgesamtbetriebskoeffizient für PE-Rohrsysteme

Bogenwanddickenfaktoren

Art	Faktor	Bogenradius			
		1,0 x da	1,5 x da	2,0 x da	2,5 x da
aus Rohr geformt	f_{Bi}	1,27	1,22	1,15	1,12
	f_{Ba}	0,92	0,93	0,95	0,96
segmentiert	f_{Bi}	1,59	1,50	1,44	1,40
	f_{Ba}	1,15	1,16	1,19	1,20

Tab. 4 – Faktoren zur Bestimmung von Mindestbogenwanddicken (Quelle: DVS-Richtlinie 2210-1)

s_{min}	=	Mindestwanddicke	.....	[mm]
p	=	Betriebsdruck	.....	[bar]
d_a	=	Außendurchmesser	.....	[mm]
σ_{zul}	=	zulässige Betriebsspannung	.....	[N/mm ²]
C	=	Gesamtbetriebskoeffizient	.....	[-]
s_{Bi}	=	Wanddicke Bogeninnenseite	.....	[mm]
s_{Ba}	=	Wanddicke Bogenaußenseite	.....	[mm]
f_{Bi}	=	Faktor für Bogeninnenseite	.....	[-]
f_{Ba}	=	Faktor für Bogenaußenseite	.....	[-]

Mindestwanddicken (s) [mm] von FRANK PE-Rohrsystemen

d _a [mm]	SurePEX	Sureline I und II		Sureline mit Schutzmantel	
	SDR 11 Wasser = 12,5 bar ¹⁾ Erdgas = 8 bar ¹⁾	SDR 11 Wasser = 16 bar ¹⁾ Erdgas = 10 bar ¹⁾	SDR 17 Wasser = 10 bar ¹⁾ Erdgas = 4 bar ¹⁾	SDR 11 Wasser = 16 bar ¹⁾ Erdgas = 10 bar ¹⁾	SDR 17 Wasser = 10 bar ¹⁾ Erdgas = 4 bar ¹⁾
25	2,3	---	---	---	---
32	2,9	3,0	---	---	---
40	3,7	3,7	---	---	---
50	4,6	4,6	---	---	---
63	5,8	5,8	---	5,8 + 1,5 ²⁾	---
75	6,8	6,8	4,5	6,8 + 1,5 ²⁾	---
90	8,2	8,2	5,4	8,2 + 1,5 ²⁾	5,4 + 1,5 ²⁾
110	10,0	10,0	6,6	10,0 + 1,5 ²⁾	6,6 + 1,5 ²⁾
125	11,4	11,4	7,4	11,4 + 1,5 ²⁾	7,4 + 1,5 ²⁾
140	12,7	12,7	8,3	12,7 + 1,5 ²⁾	8,3 + 1,5 ²⁾
160	14,6	14,6	9,5	14,6 + 2,0 ²⁾	9,5 + 2,0 ²⁾
180	16,3	16,4	10,7	16,4 + 2,0 ²⁾	10,7 + 2,0 ²⁾
200	18,1	18,2	11,9	18,2 + 2,0 ²⁾	11,9 + 2,0 ²⁾
225	---	20,5	13,4	20,5 + 2,3 ²⁾	13,4 + 2,3 ²⁾
250	---	22,7	14,8	22,7 + 2,3 ²⁾	14,8 + 2,3 ²⁾
280	---	25,4	16,6	25,4 + 2,3 ²⁾	16,6 + 2,3 ²⁾
315	---	28,6	18,7	28,6 + 2,7 ²⁾	18,7 + 2,7 ²⁾
355	---	32,2	21,1	32,2 + 2,7 ²⁾	21,1 + 2,7 ²⁾
400	---	36,3	23,7	36,3 + 2,7 ²⁾	23,7 + 2,7 ²⁾
450	---	40,9	26,7	40,9 + 3,0 ²⁾	26,7 + 3,0 ²⁾
500	---	45,4	29,7	45,4 + 3,0 ²⁾	29,7 + 3,0 ²⁾
560	---	50,8	33,2	50,8 + 3,0 ²⁾	33,2 + 3,0 ²⁾
630	---	57,2	37,4	57,2 + 3,0 ²⁾	37,4 + 3,0 ²⁾

Tab. 5 – Wanddicken von SurePEX- und Sureline-Rohren (Quelle: DIN 16893, DIN EN 12201-2 und DIN EN 1555-2)

¹⁾ max. Betriebsdruck nach DVGW-Arbeitsblättern W 400-1 und G 472

²⁾ aufaddierter PP-Schutzmantel, beeinflusst nicht den zulässigen Betriebsdruck und die zulässige Zugkraft

3.2 Zugkräfte

Eine ausführliche Tabelle über Zugkräfte befindet sich auch im Kapitel "Verlegung/Verarbeitung" auf Seite 59.

Folgende Berechnungen dienen zur Ermittlung der maximalen Zugkraft von PE-Rohren. Die Vergleichsspannung hängt dabei von der Dauer der Belastung und der Rohrwandtemperatur ab. Dabei gilt, je länger die Belastungsdauer und je höher die Rohrwandtemperatur desto geringer die zulässige Zugkraft. Auch zusätzliche Biegebeanspruchungen verringern die maximal zulässigen Zugkräfte.

Berechnung der zulässigen Zugkraft

$$F_z = A_s \times \sigma_v$$

Weitere Vergleichsspannungswerte siehe Kapitel „Der Werkstoff Polyethylen“ auf Seite 12 und 13.

Vergleichsspannung (σ_v) [N/mm²] für Polyethylen bei 100 Jahren Betriebsdauer

Betriebstemperatur [°C]	PE 100/PE 100-RC	PE-Xa
10	11,9	10,5
20	10,0	9,5
30	8,5	8,1
40	7,3	7,2

Tab. 6 – PE-Vergleichsspannung bei 100 Jahren Betriebsdauer

Berechnung des Rohrwandquerschnitts

Bereits berechnete Rohrwandquerschnitte befinden sich auf Seite 21.

$$A_s = \frac{(d_a^2 - d_i^2) \times \pi}{4}$$

F_z	=	zulässige Zugkraft	[N]
A_s	=	Rohrwandquerschnitt	[mm ²]
σ_v	=	Vergleichsspannung	[N/mm ²]
d_a	=	Außendurchmesser	[mm]
d_i	=	Innendurchmesser	[mm]

Zulässige Zugkräfte (F_z) [kN] für FRANK Rohrsysteme bei 20°C (40°C) und einer Belastungsdauer von ≤ 30 min

d_a [mm]	SurePEX	Sureline	
	SDR 11	SDR 11	SDR 17
63	8,2 (5,8)	10 (7,2)	---
75	12 (8,2)	15 (10)	9,5 (6,6)
90	17 (12)	21 (15)	14 (9,5)
110	25 (17)	31 (22)	20 (14)
125	32 (23)	41 (28)	26 (18)
140	41 (28)	51 (36)	33 (23)
160	53 (37)	66 (47)	43 (30)
180	67 (47)	84 (59)	55 (38)
200	83 (58)	104 (73)	67 (47)
225	---	131 (92)	85 (60)
250	---	162 (114)	105 (74)
280	---	204 (142)	132 (92)
315	---	258 (180)	167 (117)
355	---	327 (229)	221 (154)
400	---	415 (291)	269 (189)
450	---	526 (368)	341 (239)
500	---	648 (454)	421 (295)
560	---	814 (570)	528 (370)
630	---	1030 (721)	668 (468)
710	---	1309 (916)	849 (549)
800	---	---	1077 (754)
900	---	---	1364 (955)
1000	---	---	1684 (1179)

Tab. 7 – Richtwerte zu zulässigen Zugkräften für SurePEX und Sureline (Quelle: DVGW-Arbeitsblätter GW 320-1 und GW 321)

Rohrwandquerschnitte¹⁾ (A_s) [mm²] und Rohrgewichte²⁾ [kg/m] von FRANK Rohrsystemen

d _o [mm]	SDR 7,4			SDR 11			SDR 17		
	A _s [mm ²]	Gewicht [kg/m]		A _s [mm ²]	Gewicht [kg/m]		A _s [mm ²]	Gewicht [kg/m]	
		SurePEX	Sureline		SurePEX	Sureline		SurePEX	Sureline
63	1470	1,45	1,49	1042	1,04	1,06	707	---	0,73
75	2094	2,07	2,12	1457	1,45	1,48	997	---	1,03
90	3002	2,96	3,03	2107	2,10	2,14	1435	---	1,47
110	4502	4,44	4,54	3142	3,11	3,18	2144	---	2,19
125	5797	5,71	5,84	4068	4,02	4,12	2734	---	2,79
140	7286	7,17	7,33	5079	5,03	5,13	3434	---	3,50
160	9501	9,34	9,54	6669	6,59	6,74	4492	---	4,57
180	12010	11,80	12,10	8429	8,29	8,51	5691	---	5,77
200	14857	14,60	14,90	10395	10,20	10,50	7032	---	7,12
225	18791	18,50	18,80	13170	12,90	13,30	8908	---	9,03
250	23186	22,80	23,30	16210	16,00	16,30	10936	---	11,10
280	29082	---	29,20	20316	---	20,50	13736	---	13,90
315	36816	---	36,90	25733	---	25,90	17407	---	17,60
355	46701	---	46,80	32654	---	32,90	22133	---	22,40
400	59338	---	59,40	41476	---	41,70	28018	---	28,30
450	---	---	---	52566	---	52,80	35507	---	35,80
500	---	---	---	64839	---	65,20	43881	---	44,20
560	---	---	---	81265	---	81,70	54946	---	55,40
630	---	---	---	102932	---	103,00	69628	---	70,20
710	---	---	---	130799	---	131,00	88337	---	89,00
800	---	---	---	---	---	---	112071	---	113,00
900	---	---	---	---	---	---	141777	---	143,00
1000	---	---	---	---	---	---	175249	---	176,00

Tab. 8 – Rohrwandquerschnitte und Rohrgewichte für SurePEX und Sureline (Quelle: DIN 8074, DIN 16893)

¹⁾ ohne Berücksichtigung von Fertigungstoleranzen

²⁾ Werte gerundet

3.3 Betriebsüberdruck

Je nach Material und Wanddicke können Rohre mit entsprechend hohen Betriebsdrücken belastet werden. Mit den nachfolgenden Formeln kann der maximal zulässige Betriebsüberdruck und die vorliegende Betriebsspannung berechnet werden.

Bereits berechnete Betriebsüberdrücke befinden sich auf Seite 23 und 24.

Berechnung des zulässigen Betriebsüberdruckes

$$p_{zul} = \frac{20 \times \sigma_{zul} \times s_{min}}{d - s_{min}}$$

Berechnung der Betriebsspannung

$$\sigma_{zul} = \frac{\sigma_V}{C}$$

Weitere Vergleichsspannungswerte siehe Kapitel „Der Werkstoff Polyethylen“ auf Seite 12 und 13.

Vergleichsspannung (σ_V) [N/mm²] für Polyethylen bei 100 Jahren Betriebsdauer

Betriebstemperatur [°C]	PE 100/ PE 100-RC	PE-Xa
10	11,9	10,5
20	10,0	9,5
30	8,5	8,1
40	7,3	7,2

Tab. 9 – PE-Vergleichsspannung bei 100 Jahren Betriebsdauer

Gesamtbetriebskoeffizienten (C) [-] für Polyethylen

Trinkwasser	Erdgas
1,25	2,00

Tab. 10 – Mindestgesamtbetriebskoeffizient für PE-Rohrsysteme

- p_{zul} = zulässiger Betriebsüberdruck[bar]
- σ_{zul} = zulässige Betriebsspannung[N/mm²]
- σ_V = Vergleichsspannung[N/mm²]
- s_{min} = Mindestwanddicke [mm]
- d = Außendurchmesser [mm]
- C = Gesamtbetriebskoeffizient [-]

Zulässige Betriebsüberdrücke (p_{zul}) [bar] nach DVGW für Polyethylen bei 20°C und 50 Jahren Betriebsdauer

SDR	PE 100/ PE 100-RC	PE-Xa
Trinkwasser		
7,4	---	20
11	16	12,5
17	10	---
Erdgas		
7,4	---	---
11	10	8
17	4	---

Tab. 11 – Zulässige Betriebsdrücke nach DVGW (Quelle: DVGW-Arbeitsblätter W 400-1 und G 472)

Zulässiger Betriebsüberdruck (p_{zul}) [bar] für SurePEX-Rohre

Temperatur [°C]	Betriebs- dauer [Jahre]	Trinkwasser (C = 1,25)		Erdgas (C = 2,0)	
		SDR 7,4	SDR 11	SDR 7,4	SDR 11
10	1	28,3	17,9	17,6	11,2
	5	27,8	17,5	17,3	10,9
	10	27,6	17,4	17,2	10,9
	25	27,3	17,2	17,0	10,8
	50	27,1	17,1	16,9	10,7
	100	25,9	17,0	16,1	10,6
20	1	25,1	15,8	15,6	9,9
	5	24,6	15,5	15,3	9,7
	10	24,4	15,4	15,2	9,6
	25	24,2	15,2	15,1	9,5
	50	24,0	15,1	15,0	9,4
	100	23,8	15,0	14,8	9,4
30	1	22,3	14,0	13,9	8,8
	5	21,9	13,8	13,6	8,6
	10	21,7	13,7	13,5	8,6
	25	21,4	13,5	13,3	8,4
	50	21,3	13,4	13,3	8,4
	100	21,1	13,3	13,1	8,3
40	1	19,8	12,5	12,3	7,8
	5	19,4	12,2	12,1	7,6
	10	19,3	12,1	12,0	7,6
	25	19,1	12,0	11,9	7,5
	50	18,9	11,9	11,8	7,4
	100	18,7	11,8	11,6	7,4
50	1	17,7	11,1	11,0	6,9
	5	17,3	10,9	10,8	6,8
	10	17,2	10,8	10,7	6,8
	25	17,0	10,7	10,6	6,7
	50	16,8	10,6	10,5	6,6
	100	16,7	10,5	10,4	6,6
60	1	15,8	9,9	9,8	6,2
	5	15,5	9,7	9,6	6,1
	10	15,3	9,7	9,5	6,1
	25	15,2	9,5	9,5	5,9
	50	15,0	9,5	9,3	5,9
	100	14,1	8,9	8,8	5,6
70	1	14,1	8,9	8,8	5,6
	5	13,8	8,7	8,6	5,4
	10	13,7	8,6	8,5	5,4
	25	13,6	8,5	8,5	5,3
	50	13,4	8,5	8,3	5,3
	100	12,7	8,0	7,9	5,0
80	1	12,7	8,0	7,9	5,0
	5	12,4	7,8	7,7	4,9
	10	12,3	7,7	7,6	4,8
	25	12,1	7,6	7,5	4,8
	50	11,4	7,2	7,1	4,5
	100	11,0	6,9	6,8	4,3
90	1	11,4	7,2	7,1	4,5
	5	11,1	7,0	6,9	4,4
	10	11,0	6,9	6,8	4,3
95	1	10,8	6,8	6,7	4,3
	5	10,6	6,6	6,6	4,1

Tab. 12 – Zulässige Betriebsüberdrücke für SurePEX-Rohre (Quelle: DIN 16893)

Zulässiger Betriebsüberdruck (p_{zul}) [bar] für Sureline-Rohre

Temperatur [°C]	Betriebs- dauer [Jahre]	Trinkwasser (C = 1,25)			Erdgas (C = 2,0)		
		SDR 7,4	SDR 11	SDR 17	SDR 7,4	SDR 11	SDR 17
10	5	31,5	20,2	12,6	19,7	12,6	7,9
	10	31,0	19,8	12,4	19,4	12,4	7,8
	25	30,2	19,3	12,1	18,9	12,1	7,6
	50	29,7	19,0	11,9	18,6	11,9	7,4
	100	29,2	18,7	11,6	18,3	11,7	7,3
20	5	26,5	16,9	10,6	16,6	10,6	6,6
	10	26,0	16,6	10,4	16,3	10,4	6,5
	25	25,4	16,2	10,1	15,9	10,1	6,3
	50	25,0	16,0	10,0	15,6	10,0	6,3
	100	24,5	15,7	9,8	15,3	9,8	6,1
30	5	22,5	14,4	9,0	14,1	9,0	5,6
	10	22,1	14,1	8,8	13,8	8,8	5,5
	25	21,6	13,8	8,6	13,5	8,6	5,4
	50	21,2	13,5	8,4	13,3	8,4	5,3
40	5	19,3	12,3	7,7	12,1	7,7	4,9
	10	19,0	12,1	7,6	11,9	7,6	4,8
	25	18,5	11,8	7,4	11,6	7,4	4,6
	50	18,2	11,6	7,2	11,4	7,3	4,5
50	5	16,7	10,7	6,7	10,4	6,7	4,2
	10	16,2	10,4	6,5	10,1	6,5	4,1
	15	14,8	9,5	5,9	9,3	5,9	3,7
60	5	12,1	7,7	4,8	7,6	4,8	3,0

Tab. 13 – Zulässige Betriebsüberdrücke für Sureline-Rohre (in Anlehnung an EN 12201-1)

3.4 Betriebsunterdruck (Beuldruck)

Ein Betriebsunterdruck bzw. Beuldruck liegt immer dann vor, wenn in der Rohrleitung ein geringerer Betriebsdruck anliegt als außerhalb (Vakuumentleitungen). Aber auch Druckleitungen oberhalb des Atmosphärendruckes können einer solchen Belastung unterliegen. Dieser Fall kommt beispielsweise bei Reliningmaßnahmen mit Ringraumverfüllung vor.

Unterdrückanwendungen

- Relining mit Ringraumverfüllung
- Leitungen für Unterdruck, z. B. Saugleitungen
- Verlegung im Wasser oder Erdreich unterhalb des Grundwasserspiegels

Berechnung des zulässigen Betriebsunterdruckes (mit einem Sicherheitsfaktor = 2)

$$p_B = \frac{10 \times E_C}{8 \times (1 - \mu^2)} \times \left(\frac{s}{r_m}\right)^3$$

Berechnung der Mindestwanddicke

$$s_{min} = \sqrt[3]{\frac{p_B \times 4 \times (1 - \mu^2)}{10 \times E_C}} \times r_m$$

Richtwerte zu Langzeit-Kriechmodul (E_C) [N/mm²] für Sureline bei einer Spannung von 2 N/mm²

Zeitraum [Jahr(e)]	Temperatur [°C]			
	20	30	40	50
1	290	250	200	170
10	220	190	170	150
25	200	180	160	140

Tab. 14 – Richtwerte zu Langzeit-Kriechmodul für Sureline-Rohre (in Anlehnung an DVS-Richtlinie 2205-1)

Berechnung der Beulspannung

$$\sigma_B = 0,1 \times p_B \times \frac{r_m}{s}$$

- p_B = zulässiger Beuldruck[bar]
 σ_B = Beulspannung [N/mm²]
 r_m = mittlerer Rohrradius [mm]
 s = Wanddicke [mm]
 E_C = Kriechmodul (t = 25 Jahre) [N/mm²]
 μ = Querkontraktionszahl (PE ~ 0,4) [-]

Zulässige Betriebsunterdrücke¹⁾ (p_B) [bar] für Sureline-Rohre

SDR	Betriebs-temperatur [°C]	Betriebsdauer			
		min. 30	1	10	25
11	20	5,25	3,45	2,62	2,38
	30	---	2,98	2,26	2,14
	40	2,90	2,38	2,02	1,90
	50	---	2,02	1,79	---
	60	1,75	1,60	---	---
17	20	1,40	0,84	0,64	0,58
	30	---	0,73	0,55	0,52
	40	0,75	0,58	0,49	0,47
	50	---	0,49	0,44	---
	60	0,45	0,40	---	---
	70	---	0,25	---	---

Tab. 15 – Zulässige Betriebsunterdrücke für Sureline-Rohre (mit einem Sicherheitsfaktor = 2,0)

¹⁾ Betriebsunterdruck = Druckdifferenz zwischen außen und innen

Achtung: Bei Unterdruckentwässerungssystemen sollte die anfängliche Ringsteifigkeit der PE-Rohrleitung ≥ 4 kN/mm² betragen!

Ringsteifigkeit von PE-Rohren

Anfangsringsteifigkeit (s_{calc}) [kN/m²] für PE-Rohre

SDR	Elastizitätsmodul [N/mm ²]		
	800	1000	1200
33	2,0	2,5	3,1
26	4,3	5,3	6,4
17	16,3	20,3	24,4
11	66,7	83,3	100,0
7,4	254,3	317,9	381,5

Tab. 16 – Anfangsringsteifigkeit von PE-Rohren (Quelle: DIN EN 12201-2)

Weitere Kriechmodulwerte siehe Kapitel „Der Werkstoff Polyethylen“ auf Seite 14.

3.5 Rohrrinnendurchmesser

Um einen definierten Volumenstrom oder Massenstrom zu gewährleisten, muss ein Rohrsystem über einen ausreichenden Innendurchmesser verfügen. Mit der nachfolgenden Berechnungsgrundlage können die notwendigen Rohrrinnendurchmesser ermittelt werden. Die Berechnungsvorlagen beinhalten flüssige und gasförmige Strömungsmedien. Als Grundlage der Berechnung dient die Kontinuitätsgleichung.

Berechnung des Rohrrinnendurchmessers bei Flüssigkeiten:

$$d_i = 18,8 \times \sqrt{\frac{\dot{V}}{v}}$$

$$\dot{V} = 0,0036 \times A \times v$$

bei Gasen:

$$d_i = 35,7 \times \sqrt{\frac{\dot{m}}{v}}$$

$$\dot{m} = 0,0036 \times A \times v \times \rho$$

Richtwerte zur Strömungsgeschwindigkeit (v)	
Flüssigkeit	Gas
v ≈ 0,5 bis 1,0 m/s (Saugleitung)	v ≈ 10 bis 30 m/s
v ≈ 1,0 bis 3,0 m/s (Druckleitung)	

Tab. 17 – Richtwerte zu Strömungsgeschwindigkeiten

\dot{V}	=	Volumenstrom.....[m ³ /h]
\dot{m}	=	Massenstrom .....[kg/h]
A	=	freier Rohrquerschnitt .....[mm ²]
ρ	=	Dichte des Mediums .....[kg/m ³]
d_i	=	Rohrrinnendurchmesser [mm]
v	=	Strömungsgeschwindigkeit.....[m/s]

Rohrrinnendurchmesser ¹⁾ (d _i) [mm] und Durchflussquerschnitte ¹⁾ (A) [mm ²] von FRANK PE-Rohrsystemen						
d _o [mm]	SurePEX		Sureline I, II und mit Schutzmantel			
	SDR 11		SDR 11		SDR 17	
	d _i	A	d _i	A	d _i	A
25	22,7	405	---	---	---	---
32	26,2	539	26,0	531	---	---
40	32,6	835	32,6	835	---	---
50	40,8	1307	40,8	1307	---	---
63	51,4	2075	51,4	2075	---	---
75	61,4	2961	61,4	2961	66,0	3421
90	73,6	4254	73,6	4254	79,2	4927
110	90,0	6362	90,0	6362	96,8	7359
125	102,2	8203	102,2	8203	110,2	9538
140	114,6	10315	114,6	10315	123,4	11960
160	130,8	13437	130,8	13437	141,0	15615
180	147,4	17018	147,2	17018	158,6	19756
200	163,8	21021	163,6	21021	176,2	24384
225	---	---	184,0	26590	198,2	30853
250	---	---	204,6	32878	220,4	38152
280	---	---	229,2	41259	246,8	47839
315	---	---	257,8	52198	277,6	60524
355	---	---	290,6	66326	312,8	76846
400	---	---	327,4	84187	352,6	97646
450	---	---	368,2	106477	396,6	123537
500	---	---	409,2	131511	440,6	152468
560	---	---	458,4	165036	493,6	191355
630	---	---	515,6	208793	555,2	242097

Tab. 18 – Rohrrinnendurchmesser und Durchflussquerschnitt e von Sureline- und SurePEX-Rohren

¹⁾ ohne Berücksichtigung von Fertigungstoleranzen

3.6 Hydraulische Druckverluste (flüssig Medien)

Beim Durchströmen von Rohrsystemen entstehen Druckverluste. Um ein bestimmtes Druckniveau an den Entnahmestellen gewährleisten zu können, muss der Druckverlust der Rohrleitung bekannt sein. Bei einer Druckverlustberechnung wird jedes Bauteil separat betrachtet bzw. berechnet. Die daraus resultierende Summe der Einzeldruckverluste entspricht dem Gesamtdruckverlust. Die nachfolgenden Berechnungsgrundlagen beziehen sich ausschließlich auf das Fördermedium Wasser (ca. 10°C).

Druckverlustfaktoren

- Länge der Rohrleitung
- Lichter Rohrquerschnitt
- Rohrreibungszahl
- Strömungsform (turbulent/laminar)
- Rohrverbindungen und Armaturen
- Zähigkeit und Dichte des strömenden Mediums

Berechnung Gesamtdruckverlust

$$\Delta p_{ges} = \Delta p_R + \Delta p_F + \Delta p_A$$

Berechnung Druckverlust (Rohr)

$$\Delta p_R = \lambda \times \frac{L}{d_i} \times \frac{\rho}{2 \times 10^2} \times v^2$$

Berechnung Druckverlust (Formteil)

$$\Delta p_F = \zeta \times \frac{\rho}{2 \times 10^5} \times v^2 \times n$$

Berechnung Druckverlust (Armatur)

$$\Delta p_A = \zeta \times \frac{\rho}{2 \times 10^5} \times v^2 \times n$$

Falls der entsprechende Armaturen-kennwert vorliegt, kann auch nachfolgende Formel herangezogen werden.

$$\Delta p_A = \frac{\dot{V}^2}{k_v^2} \times \rho$$

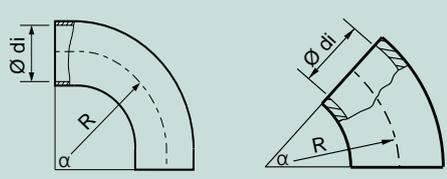
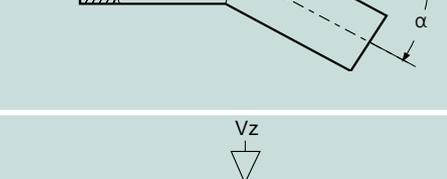
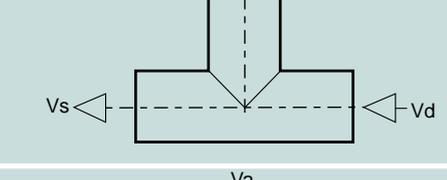
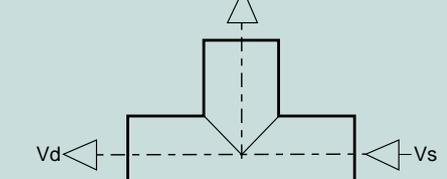
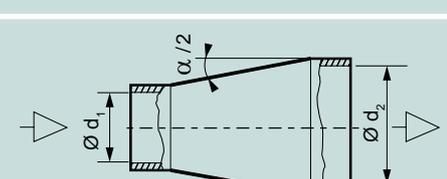
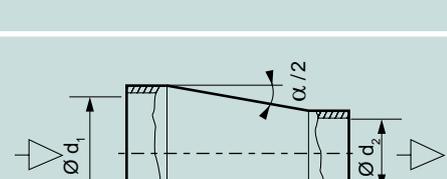
Berechnung Druckverlust (Verbindung)

Eine exakte Angabe ist nicht möglich, weil Art und Güte der ausgeführten Verbindungen (Schweißungen, Verschraubungen, Flanschverbindungen) Unterschiede aufweisen. Ausreichend ist in der Regel ein Sicherheitszuschlag von 3 bis 5 % zum errechneten Gesamtdruckverlust.

Δp_{ges}	= Gesamtdruckverlust	[bar]
Δp_R	= Druckverlust Rohr	[bar]
Δp_F	= Druckverlust Formteil.....	[bar]
Δp_A	= Druckverlust Armatur	[bar]
Δp_v	= Druckverlust Verbindung.....	[bar]
λ	= Rohrreibungszahl; PE = ca. 0,02	[-]
ζ	= Widerstandsbeiwert des Formteils	[-]
L	= Rohrleitungslänge	[m]
d_i	= Rohrinne Durchmesser	[mm]
ρ	= Dichte des strömenden Mediums	[kg/m ³]
v	= Strömungsgeschwindigkeit	[m/s]
k_v	= Armaturen-kennwert _{spez.}	[m ³ /h]
V	= Volumenstrom	[m ³ /h]

Bereits berechnete Rohrdruckverluste befinden sich ab Seite 31

Richtwerte zu Widerstandsbeiwerten (ζ) [-] von PE-Formteilen

Formstück	Widerstandsbeiwert ζ			Technische Zeichnung	
Bogen 90°	R	ζ			
	1,0 x d	0,51			
	1,5 x d	0,41			
	2,0 x d	0,34			
	4,0 x d	0,23			
Bogen 45°	R	ζ			
	1,0 x d	0,34			
	1,5 x d	0,27			
	2,0 x d	0,20			
	4,0 x d	0,15			
Winkel	α	ζ			
	90°	~ 1,2			
	45°	0,30			
	30°	0,14			
	20°	0,05			
	15°	0,05			
	10°	0,04			
T-Stück Stromvereinigung 90° Volumenstrom V_z =hinzukommender V_d =durchgehender V_s =gesamter	V_z / V_s	ζ_z	ζ_A		
	0,0	-1,20	0,06		
	0,2	-0,40	0,20		
	0,4	0,10	0,30		
	0,6	0,50	0,40		
	0,8	0,70	0,50		
	1,0	0,90	0,60		
T-Stück Stromtrennung 90° Volumenstrom V_a =abgehender V_d =durchgehender V_s =gesamter	V_A / V_s	ζ_A	ζ_s		
	0,0	0,97	0,10		
	0,2	0,90	-0,10		
	0,4	0,90	-0,05		
	0,6	0,97	0,10		
	0,8	1,10	0,20		
	1,0	1,30	0,35		
Reduktion Stromerweiterung	d_2 / d_1	$4^\circ > \alpha < 8^\circ$	$\alpha < 16^\circ$	$< 24^\circ$	
	1,2	0,10	0,15	0,20	
	1,4	0,20	0,30	0,50	
	1,6	0,50	0,80	1,50	
	1,8	1,20	1,80	3,00	
	2,0	1,90	3,10	5,30	
Reduktion Stromverengung	d_1 / d_2	$\alpha < 4^\circ$	$\alpha < 8^\circ$	$\alpha < 20^\circ$	
	1,2	0,046	0,023	0,010	
	1,4	0,067	0,033	0,013	
	1,6	0,076	0,038	0,015	
	1,8	0,031	0,041	0,016	
	2,0	0,034	0,042	0,017	

Tab. 19 – Widerstandsbeiwerte für PE-Formteile (Quelle: DVS-Richtlinie 2210-1)

Richtwerte zu Widerstandsbeiwerten¹⁾ (ζ) [-] von Armaturen

DN	Membran-ventil	Geradsitz-ventil	Schrägsitz-ventil	Schieber ohne Einschnü- rung	Kugelhahn	Absperr- klappe	Freifluss- rückschlag- klappe	Rückschlag- klappe
25	4,0	2,1	3,0	0,1-0,3	0,1-0,15	0,3-0,6	2,5	1,9
32	4,2	2,2	3,0				2,4	1,6
40	4,4	2,3	3,0				2,3	1,5
50	4,5	2,3	2,9				2,0	1,4
65	4,7	2,4	2,9				2,0	1,4
80	4,8	2,5	2,8				2,0	1,3
100	4,8	2,4	2,7				1,6	1,2
125	4,5	2,3	2,3				1,6	1,0
150	4,1	2,1	2,0				2,0	0,9
200	3,6	2,0	1,4				2,5	0,8

Tab. 20 – Widerstandsbeiwerte für Armaturen (Quelle: DVS-Richtlinie 2210-1)

¹⁾ Die angegebenen Widerstandswerte sind Anhaltswerte und dienen überschlägigen Druckverlustberechnungen. Genaue Angaben können vom Armaturenhersteller eingeholt werden.

Armaturenauswahlkriterien

Auswahlkri- terien	Ventile			Schieber ¹⁾	Kugelhahn	Klappen		
	Membran	Geradsitz	Schrägsitz			Absperr	Freifluss- rückschlag	Rückschlag
Strömungs- widerstand	hoch	hoch	hoch	niedrig	niedrig	mittel	hoch	mittel
Öffnungs-/ Schließzei- ten	mittel	mittel	mittel	lang	kurz	kurz	kurz	kurz
Betäti- gungsmo- ment	gering	gering	gering	gering	groß/ gering ²⁾	mittel	---	---
Verschleiß- verhalten	mittel	mittel	mittel	gering	gering	mittel	mittel	mittel
Durchfluss- regelung	geeignet	geeignet	geeignet	bedingt geeignet	bedingt geeignet	bedingt geeignet	---	---

Tab. 21 – Armaturen Auswahlhilfe (Quelle: DVS-Richtlinie 2210-1)

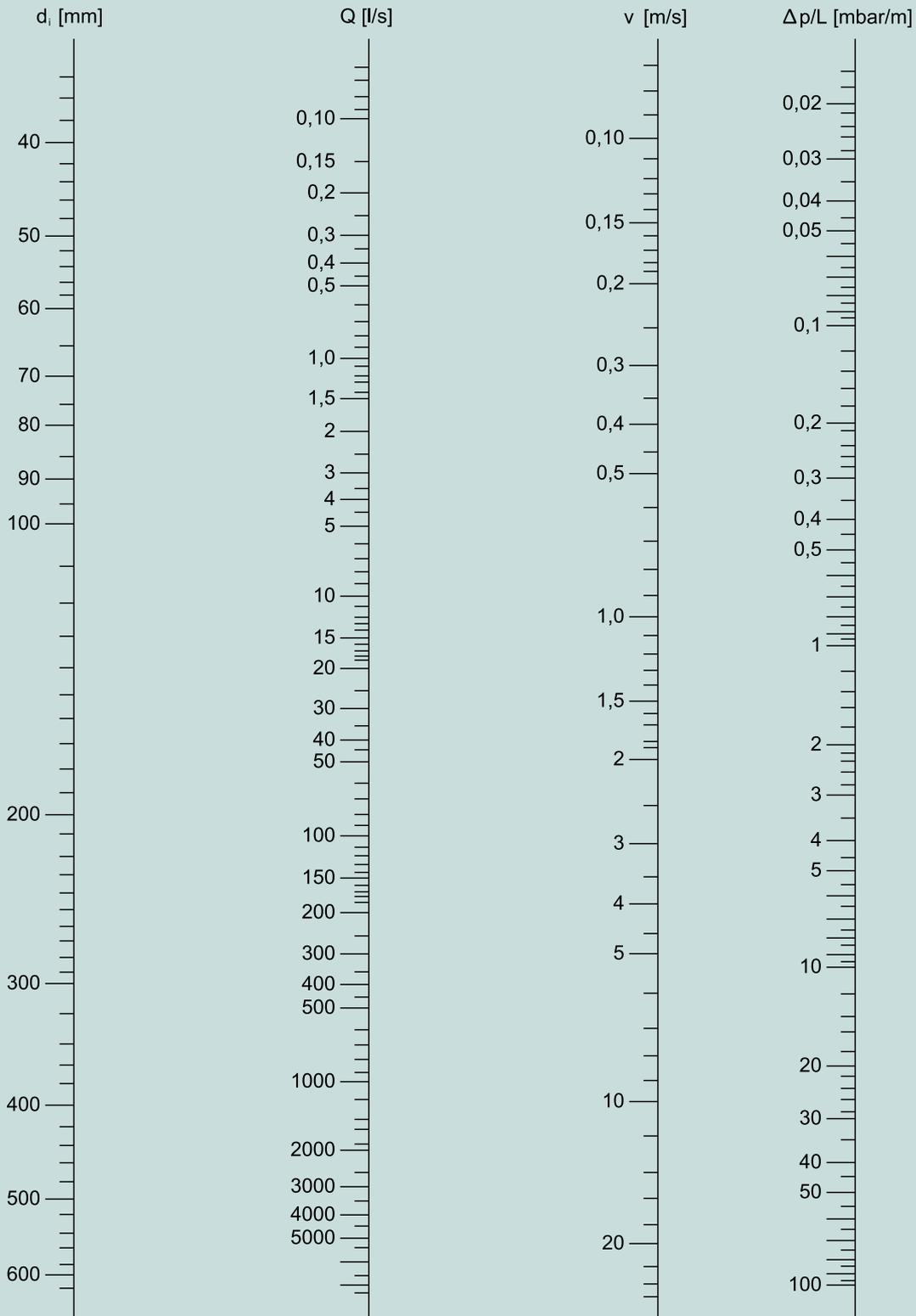
¹⁾ ohne Einschnü- rung

²⁾ mit Getriebe

Durchflussnomogramm für FRANK PE-Rohrsysteme, Medium = Wasser

Zur überschlägigen Ermittlung von Strömungsgeschwindigkeiten, Druckverlust und Fördermenge dient das nachfolgende Durchfluss-Nomogramm.

Bei mittlerer Strömungsgeschwindigkeit werden pro T-Stück, Reduktion und Winkel 90° ca. 20 m, pro Bogen $r \approx d_0$ ca. 10 m und pro Bogen $r \approx 1,5 d_0$ ca. 5 m Rohrlänge zugeschlagen.



Richtwerte für hydraulische Druckverluste¹⁾ [bar/100 m] für FRANK PE-Rohrleitungen und einer Betriebstemperatur von 10°C

Volumenstrom [l/s]	Innendurchmesser [mm]									
	25		30		40		50		60	
	v [m/s]	Δp [bar/100 m]	v [m/s]	Δp [bar/100 m]	v [m/s]	Δp [bar/100 m]	v [m/s]	Δp [bar/100 m]	v [m/s]	Δp [bar/100 m]
0,0315	0,06	0,004								
0,04	0,08	0,006								
0,05	0,09	0,009	0,06	0,003						
0,063	0,12	0,01	0,08	0,005						
0,08	0,15	0,02	0,10	0,007	0,06	0,002				
0,1	0,19	0,03	0,12	0,010	0,08	0,003				
0,125	0,24	0,04	0,15	0,01	0,10	0,005	0,06	0,002		
0,16	0,30	0,06	0,19	0,02	0,12	0,008	0,08	0,003	0,05	0,001
0,2	0,38	0,09	0,24	0,03	0,15	0,01	0,10	0,004	0,07	0,002
0,25	0,47	0,14	0,30	0,05	0,19	0,02	0,12	0,006	0,09	0,002
0,315	0,59	0,21	0,38	0,07	0,24	0,02	0,15	0,008	0,11	0,004
0,4	0,75	0,32	0,48	0,11	0,31	0,04	0,19	0,01	0,14	0,005
0,5	0,94	0,47	0,60	0,16	0,38	0,05	0,24	0,02	0,17	0,008
0,63	1,19	0,70	0,76	0,24	0,48	0,08	0,30	0,03	0,21	0,01
0,8	1,51	1,08	0,96	0,36	0,61	0,12	0,39	0,04	0,27	0,02
1	1,88	1,61	1,20	0,54	0,77	0,18	0,48	0,06	0,34	0,03
1,25	2,35	2,40	1,50	0,81	0,96	0,27	0,60	0,09	0,43	0,04
1,6	3,01	3,76	1,92	1,25	1,22	0,43	0,77	0,14	0,54	0,06
2			2,40	1,88	1,53	0,63	0,96	0,21	0,68	0,09
2,5			3,00	2,81	1,91	0,95	1,21	0,31	0,85	0,13
3,15					2,04	1,44	1,52	0,47	1,07	0,20
4					3,06	2,22	1,93	0,73	1,36	0,31
5							2,41	1,09	1,70	0,47
6,3							3,04	1,66	2,14	0,71
8									2,72	1,10
10									3,40	1,65

Tab. 22 – Richtwerte für Druckverluste bei PE-Rohrleitungen bei einem Rohrinne Durchmesser zwischen 25 mm und 60 mm

¹⁾ Werte gerundet

Richtwerte für hydraulische Druckverluste¹⁾ [bar/100 m] für FRANK PE-Rohrleitungen und einer Betriebstemperatur von 10°C

Volumenstrom [l/s]	Innendurchmesser [mm]									
	75		90		100		115		130	
	v [m/s]	Δp [bar/100 m]	v [m/s]	Δp [bar/100 m]	v [m/s]	Δp [bar/100 m]	v [m/s]	Δp [bar/100 m]	v [m/s]	Δp [bar/100 m]
0,25	0,06	0,001								
0,315	0,07	0,002								
0,4	0,09	0,002	0,06	0,001						
0,5	0,12	0,003	0,08	0,001	0,06	0,001				
0,63	0,15	0,005	0,10	0,002	0,08	0,001	0,06	0,001		
0,8	0,19	0,008	0,13	0,003	0,10	0,002	0,08	0,001	0,06	0,001
1	0,24	0,01	0,16	0,004	0,12	0,002	0,10	0,001	0,07	0,001
1,25	0,29	0,02	0,20	0,006	0,15	0,003	0,12	0,002	0,09	0,001
1,6	0,38	0,03	0,25	0,010	0,20	0,005	0,17	0,003	0,12	0,002
2	0,47	0,04	0,31	0,01	0,24	0,008	0,20	0,005	0,15	0,002
2,5	0,59	0,06	0,39	0,02	0,31	0,01	0,24	0,007	0,19	0,004
3,15	0,74	0,08	0,50	0,03	0,38	0,02	0,31	0,01	0,23	0,005
4	0,94	0,13	0,63	0,05	0,49	0,03	0,39	0,02	0,30	0,008
5	1,18	0,19	0,79	0,07	0,61	0,04	0,49	0,02	0,37	0,01
6,3	1,48	0,29	0,99	0,11	0,77	0,06	0,61	0,03	0,47	0,02
8	1,88	0,45	1,26	0,17	0,98	0,09	0,78	0,05	0,60	0,03
10	2,35	0,67	1,57	0,25	1,22	0,14	0,97	0,08	0,74	0,04
12,5	2,94	1,01	1,97	0,38	1,52	0,21	1,22	0,12	0,93	0,06
16			2,52	0,60	1,95	0,32	1,56	0,19	1,19	0,10
20			3,14	0,90	2,44	0,48	1,95	0,28	1,49	0,15
25					3,05	0,73	2,43	0,42	1,86	0,22
31,5							3,07	0,64	2,34	0,33
40									2,98	0,52

Tab. 23 – Richtwerte für Druckverluste bei PE-Rohrleitungen bei einem Rohrinne Durchmesser zwischen 75 mm und 130 mm

¹⁾ Werte gerundet

Richtwerte für hydraulische Druckverluste¹⁾ [bar/100 m] für FRANK PE-Rohrleitungen und einer Betriebstemperatur von 10°C

Volumenstrom [l/s]	Innendurchmesser [mm]									
	150		165		185		205		230	
	v [m/s]	Δp [bar/100 m]	v [m/s]	Δp [bar/100 m]	v [m/s]	Δp [bar/100 m]	v [m/s]	Δp [bar/100 m]	v [m/s]	Δp [bar/100 m]
1	0,06									
1,25	0,07	0,001	0,06							
1,6	0,09	0,001	0,08	0,001	0,06					
2	0,12	0,001	0,10	0,001	0,08	0,001				
2,5	0,15	0,002	0,12	0,001	0,09	0,001				
3,15	0,19	0,003	0,15	0,002	0,12	0,001	0,10	0,001	0,08	
4	0,24	0,005	0,19	0,003	0,15	0,002	0,12	0,001	0,10	0,001
5	0,29	0,007	0,24	0,004	0,19	0,002	0,15	0,001	0,12	0,001
6,3	0,37	0,01	0,30	0,006	0,24	0,004	0,19	0,002	0,15	0,001
8	0,47	0,02	0,38	0,010	0,30	0,006	0,24	0,003	0,19	0,002
10	0,59	0,02	0,48	0,01	0,38	0,008	0,31	0,005	0,24	0,003
12,5	0,74	0,04	0,60	0,02	0,47	0,01	0,38	0,007	0,30	0,004
16	0,94	0,06	0,76	0,03	0,60	0,02	0,49	0,01	0,39	0,007
20	1,18	0,08	0,95	0,05	0,75	0,03	0,61	0,02	0,49	0,010
25	1,47	0,12	1,19	0,07	0,94	0,04	0,76	0,03	0,61	0,01
31,5	1,85	0,19	1,50	0,11	1,19	0,06	0,96	0,04	0,77	0,02
40	2,35	0,29	1,90	0,17	1,50	0,10	1,22	0,06	0,97	0,03
50	2,94	0,44	2,38	0,26	1,88	0,15	1,52	0,09	1,21	0,05
63			3,00	0,40	2,37	0,23	1,92	0,14	1,53	0,08
80					3,01	0,35	2,44	0,21	1,94	0,12
100							3,05	0,32	2,43	0,18
125									3,04	0,28

Tab. 24 – Richtwerte für Druckverluste bei PE-Rohrleitungen bei einem Rohrinne Durchmesser zwischen 150 mm und 230 mm

¹⁾ Werte gerundet

Richtwerte für hydraulische Druckverluste¹⁾ [bar/100 m] für FRANK PE-Rohrleitungen und einer Betriebstemperatur von 10°C

Volumenstrom [l/s]	Innendurchmesser [mm]									
	260		290		330		370		410	
	v [m/s]	Δp [bar/100 m]	v [m/s]	Δp [bar/100 m]	v [m/s]	Δp [bar/100 m]	v [m/s]	Δp [bar/100 m]	v [m/s]	Δp [bar/100 m]
5	0,10	0,001								
6,3	0,12	0,001								
8	0,15	0,001	0,12	0,001						
10	0,19	0,002	0,15	0,001	0,12	0,001				
12,5	0,24	0,002	0,19	0,001	0,15	0,001				
16	0,31	0,004	0,24	0,002	0,19	0,001	0,15	0,001		
20	0,38	0,006	0,30	0,003	0,24	0,002	0,19	0,001	0,15	0,001
25	0,48	0,008	0,38	0,005	0,30	0,003	0,24	0,002	0,19	0,001
31,5	0,60	0,01	0,48	0,007	3,75	0,004	0,30	0,002	0,24	0,001
40	0,77	0,02	0,60	0,01	0,48	0,006	0,38	0,004	0,30	0,002
50	0,96	0,03	0,76	0,02	0,60	0,009	0,47	0,005	0,38	0,003
63	1,21	0,04	0,95	0,02	0,75	0,01	0,59	0,008	0,48	0,005
80	1,54	0,07	1,21	0,04	0,95	0,02	0,75	0,01	0,61	0,007
100	1,92	0,10	1,51	0,06	1,19	0,03	0,94	0,02	0,76	0,01
125	2,40	0,16	1,89	0,09	1,49	0,03	0,94	0,02	0,76	0,01
160	3,07	0,25	2,42	0,14	1,90	0,08	1,50	0,04	1,22	0,03
200			3,02	0,21	2,38	0,12	1,88	2,07	1,52	0,04
250					2,97	0,17	2,35	0,10	1,90	0,06
315							2,96	0,15	2,40	0,09
400									3,05	0,14

Tab. 25 – Richtwerte für Druckverluste bei PE-Rohrleitungen bei einem Rohrinne Durchmesser zwischen 260 mm und 410 mm

¹⁾ Werte gerundet

3.7 Permeabilität

Nach dem "Fick'schen Gesetz" lässt sich die Permeation von Gasen durch Kunststoffrohre berechnen. Dabei ist die Permeation je SDR-Klasse für alle Dimensionen je Längeneinheit gleich. Der gasspezifische Permeationskoeffizient ist temperaturabhängig und in nachfolgender Tabelle für 20°C angegeben.

Berechnung der Permeabilität

Permeiertes Gasvolumen:

$$V = P \frac{\pi \times d_a \times L \times p \times t}{s}$$

PE-Permeationskoeffizienten (P) [cm³/m bar Tag] bei 20°C	
Medium	Koeffizient bei 20°C
Stickstoff	0,018
Luft	0,029
Kohlenmonoxid	0,036
Erdgas	0,056
Rohgas	0,056
Biogas	0,056
Methan	0,056
Argon	0,066
Sauerstoff	0,072
Ethan	0,089
Helium	0,150

Tab. 26 – PE-Permeationskoeffizienten

Richtwerte zum Permeabilitätsvolumen ¹⁾ (V) [dm³] von FRANK PE-Rohrsystemen (Erdgas, 20°C, pro Tag)						
Länge [m]	Betriebsüberdruck (p) [bar]					
	SDR 11			SDR 17		
	0,1	2	5	0,1	2	5
5	0,001	0,020	0,050	0,002	0,030	0,075
10	0,002	0,040	0,095	0,003	0,060	0,150
50	0,010	0,200	0,485	0,015	0,300	0,750
75	0,015	0,300	0,725	0,023	0,450	1,120
100	0,020	0,400	0,970	0,030	0,600	1,500
150	0,030	0,600	1,450	0,045	0,900	2,250
200	0,040	0,800	1,950	0,060	1,200	2,990
300	0,060	1,150	2,900	0,090	1,800	4,490
500	0,100	1,950	4,850	0,150	3,000	7,500
750	0,150	2,900	7,250	0,250	4,500	11,500
1000	0,200	3,850	9,700	0,300	6,000	15,000

Tab. 27 – Permeabilitätsvolumen: FRANK PE-Rohrsysteme

¹⁾ Werte gerundet

V	=	Gasvolumen (20°C; 1 bar)	[cm³]
P	=	Permeationskoeffizient	[cm³/m bar Tag]
d _a	=	Außendurchmesser	[mm]
L	=	Rohrlänge	[m]
p	=	Betriebsüberdruck	[bar]
t	=	Zeit	[Tage]
s	=	Rohrwanddicke	[mm]

3.8 Längenänderung durch Temperaturwechsel

Komplett erdverlegte Rohrleitungen können als festgespannte Systeme behandelt werden, d. h. die Längenänderungen werden kompensiert.

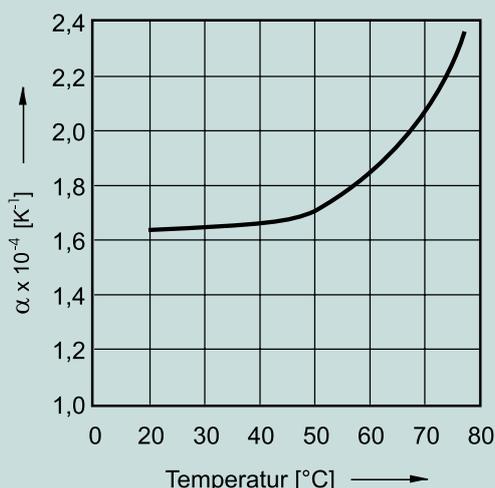
Eine Längenänderung der Rohrleitung verursacht eine Bewegung im Rohrsystem. Wenn diese Bewegung nicht ausreichend kompensiert wird führt dies zu einer zusätzlichen Krafteinwirkung bzw. Belastung im System. Bei frei verlegten Rohrleitungen führen u. a. Temperaturwechsel bzw. -differenzen zu einer Längenänderung. Neben der Temperaturdifferenz ist auch die Länge des Rohrsystems und der materialspezifische Ausdehnungskoeffizient ausschlaggebend.

Berechnung der Längenänderung durch Temperaturdifferenz

Zur Ermittlung der Temperaturdifferenz ΔT wird die größte Differenz zwischen Verlegetemperatur und Betriebstemperatur zu Grunde gelegt.

$$\Delta L_T = \alpha \times L \times \Delta T$$

Ausdehnungskoeffizient (α) [K^{-1}] für Rohre aus PE 100 in Abhängigkeit der Temperatur



Der Ausdehnungskoeffizient (α) kann für PE 100 und PE 100-RC mit einem Mittelwert von 0,18 [mm/m K] und für PE-Xa von 0,14 [mm/m K] angenommen werden. Tatsächlich ist der Ausdehnungskoeffizient aber temperaturabhängig.

Abb. 12 – PE-Ausdehnungskoeffizient
($\alpha = 1,0 \times 10^{-4} 1/K = 0,1 \text{ mm/m K}$)

Längenänderung¹⁾ (ΔL) [cm] von FRANK PE-Rohrsystemen mit einer max. Rohrwandtemperatur von 60°C

Länge [m]	Temperaturdifferenz (K) [°C]							
	SurePEX				Sureline			
	5	15	25	35	5	15	25	35
5	0,3	1,0	1,7	2,5	0,4	1,5	2,0	3,0
10	0,7	2,1	3,5	5,0	0,9	2,5	4,0	6,0
50	3,5	10,5	17,5	24,5	4,0	12,5	21,0	30,0
75	5,0	15,5	26,0	37,0	6,5	19,0	32,0	44,5
100	7,0	21,0	35,0	49,0	8,5	25,5	42,5	59,5
150	10,5	31,5	52,5	73,5	12,5	38,5	64,0	89,0
200	14,0	42,0	70,0	98,0	17,0	51,0	85,0	120
300	21,0	63,0	105	147	25,5	76,5	130	180
500	35,0	105	175	245	42,5	130	210	300
750	52,5	155	260	370	63,5	190	320	445
1000	70,0	210	350	490	85,0	255	425	595

Tab. 28 – Längenänderungen: FRANK PE-Rohrsysteme

¹⁾ Werte gerundet

- ΔL = Längenänderung [mm]
- L = Rohrleitungslänge [m]
- α = Ausdehnungskoeffizient [mm/m K]
- ΔT = Temperaturdifferenz [K]

3.9 Mindestbiegeschenkel

Auftretende Längenänderungen bei frei verlegten Rohrleitungen müssen, sofern keine feste Einspannung der Rohrleitung vorgesehen ist, mit einer ausreichenden axialen Bewegungsfreiheit ausgeglichen werden. In den meisten Fällen können Richtungsänderungen im Leitungsverlauf über Biegeschenkel zur Aufnahme der Längenänderung genutzt werden. Andernfalls sind Dehnungsschleifen einzusetzen. Für eine ausreichende Führung der Rohrleitung in Lospunkten ist zu sorgen, wobei die auftretenden Reaktionskräfte zu berücksichtigen sind.

Bereits berechnete Mindestbiegeschenkel­längen befinde sich auf Seite 38

Berechnung der Mindestbiegeschenkel­länge

$$L_S = k \sqrt{\Delta L \times d_a}$$

Proportionalitätsfaktoren (k) [-] für PE

Situation	Temperaturdifferenz [K]			
	0	10	30	40
Temperaturwechsel	16	17	23	28
einmalige Temperaturänderung	12	12	16	17

Tab. 29 – PE-Proportionalitätsfaktoren

Achtung: Die angegebenen Proportionalitätsfaktoren (k) beziehen sich auf eine Montagetemperatur von 20°C.

- L_S = Schenkellänge [mm]
- ΔL = Längenänderung [mm]
- d_a = Außendurchmesser [mm]
- k = Proportionalitätsfaktor [-]

Prinzip­skizzen zur Aufnahme von Längenänderungen

Skizze einer L-Kompensation

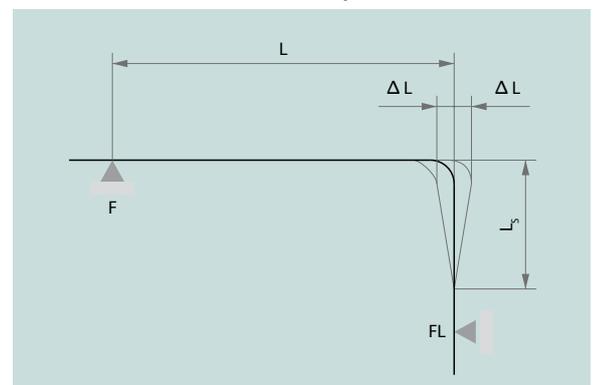


Abb. 13 – L-Kompensation: F = Festlager, FL = Führungslager

Skizze einer Z-Kompensation

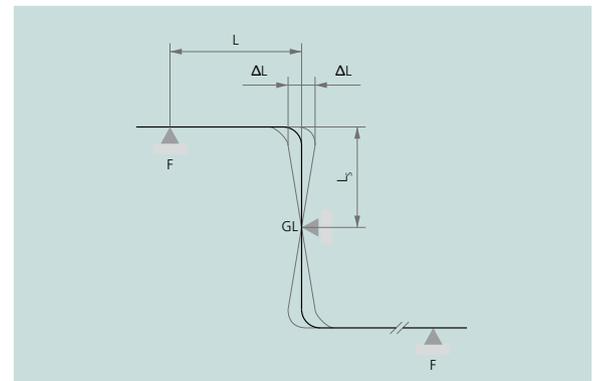


Abb. 14 – Z-Kompensation: F = Festlager, GL = Gleitlager

Skizze einer U-Kompensation

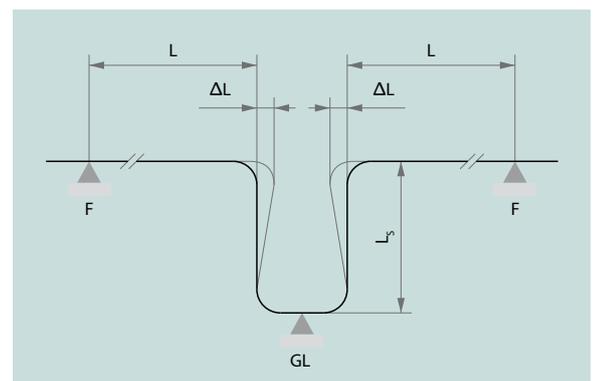


Abb. 15 – U-Kompensation: F = Festlager, GL = Gleitlager

Bestimmung der Mindestbiegeschenkelänge

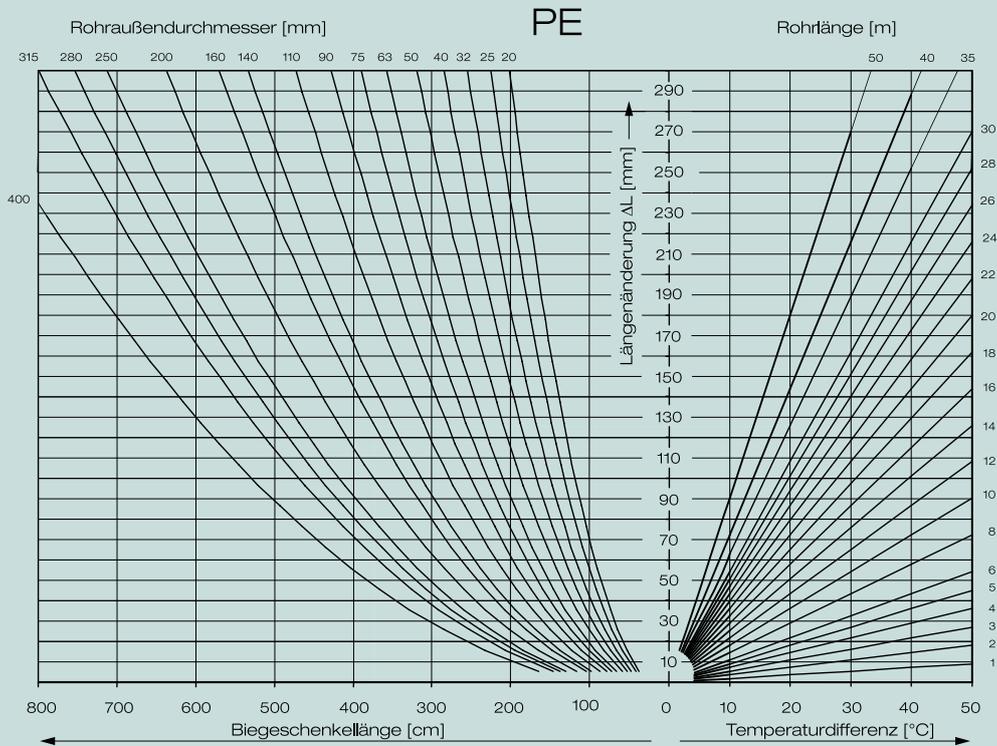


Abb. 16 – Überschlägige Ermittlung der Mindestbiegeschenkelängen [cm] einer PE-Rohrleitung

Mindestbiegeschenkelängen [cm] von FRANK PE-Rohrleitungen

d_a [mm]	Längenänderung ΔL [mm]								
	50	100	150	200	250	300	350	400	500
32	105	148	183	209	235	257	279	296	331
40	118	166	205	235	261	288	309	331	370
50	131	187	227	261	292	322	348	370	414
63	148	209	257	296	331	361	388	418	466
75	161	227	278	322	361	392	427	453	505
90	178	248	305	353	392	431	466	496	557
110	196	274	340	387	435	475	514	549	614
125	209	292	357	414	461	505	548	583	653
140	218	309	379	440	492	535	579	618	692
160	235	331	405	470	522	575	618	662	740
180	248	353	431	496	557	609	657	701	783
200	261	370	453	522	583	640	692	740	827
225	279	392	483	557	622	679	736	783	879
250	292	417	505	583	653	718	775	827	923
280	309	435	535	618	692	757	818	870	979
315	331	466	570	657	735	805	870	927	1036

Tab. 30 – Mindestbiegeschenkelängen [cm] für eine PE-Rohrleitung

3.10 Stützweiten

Als Richtwert für die zulässige Durchbiegung kann $L_A/500$ angenommen werden.

Die Unterstützungsabstände von thermoplastischen Kunststoffrohrleitungen sind unter Beachtung der zulässigen Biegespannung und einer begrenzten Durchbiegung des Rohrstranges zu bestimmen. Stützweiten sind abhängig von den Festigkeitseigenschaften des Rohrwerkstoffes, den Rohrabmessungen, dem spezifischen Gewicht des Durchflusstoffes, der Betriebstemperatur und der Anordnung der Leitung.

Berechnung von Stützweiten bei frei verlegten Rohrleitungen

Bereits berechnete Stützweiten befinden sich auf Seite 41.

$$L_A = f_{LA} \times \sqrt[3]{\frac{E_C \times J_R}{q}}$$

Durchbiegungsfaktor [-]			
d_o [mm]	≤ 63	75 - 225	≥ 250
f_{LA}	0,92	0,86	0,80

Tab. 31 – Durchbiegungsfaktor

Umrechnung von Stützweiten

Nachfolgende Formel dient zur überschlägigen Umrechnung der Stützweite auf andere SDR-Klassen und Transportmedien. Ausgangsgrößen sind:

- PE-Rohr
- SDR 11
- Transportmedium Wasser

$$L_{umge.} = L_A \times f_{SDR} \times f_{medium}$$

Wanddicken- und Medienfaktor [-]			
SDR	f_{SDR} [-]	f_{medium} [-]	
		Wasser	Gas
17	0,91	1	1,47
11	1	1	1,30
7,4	1,07	1	1,21

Tab. 32 – Umrechnungsfaktoren für Wanddicken und Medien bei frei verlegten PE-Rohrleitungen

L_A	=	zulässige Stützweite	..... [mm]
$L_{umge.}$	=	umgerechnete Stützweite	..... [mm]
f_{LA}	=	Durchbiegungsfaktor [-]
E_C	=	Kriechmodul (t = 25 Jahre)	..... [N/mm ²]
J_R	=	Rohrträgheitsmoment	..... [mm ⁴]
q	=	Streckenlast	..... [N/mm]
f_{SDR}	=	Wanddickenfaktor [-]
f_{Medium}	=	Medienfaktor [-]

Richtwerte zu Langzeit-Kriechmodul (E_C) [N/mm ²] für Sureline bei einer Spannung von 2 N/mm ²				
Zeitraum [Jahr(e)]	Temperatur [°C]			
	20	30	40	50
1	290	250	200	170
10	220	190	170	150
25	200	180	160	140

Tab. 33 – Richtwerte zu Langzeit-Kriechmodul für Sureline-Rohre (in Anlehnung an DVS-Richtlinie 2205-1)

Rohr-trägheitsmoment ¹⁾ (J_R) [mm ⁴] von PE-Rohren nach DIN 8074		
d_o [mm]	SDR 11	SDR 17
50	0,17 x 10 ⁶	0,12 x 10 ⁶
63	0,43 x 10 ⁶	0,37 x 10 ⁶
75	0,85 x 10 ⁶	0,62 x 10 ⁶
90	1,80 x 10 ⁶	1,30 x 10 ⁶
110	4,00 x 10 ⁶	2,90 x 10 ⁶
125	6,65 x 10 ⁶	4,75 x 10 ⁶
140	10,40 x 10 ⁶	7,50 x 10 ⁶
160	17,80 x 10 ⁶	13,00 x 10 ⁶
180	28,50 x 10 ⁶	20,50 x 10 ⁶
200	43,40 x 10 ⁶	31,00 x 10 ⁶
225	69,50 x 10 ⁶	50,00 x 10 ⁶
250	105,00 x 10 ⁶	76,00 x 10 ⁶
280	165,00 x 10 ⁶	120,00 x 10 ⁶
315	265,00 x 10 ⁶	190,00 x 10 ⁶

Tab. 34 – Rohr-trägheitsmoment

¹⁾ Werte gerundet

Berechnung von Stützweiten bei fest eingespannten Rohrleitungen (Mindestsicherheit von 2,0)

Bei fest eingespannten Rohrleitungssystemen („Berechnung von Festpunktbelastungen“) muss zusätzlich die kritische Länge gegen Knickung berechnet werden. Diese kritische Knicklänge wird dann mit der zulässigen Stützweite verglichen, wobei der kleinere Wert zu wählen ist.

Bereits berechnete Stützweiten befinden sich auf Seite 41.

$$L_{Kn,zul} = 3,17 \times \sqrt{\frac{W \times d_a}{\varepsilon \times A_S \times 2}}$$

Berechnung des Rohrquerschnitts

$$A_S = \frac{(d_a^2 - d_i^2) \times \pi}{4}$$

- $L_{Kn,zul}$ = kritische Knicklänge [mm]
- W = Rohrwiderstandsmoment [mm³]
- d_a = Rohraußendurchmesser [mm]
- A_S = Rohrwandquerschnitt [mm²]
- ε = verhinderte Längsdehnung [-]
- d_a = Außendurchmesser [mm]
- d_i = Innendurchmesser [mm]

Widerstandsmoment ¹⁾ (W) [mm ³] von PE-Rohren nach DIN 8074		
d_a [mm]	SDR 11	SDR 17
50	0,07 x 10 ⁵	0,05 x 10 ⁵
63	0,14 x 10 ⁵	0,10 x 10 ⁵
75	0,23 x 10 ⁵	0,17 x 10 ⁵
90	0,40 x 10 ⁵	0,29 x 10 ⁵
110	0,72 x 10 ⁵	0,52 x 10 ⁵
125	1,06 x 10 ⁵	0,76 x 10 ⁵
140	1,48 x 10 ⁵	1,07 x 10 ⁵
160	2,23 x 10 ⁵	1,60 x 10 ⁵
180	3,17 x 10 ⁵	2,28 x 10 ⁵
200	4,34 x 10 ⁵	3,12 x 10 ⁵
225	6,18 x 10 ⁵	4,45 x 10 ⁵
250	8,46 x 10 ⁵	6,07 x 10 ⁵
280	11,90 x 10 ⁵	8,54 x 10 ⁵
315	16,90 x 10 ⁵	12,20 x 10 ⁵

Tab. 35 – PE-Rohrwiderstandsmoment

¹⁾ Werte gerundet

Achtung: Werden fest eingespannte Rohrleitungssysteme mit erhöhter Temperatur (PE ≥ 45°C) betrieben, so sind die oben ermittelten Stützweiten L_{Kn} um min. 20 % zu reduzieren.

Richtwerte zu Stützweiten L_A [cm] für frei verlegte FRANK PE-Rohrsysteme, Medium = Wasser

d_a [mm]	SDR 11					d_a [mm]	SDR 11				
	20°C	30°C	40°C	50°C	60°C		20°C	30°C	40°C	50°C	60°C
20	57	55	50	45	40	140	190	185	175	165	150
25	65	60	55	55	50	160	205	195	185	175	160
32	75	75	65	65	55	180	215	205	195	185	175
40	90	85	75	75	65	200	230	220	210	200	190
50	105	100	90	85	75	225	245	235	225	215	205
63	120	115	105	100	90	250	260	250	240	230	210
75	135	130	120	110	100	280	275	265	255	240	220
90	150	145	135	125	115	315	290	280	270	255	235
110	165	160	150	145	130	355	310	300	290	275	255
125	175	170	160	155	140	400	330	315	305	290	270

Tab. 36 – Richtwerte zu Mindeststützweiten für frei verlegte PE-Rohre (Quelle: DVS-Richtlinie 2210-1)

Richtwerte zu Stützweiten L_{Kn} [cm] gegen Knickung für frei verlegte, fest eingespannte FRANK PE-Rohrsysteme

d_a [mm]	Längsdehnung (ϵ) [-]								
	0,001	0,002	0,004	0,005	0,008	0,010	0,012	0,015	0,020
16	50	35	25	20	17	16	14	13	11
20	64	45	32	26	22	20	18	16	14
25	80	57	40	33	28	25	23	20	18
32	103	73	51	42	36	32	29	26	23
40	129	91	64	52	45	40	37	33	28
50	161	114	80	66	57	41	46	41	36
63	203	144	101	83	72	64	58	52	45
75	242	171	121	99	85	76	70	62	54
90	291	206	145	118	103	92	84	75	65
110	356	251	178	145	125	112	102	91	79
125	404	286	202	165	143	127	116	104	90
140	453	320	226	184	160	143	130	116	101
160	517	366	258	211	183	163	149	133	115
180	582	412	291	237	206	184	168	150	130
200	647	457	323	264	228	204	186	167	144
225	728	515	364	297	257	230	210	188	162
250	809	572	404	330	286	255	233	208	180
280	906	640	453	370	320	286	261	234	202
315	1019	721	509	416	360	322	294	263	228
355	1149	812	574	469	406	363	331	296	257
400	1295	915	647	528	457	409	373	334	289

Tab. 37 – Mindeststützweiten gegen Knickung für PE-Rohre (in Anlehnung an DVS-Richtlinie 2210-1)

3.11 Festpunktbelastung durch Temperaturwechsel von frei verlegten Rohrleitungen

Bei erdverlegten Rohrleitungen ist eine Festpunktberechnung nicht notwendig.

Ein Festpunkt soll eine axial verlaufende Längenänderung einer frei verlegten Rohrleitung verhindern. Dabei kann ein Festpunkt so ausgelegt sein, dass die komplette Längenänderung verhindert oder im Zusammenspiel mit einer entsprechenden Bewegungsfreiheit (z. B. Dehnungsbogen) die Änderungsrichtung kontrolliert wird.

Berechnung der Festpunktkraft bei einer komplett verhinderten Längenänderung

Wird die Längenänderung innerhalb einer Rohrleitung verhindert, entsteht ein fest eingespanntes System. Die Verhinderung der Längenänderung erfolgt mit zwei Festpunkten, die jeweils am Anfang und am Ende einer axial verlaufenden Rohrleitung installiert werden. Die dadurch entstehenden Kräfte gelten für jeden Festpunkt separat.

$$F_{FP} = A_S \times E_C \times \varepsilon$$

Richtwerte zu Kurzzeit-Kriechmoduln (E_C) [N/mm²] 100 min bei einer Spannung von 2 N/mm²

	Temperatur [°C]					
	≤ 10	20	30	40	50	60
Sureline	850	630	450	325	230	160

Tab. 38 – Richtwerte zu Kurzzeit-Kriechmoduln für Sureline-Rohre (extrapolierte Werte in Anlehnung an DVS-Richtlinie 2205-1)

Berechnung des Rohrquerschnitts

$$A_S = \frac{(d_a^2 - d_i^2) \times \pi}{4}$$

F_{FP}	=	Festpunktkraft	[N]
A_S	=	Rohrwandquerschnittsfläche	[mm ²]
ε	=	verhinderte Längsdehnung	[-]
E_C	=	Kriechmodul (t = 100 min)	[N/mm ²]
d_a	=	Außendurchmesser	[mm]
d_i	=	Innendurchmesser	[mm]

Richtwerte zur Festpunktkraft¹⁾ (F_{FP}) [kN] durch Temperaturwechsel von frei verlegten FRANK PE-Rohrsysteme

d_o [mm]	Temperaturdifferenz (ΔT) [K]					
	SurePEX ²⁾		Sureline ²⁾			
	SDR 11		SDR 11		SDR 17	
	5	35	5	35	5	35
25	0,07	0,51	---	---	---	---
32	0,12	0,82	0,16	1,09	---	---
40	0,19	1,30	0,25	1,68	---	---
50	0,29	2,03	0,38	2,60	---	---
63	0,46	3,22	0,60	4,15	---	---
75	0,64	4,50	0,83	5,80	0,57	3,95
90	0,93	6,50	1,20	8,35	0,81	5,70
110	1,39	9,70	1,80	12,50	1,20	8,51
125	1,80	12,55	2,31	16,15	1,55	10,85
140	2,25	15,70	2,90	20,15	1,95	13,65
160	2,95	20,60	3,80	26,50	2,55	17,85
180	3,75	26,05	4,80	33,45	3,25	22,60
200	4,60	32,10	5,90	41,25	4,00	27,90
225	---	---	7,50	52,30	5,05	35,35
250	---	---	9,20	64,35	6,20	43,40
280	---	---	11,50	80,65	7,80	54,50
315	---	---	14,60	102,15	9,90	69,10
355	---	---	18,50	129,60	12,55	87,85
400	---	---	23,50	164,60	15,90	111,20
450	---	---	29,80	208,65	20,15	126,00
500	---	---	36,75	257,35	24,90	174,20
560	---	---	46,10	322,55	31,15	218,10
630	---	---	58,35	408,55	39,50	276,40

Tab. 39 – Längenänderungen: FRANK PE-Rohrsysteme

¹⁾ Werte gerundet

²⁾ mit einem Kurzzeit-Kriechmodul = 630 N/mm²

Berechnung der Festpunktkraft bei Verwendung von Biegeschenkeln

Wenn möglich, sind Festpunkte so zu legen, dass bereits vorgegebene Richtungsänderungen im Leitungsverlauf zur Aufnahme der Längenänderungen ausgenutzt werden können. Die auftretende Festpunktbelastung ist abhängig von der Länge des Dehnungsbogens.

$$F_{LB} = \frac{12 \times \Delta L \times E_C \times J_R}{L_B^3}$$

Richtwerte zu Kurzzeit-Kriechmoduln (E_C) [N/mm²] 100 min bei einer Spannung von 2 N/mm²

	Temperatur [°C]					
	≤ 10	20	30	40	50	60
Sureline	850	630	450	325	230	160

Tab. 40 – Richtwerte zu Kurzzeit-Kriechmoduln für Sureline-Röhre (extrapolierte Werte in Anlehnung an DVS-Richtlinie 2205-1)

- F_{LB} = Festpunktkraft mit Dehnungsbogen[N]
 L_B = Länge des Dehnungsbogens [mm]
 ΔL = Längenänderung [mm]
 E_C = Kriechmodul (t = 100 min)[N/mm²]
 J_R = Rohrträgheitsmoment.....[mm⁴]

Rohrträgheitsmoment ¹⁾ (J_R) [mm ⁴] von PE-Rohren nach DIN 8074		
d_a [mm]	SDR 11	SDR 17
50	0,17 x 10 ⁶	0,12 x 10 ⁶
63	0,43 x 10 ⁶	0,37 x 10 ⁶
75	0,85 x 10 ⁶	0,62 x 10 ⁶
90	1,80 x 10 ⁶	1,30 x 10 ⁶
110	4,00 x 10 ⁶	2,90 x 10 ⁶
125	6,65 x 10 ⁶	4,75 x 10 ⁶
140	10,40 x 10 ⁶	7,50 x 10 ⁶
160	17,80 x 10 ⁶	13,00 x 10 ⁶
180	28,50 x 10 ⁶	20,50 x 10 ⁶
200	43,40 x 10 ⁶	31,00 x 10 ⁶
225	69,50 x 10 ⁶	50,00 x 10 ⁶
250	105,00 x 10 ⁶	76,00 x 10 ⁶
280	165,00 x 10 ⁶	120,00 x 10 ⁶
315	265,00 x 10 ⁶	190,00 x 10 ⁶
355	430,00 x 10 ⁶	310,00 x 10 ⁶
400	695,00 x 10 ⁶	500,00 x 10 ⁶
450	1.110,00 x 10 ⁶	800,00 x 10 ⁶
500	1.690,00 x 10 ⁶	1.220,00 x 10 ⁶

Tab. 41 – Rohrträgheitsmoment

¹⁾ Werte gerundet



4. Verlegung/Verarbeitung

4.1 Lagerung und Transport.....	46
4.2 Verlegung im Sandbett	48
4.3 Verlegung ohne Sandbett.....	51
4.4 Sandbettfreie Verlegeverfahren	53
4.5 PE-Rohre für die Erdverlegung	58
4.6 Zulässige Zugkräfte für Sureline und SurePEX.....	59
4.7 Rohrbiegeradien	60
4.8 Rohrflexibilität.....	61
4.9 Bodenarten	61
4.10 Verbindungstechnik.....	62
4.11 Befestigung	65

4.1 Lagerung und Transport

Bei der Lagerung und dem Transport von PE-Rohren, -Formteilen und -Platten muss eine entsprechende Sorgfalt herrschen. Nur so können Beschädigungen verhindert und wirtschaftliche Einbußen vermieden werden. Eine sachgemäße Lagerung bzw. ein sachgemäßer Transport kann ebenfalls den Vorteil von Platzersparnis bringen. Nachfolgend eine Auflistung von Punkten, die es zu beachten gilt.

Allgemeine Hinweise

- Beschädigungen der Oberfläche, wie z. B. durch Ziehen über scharfe Kanten oder Lagern auf Schotter, sind zu vermeiden.
- Die Lager- bzw. Ladefläche muss eben und frei von Unrat wie Steinen, Schrauben, Nägel etc. sein. Gegebenenfalls ist ein geeigneter Kratzschutz zu verwenden.
- Die Ware sollte beim Transport und der Lagerung nach Dimension und Charge sortiert sein.
- Der Lagerplatz sollte kühl und trocken sein.
- Im Freien gelagerte Rohre, Formteile und Platten sind vor Witterungseinflüssen mit geeigneten Hilfsmitteln, wie z. B. Vlies, zu schützen.
- Produkte aus PE-el müssen beim Transport und der Lagerung vor Feuchtigkeit geschützt sein.
- Sondermaterialien (PE-el) dürfen bei Außentemperaturen unter +10°C nur mit äußerster Vorsicht bewegt werden.
- Schlag- und Biegebeanspruchungen bei Temperaturen < 0°C sind zu vermeiden.
- Um eine spätere Weiterverarbeitung nicht zu beeinflussen, sollten Rohre, Formteile und Platten nicht mit Treibstoffen, Fetten, Farben, Talkum oder Wärmequellen in Berührung kommen.

Hinweise zu Rohren

- Während der Lagerung oder des Transports müssen PE-Rohre gegen Verschieben, Durchbiegen bzw. -hängen gesichert sein.
- Die Höhe von Rohrverschlagen liegt max. bei 1 m.
- Rohre ≥ 1000 mm müssen lose gelagert werden.
- Um ein Wegrollen der Rohre zu verhindern, sind Holzkeile an den außenliegenden Rohren beizulegen.
- Rohre für die Trinkwasser- und Gasanwendung sind so zu lagern, dass sie innen nicht verunreinigt werden können.

Hinweise zu Formteilen

- Die Formteile sollten in Folie und im Karton verpackt sein.
- Beim Verpacken auf Paletten gilt es Überstände zu vermeiden.
- Sollten sich Überstände nicht vermeiden lassen, sind diese entsprechend zu schützen.
- Nahtlose Bögen sind generell an einem kühlen und vor Sonneneinstrahlung geschützten Ort zu lagern. Ansonsten besteht die Gefahr der Winkelmaßabweichung.

Hinweise zu Platten

- Platten sind möglichst auf Palette bis zum Gebrauch zu lagern.
- Die Platten müssen bündig auf der Palette liegen.
- Werden mehrere Paletten mit Platten übereinander gestapelt, ist darauf zu achten, dass die Kanthölzer der Paletten senkrecht übereinander stehen. Ist dies aufgrund unterschiedlicher Bauarten oder Beschädigungen der Paletten nicht möglich, müssen die fehlenden Streben durch geeignete Zusatz- bzw. Ersatzstreben ersetzt werden.



4.2 Verlegung im Sandbett

Eine Möglichkeit der Verlegung von Polyethylenrohren ist im offenen Graben mit Sandbett. Nachfolgend werden wichtige Faktoren zum Aufbau, den Überdeckungshöhen, zum Füllmaterial und den Verlegeabständen beschrieben. Die in den Tabellen aufgeführten Angaben dienen als Richtwerte und können somit von den örtlichen Gegebenheiten und Anforderungen abweichen.

Aufbau einer Grabenverlegung

- Hauptverfüllung
- Abdeckung
- Seitenverfüllung
- Obere Bettungsschicht
- Untere Bettungsschicht

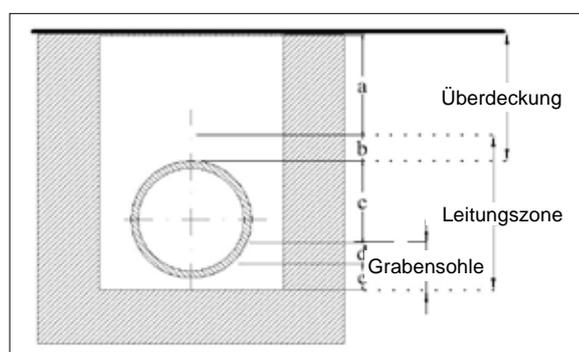


Abb. 17 – Schematische Darstellung einer Grabenverlegung

Grabenbreite

Die Grabenbreite muss so bemessen sein, dass ein sicheres Arbeiten und ein fachgerechter Einbau der Rohrleitung gewährleistet werden kann. Baugruben und Gräben von mehr als 0,80 m Breite sind in ausreichendem Maße mit Übergängen, z. B. Laufbrücken oder Laufstegen, zu versehen.

Richtwerte zur Mindestgrabenbreite [mm] in Abhängigkeit des Außendurchmessers (d_o)			
d_o [mm]	verbauter Graben	unverbauter Graben	
		$\beta^{1)} > 60^\circ$	$\beta^{1)} \leq 60^\circ$
≤ 225	$d_o + 400$	$d_o + 400$	
> 225 bis ≤ 355	$d_o + 500$	$d_o + 500$	$d_o + 400$
> 355 bis ≤ 710	$d_o + 700$	$d_o + 700$	
in Abhängigkeit der Grabentiefe			
Tiefe [mm]	Breite [mm]		
< 1000	keine Vorgaben		
≥ 1000 bis ≤ 1750	800		
> 1750 bis ≤ 4000	900		
> 4000	1000		

Tab. 42 – Richtwerte zur Grabenbreite (Quelle: DIN EN 1610).

¹⁾ Böschungswinkel

Wasserhaltung

Die Grabensohle muss für eine fachgerechte Verlegung und Verdichtungsmaßnahme von Wasser freigehalten werden.

Überdeckung

Die notwendige Überdeckungshöhe hängt von vielen Faktoren ab. Im Versorgungsbereich spielen vor allem die sogenannte Frostfreigrenze bei Trinkwasserleitungen eine Rolle. Auch vorliegende Verkehrsbeanspruchungen entscheiden oftmals die notwendige Überdeckungshöhe. Nachfolgend Einflussfaktoren, die beachtet werden müssen:

- Frost- und Erwärmungsgrenze (Sonneneinstrahlung) im Erdreich
- Volumenstrom und Temperatur des Mediums in der Rohrleitung
- Isolierung der Rohrleitung
- Verkehrsbelastung und Erdauflast
- Bodenart, Bodenfeuchte und Oberflächenbeschaffenheit
- Kreuzende Anlagen

Richtwerte zu Überdeckungshöhen für PE-Rohrleitungen

Rohrleitungsart	Überdeckung [m]
Wasserrohrleitung	0,9 ¹⁾ - 1,8 m
Gasrohrleitung	0,6 ¹⁾ - 1,3 m
Abwasserleitung	min. 2,0 m

Tab. 43 – Richtwerte zu Überdeckungshöhen (Quelle: DVGW-Arbeitsblatt W 400-1)

¹⁾ In landwirtschaftlich genutzten Gebieten empfiehlt sich eine Mindestüberdeckungshöhe von 1,2 m.

Achtung: Baugruben und Gräben mit einer Tiefe $> 1,25$ m müssen entsprechend gesichert werden (z. B. Verbau mit Spundwänden), des Weiteren dürfen sie nur über geeignete Einrichtungen wie z. B. Leitern oder Treppen betreten und verlassen werden.

Leitungszone

Eine ausreichender Verdichtungsgrad in der Leitungszone bestimmt die Last-, Spannungsverteilung und Verformung der Rohrleitung (siehe u. a. Abschnitt „Anforderung an das Füllmaterial“).

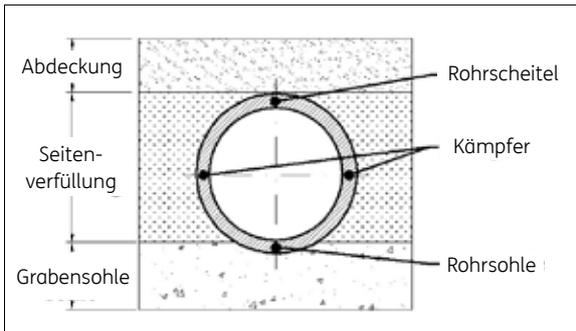


Abb. 18 – Aufbau der Leitungszone

Richtwerte zur Leitungszone			
Bereich	Schichtdicke [mm]	Bemerkung	
Abdeckung	≥ 300	Mit geeigneten leichten Verdichtungs Werkzeugen auch ≥ 150 mm möglich.	
Seitenverfüllung	ca. $1 \times d_o$	Beide Seiten gleichzeitig verfüllen und verdichten.	
Grabensohle	obere Bet- tungsschicht (oberhalb Rohrsohle)	hängt vom Auflag - winkel ab	je nach statischer Belastung
	untere Bet- tungsschicht (unterhalb Rohrsohle)	≥ 100	$\leq d_o$ 250 mm
		≥ 150	$> d_o$ 250 mm oder anstehender felsiger Untergrund

Tab. 44 – Richtwerte zur Leitungszone (Quelle: DVGW-Arbeitsblatt W 400-2 und DIN EN 1610)

Anforderungen an das Füllmaterial

Das Füllmaterial in der Leitungszone übernimmt in erster Linie die sichere Lage der Rohrleitung. Aber auch das umliegende Erdreich oder angrenzende Anlagen, Rohrleitungen etc. dürfen nicht negativ beeinflusst werden. Um dies zu gewährleisten, muss das Füllmaterial nachfolgende Voraussetzungen erfüllen:

- Um eine Verschiebung, Setzung und Verformung der Rohrleitung zu verhindern, muss das Material eine ausreichende Verdichtbarkeit aufweisen.
- Das Material muss für die entsprechende Rohrleitung geeignet sein, d. h. es darf an dem Rohr keine Korrosion, Beschädigung oder mechanischen Beeinträchtigung hervorrufen.
- Auch für das umliegende Erdreich bzw. Grundwasser darf es zu keinen schädlichen Reaktionen kommen.
- Die zulässige und materialabhängige Korngröße muss verwendet werden.

Richtwerte zur mittleren Korngröße in der Leitungszone				
PE-Rohr	d_o [mm]	Um- hüllung	Korngröße [mm]	
			rund	gebrochen
PE 100	≤ 225	keine	0 - 22	0 - 11
	> 225	keine	0 - 40	0 - 11
Sureline	bis 630	keine	0 - 63	
SurePEX	bis 200	keine	0 - 63	

Tab. 45 – Richtwerte zur mittleren Korngröße (in Anlehnung an DVGW-Arbeitsblatt W 400-2)

Verlegeabstände für PE-Rohrleitungen

Die Verlegeabstände ergeben sich zunächst aus nachfolgenden Vorgaben für die zu verlegende Rohrleitung und bereits vorliegenden Rohrleitungen und Bauwerke:

- Es darf keine unzulässige Kraftübertragung zwischen den jeweiligen Rohrleitungen und angrenzenden Bauwerken vorliegen. Dies betrifft nicht nur den Betriebszustand, sondern auch die Bauphase.
- Vermeidung von unzulässigen Temperaturübertragungen.
- Ein ausreichender Arbeitsraum muss vorhanden sein.
- Die geforderten Sicherheitsabstände (z. B. zu Stromkabeln, Verhinderung von Kontamination etc.) sind zwingend einzuhalten.
- PE-Rohrleitungen müssen bei einer Parallelverlegung oder einer Kreuzung mit Leitungen oder Kabeln, von denen Wärme abgegeben wird, durch ausreichenden Abstand oder mit entsprechendem Wärmeschutz geschützt werden.



Richtwerte zu Abständen von erdverlegten PE-Rohrleitungen				
Verlauf	Art	Mindestabstand [m]		
		Trinkwasser	Erdgas	
parallel	Fundamente	≥ 0,4	≥ 0,4	
	Rohrnetz	≥ 0,4	≥ 0,2	
	Fernleitungen	≥ 1,0	≥ 0,2	
	Kabel	≤ 1 kV	≥ 0,4	≥ 0,2
		> 1 kV	≥ 0,4	≥ 0,4
Abwasserleitung	≥ 0,4 (≥ 1,0) ¹⁾	≥ 0,4		
kreuzend	Rohrnetz	≥ 0,2	≥ 0,1	
	Fernleitungen	≥ 0,5	≥ 0,1	
	Kabel	≤ 1 kV	≥ 0,2	≥ 0,1
		> 1 kV	≥ 0,2	≥ 0,2
	Abwasserleitung	nur im Schutzrohr	≥ 0,4	

Tab. 46 – Richtwerte zu Verlegeabstände bei PE-Rohrleitungen (Quelle: DVGW-Arbeitsblätter W 400-1 und G 472).

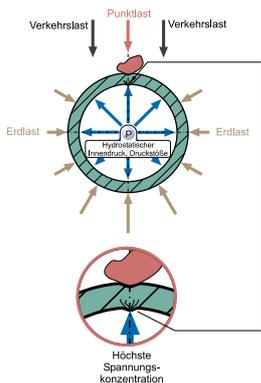
¹⁾ Wenn die Trinkwasserleitung auf gleicher Höhe oder niedriger als die Abwasserleitung liegt.

4.3 Verlegung ohne Sandbett

Eine Verlegung ohne Sandbett ermöglicht in erster Linie eine Reduzierung der Tiefbaukosten. Extra dafür vorgesehene Verlegeverfahren verkürzen zu dem noch die Bauzeiten und somit auch die Gesamtbaukosten. Zu diesen Verfahren gehören u. a. Relining, Horizontalspülbohren, Pflügen, Fräsen und Berstlining. Solche Verfahren stellen aber auch hohe Anforderungen an das zu verlegende Rohrsystem. Aus diesem Grund wurden speziell dafür ausgelegte Rohre wie Sureline und SurePEX entwickelt.

Anforderung

Auftretende Punktlasten beim Verlegen ohne Sandbett, verursacht durch Steine o. ä., führen zu Spannungskonzentrationen an der Rohrinneenseite, die zu einer Rissinitiation führen können. Damit aus den hervorgerufenen Spannungskonzentrationen keine Risse in der Rohrwand entstehen, ist es besonders wichtig, einen Rohrwerkstoff (PE-Xa, PE 100-RC) einzusetzen, der eine hohe Spannungsrissebeständigkeit aufweist.



Verlegekategorien

Bei sandbettfreien Verlegeverfahren unterscheidet man zwischen Sanierung, Erneuerung oder Neuverlegung.

- Bei der Sanierung wird die neue Rohrleitung innerhalb der alten installiert. Dabei muss der Zustand der alten Rohrleitung gewährleisten, dass sie weiterhin den statischen Belastungen standhält.
- Die Erneuerung zeichnet sich dadurch aus, dass die komplette Funktionsweise der alten Rohrleitung nicht mehr benötigt wird. Je nach Verlegeverfahren erfolgt sogar eine Zerstörung der alten Rohrleitung.
- Bei einer Neuverlegung erfolgt immer eine neue Rohrtrasse für die zu verlegende Rohrleitung.

Sandbettfreie Verlegeverfahren		
Sanierung	Erneuerung	Neuverlegung
Relining	Relining	Horizontalspülbohren
		Fräsen
	Berstlining	Pflüge

Tab. 47 – Übersicht zu sandbettfreie Verlegeverfahren

Richtwerte zu den Verlegeverfahren

Relining

Richtlinie	DVGW GW 320-1 und GW 320-2
Nennweite	da 32 - 1400 mm
Einziehlänge	bis 700 m
Rohrtyp	Sureline, SurePEX ¹⁾
Verbindung	Stumpfschweißen, ggf. Wulst entfernen

Horizontalspülbohren

Richtlinie	DVGW GW 321
Nennweite	bis da 1200 mm
Einziehlänge	bis 2500 m
Rohrtyp	Sureline, SurePEX ¹⁾
Verbindung	Stumpf- und Heizwendelschweißen ²⁾

Berstlining

Richtlinie	DVGW GW 323
Nennweite	bis da 1400 mm
Einziehlänge	bis 200 m
Rohrtyp	Sureline, SurePEX ¹⁾
Verbindung	Stumpfschweißen

Fräsen

Richtlinie	DVGW GW 324
Nennweite	bis da 450 mm
Einziehlänge	keine Einschränkung
Rohrtyp	Sureline, SurePEX ¹⁾
Verbindung	Stumpf- und Heizwendelschweißen ²⁾

Pflügen

Richtlinie	DVGW GW 324
Nennweite	bis da 250 mm
Einziehlänge	keine Einschränkung
Rohrtyp	Sureline, SurePEX ¹⁾
Verbindung	Stumpf- und Heizwendelschweißen ²⁾

Tab. 48 – Sandbettfreie Verlegeverfahren

¹⁾ Nicht geeignet zum Stumpfschweißen, deshalb Ringbündware notwendig.

²⁾ Nur mit PE 100-RC Heizwendelmuffen.

Start- und Zielgrubenlänge

Die Baugruben müssen der DIN 4124 entsprechen. Bei der Planung bzw. Auslegung von Baugruben sollte Folgendes in Betracht gezogen werden:

- Installation einer eventuell notwendigen Ersatzversorgung
- Abtrennung, Reinigung oder Beseitigung von Teilstücken des zu erneuernden Abschnitts
- Einzugslänge
- Verbindungstechnik der Neurohrleitung
- Einbau von Armaturen, Formteilen etc.
- durchzuführende Druckprüfung mit entsprechenden Gerätschaften
- eventuell durchzuführende Ringraumverfüllungen
- Kontrolle der alten und neuen Rohrleitung

Bei der Verlegung von Ringbundware oder zuvor geschweißten Rohrsträngen wird die Länge der Startgrube durch den Mindestbiegeradius und die Verlegetiefe bestimmt. Um kurze Startgruben zu gewährleisten, müssen biegeweiche Rohrwerkstoffe mit einem geringen Mindestbiegeradius, wie z. B. Sureline- oder SurePEX-Rohre, gewählt werden.

Gerade bei Bauvorhaben im städtischen Bereich, bei denen eine geringe Verkehrsbeeinträchtigung erwünscht ist, zeichnen sich grabenlose Verlegeverfahren mit dem Vorteil von kleinen Baugruben besonders aus.



Abb. 19 – Startgrube eines Relining-Projekt mit einem Sureline-Rohr da 160 mm

Kleiner Mindestbiegeradius (R) = kurze Startgrube (L),
Hohe Rohrsohlentiefe (H) = kurze Startgrube (L)

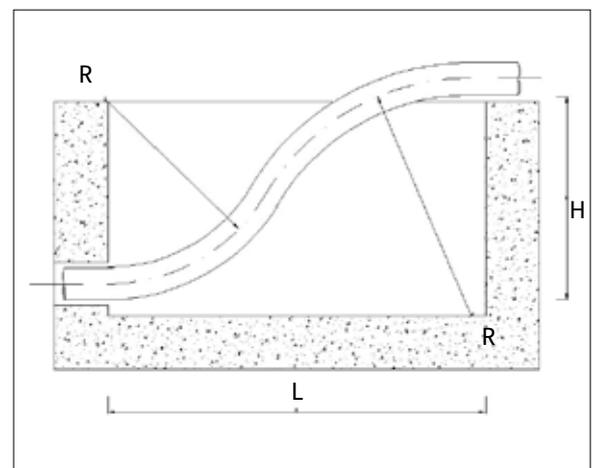


Abb. 20 – Schematische Darstellung einer Startgrube

Durch das Anheben der einzuziehenden Rohrleitung kann die Länge der Startgrube ebenfalls verkürzt werden.

$$L = \sqrt{H \times (4 \times R - H)}$$

- L = Länge Startgrube.....[m]
H = Rohrsohlentiefe..... [m]
R = Mindestbiegeradius..... [m]

4.4 Sandbettfreie Verlegeverfahren

PE-Relining mit und ohne Ringraum

Beim Relining ist im Vorfeld eine Zustandsermittlung des Altrohres vorzunehmen. Hierbei müssen der Innenbereich und die Wandung analysiert werden. Sollte die Rohrwand eine ausreichende Stützwirkung und die Innenoberfläche keine hartnäckigen Verkrustungen aufweisen, kann ein Relining ohne Ringraum in Betracht gezogen werden. Dabei wird das Neurohr während des Einziehprozesses in seinen Querschnittsabmessungen reduziert. Die Reduzierung des Querschnitts muss so erfolgen, dass die Eigenschaften des Neurohres bei der Rückverformung erhalten bleiben. Gängige Verfahren sind das Sub- oder Swagelining.

Wenn bei der Altleitung die notwendige Stützwirkung nicht gewährleistet werden kann, ist ein Relining mit Ringraum vorzuziehen. Hierbei wird ein Neurohr mit einem kleinerem Außendurchmesser als der Innendurchmesser des Altrohres eingezogen. Der Ringspalt zwischen alter Innen- und neuer Außenwand kann mit einem Injektionsmörtel ausgefüllt werden. Beim Ausfüllen des Ringraumes entsteht dabei Druck auf das Neurohr. Das Neurohr muss bzgl. dieser äußerlichen Überdruckbelastung gegen Beulen ausgelegt sein. Die Überdruckbelastung für das Neurohr liegt bis zur vollständigen Aushärtung der Füllmasse an.

Zulässige kurzzeitige Beuldruckbelastung p_K [bar]			
Rohr	Betriebs- temperatur [°C]	60 min	
		SDR 11	SDR 17
Sureline	20	4,00	1,10
	40	2,20	0,60
	60	1,30	0,40

Tab. 49 – Zulässige Beuldrücke für Sureline-Rohre

Berechnung zum Ringraumverfülldruck

$$p_{R,zul} = \frac{p_K}{S_f}$$

- $p_{R,zul}$ = zulässiger Ringraumverfülldruck.....[bar]
 p_K = Beuldruck (bei 60 min)[bar]
 S_f = Sicherheitsfaktor..... [-]

Sanierung einer undichten DN 1500 Betonleitung mittels Subliningverfahren.



Abb. 21 – Sanierung (Relining): ohne Ringraum (close-fit-lining)

Gleichzeitiges Einziehen von zwei PE-Rohren in eine sanierungsbedürftige Asbestzementleitung.



Abb. 22 – Erneuerung (Relining): mit Ringraum

Bei überdimensionierten Altleitungen bieten sich Reliningmaßnahmen optimal an.



Abb. 23 – Erneuerung (Relining): mit Ringraum und anschließender Verfüllung

Pflugverfahren

Beim Pflugverfahren wird der Boden mit Hilfe eines Pflugschwertes statisch oder dynamisch verdrängt. Die Verlegung mit dem dynamischen Verfahren hat den Vorteil, dass sich die notwendige Verdrängung in der Rohrleitungszone zusätzlich steuern lässt bzw. der Bodenart angepasst werden kann. Das Neurohr kann entweder mit Hilfe eines Einbaukastens auf die Sohle geführt werden (hierbei kann ggf. auch nur begrenzt zusätzliches Bettungsmaterial eingebracht werden) oder der Rohrstrang wird direkt in den Hohlraum eingezogen. Ein weiterer Unterschied liegt in der Maschineneinheit. Hier gibt es das selbstfahrende und das seilgezogene Pflügen.

Berechnung zur Einziehlänge

$$L_R = \frac{F_{zul} \times f_Z}{f_G \times (f_B \times f_T + 0,2) \times \pi \times d_m}$$

L_R	=	Einziehlänge	[m]
F_{zul}	=	zulässige Zugkraft	[N]
f_Z	=	Schweißfaktor.....	[-]
f_G	=	Gewichtsfaktor	[-]
f_B	=	Baugrundfaktor	[kN/m ²]
f_T	=	Trassenfaktor	[-]
d_m	=	mittlerer Rohrdurchmesser	[mm]

PE-Faktoren zur Einziehlänge	
Schweißfaktor	0,8 - 1,0
Gewichtsfaktor	1,0
Baugrundfaktor	Belastung gering = 0,6 Belastung mittel = 0,9 Belastung hoch = 1,2
Trassenfaktor	$\beta \leq 30^\circ = 1,0$ $30^\circ < \beta \leq 60^\circ = 1,5$ $\beta > 60^\circ = 2,0$

Tab. 50 – Berechnungsfaktoren zur Einziehlänge (Quelle: DVGW-Arbeitsblatt 324)

Einpflügen einer da 160 mm Sureline-Gasrohrleitung (Verlegemeter = 10,5 km).



Abb. 24 – Neuverlegung (Pflügen) Verlegevorgang

Nach dem Einpflügen zeigt nur eine leichte Erhebung des Erdreiches den Verlauf der neuen Rohrleitung.



Abb. 25 – Neuverlegung (Pflügen) Geringe Flurschäden

Die Verdichtung des Erdreiches kann direkt nach dem Einpflügen erfolgen.



Abb. 26 – Neuverlegung (Pflügen) Grabenabsperungen in der Regel nicht notwendig

Fräsverfahren

Mit dem Fräsverfahren können schmale Rohrtrassen erzeugt werden. Durch die präzise Steuerung können die Rohrtrassen nah an querlaufende Rohrleitungen heran gezogen werden. Somit werden aufwendige und teure Tiefbauarbeiten zum Freilegen von Altleitungen auf ein Minimum reduziert. Beim Fräsverfahren wird der Aushub direkt zermahlen und seitwärts der Rohrtrasse abgelegt. Dieser Aushub kann dann zur Verfüllung wieder verwendet werden. Wenn der Rohrgraben während der gesamten Baumaßnahme weder zum Verfüllen oder Verdichten betreten werden muss, gibt es für die min. Grabenbreite keine Vorgabe.

Verlegung einer da 315 mm Sureline-Trinkwasserrohrleitung mittels Fräsverfahren.



Abb. 27 – Neuverlegung (Fräsen): Verlegevorgang

Durch den relativ geringen Platzbedarf und die hohe Verlegegeschwindigkeit beim Fräsverfahren werden Forstschäden und Störungen der Fauna beim Fräsverfahren gering gehalten.



Abb. 28 – Neuverlegung (Fräsen): schmale Rohrtrassen

Richtwerte zu Eignung verschiedener Bodengruppen nach DIN 18196			
Gruppe	Beschaffenheit	Fräsenart	
		Kette	Rad
Organische Böden der Gruppen HN, HZ, F	locker	-	-
Organogene Böden und Böden mit organischen Beimengungen der Gruppen OU, OT, OH, OK	flüssig - breiig	-	-
	weich - steif	+	++
	halbfest - hart	++	++
Feinkörnige Böden der Gruppen UL, UM, UA, TL, TM, TA	flüssig - breiig	-	o
	weich - steif	+	++
	halbfest - hart	++	++
Gemischtkörnige Böden der Gruppen SU, ST, GU, GT	flüssig - breiig	-	o
	weich - steif	+	++
	halbfest - hart	++	++
Grobkörnige Böden der Gruppen SW, SI, SE, GW, GI, GE	locker	o	+
	mitteldicht	+	o
	dicht	+	-
leicht/schwer lösbarer Fels Zv, Z	dicht	+	-

- nicht geeignet, o wenig geeignet, + geeignet, ++ gut geeignet

Tab. 51 – Fräsverfahren: Anwendungshinweise
(Quelle: DVGW-Arbeitsblatt GW 324)

Horizontalspülbohrverfahren

Das Horizontalspülbohren ist in drei Arbeitsschritte aufgeteilt:

- Pilotbohrung
- Aufweitung
- Einzug

Bei der Pilotbohrung wird ein steuerbarer Spülbohrkopf mit einem nachgeschalteten Gestänge durchs Erdreich gesteuert. Neben der Bohr- und Steuerplatte am Spülbohrkopf ist sein Rotationsvermögen und Hochdruckstrahl für die Richtungsgebung verantwortlich.

Nachdem die Pilotbohrung beendet und der Spülbohrkopf in der Zielgrube angekommen ist, wird er durch ein Aufweitwerkzeug ersetzt und in Richtung Startgrube gezogen. Durch das Durchziehen wird der Bohrlochquerschnitt vergrößert. Das Aufweitwerkzeug rotiert dabei und ist meist mit Zähnen und Düsen zum mechanischen und hydraulischen Lösen des Bodens ausgestattet. Dabei kann dieser Vorgang bei größeren Bohrlochquerschnitten mit entsprechend größer werdenden Aufweitwerkzeugen wiederholt werden.

Der Einzug des Rohres beginnt wie beim Aufweitvorgang von der Zielgrube. Die neue Rohrleitung wird mit einem Innenziehkopf versehen und an einem Drehwirbel befestigt. Der Drehwirbel sorgt dafür, dass die Rotationsbewegungen des Aufweitkopfes nicht auf die Rohrleitung übertragen werden. Wird der benötigte Bohrquerschnitt mit dem ersten Aufweitvorgang erreicht, kann die neue Rohrleitung im gleichen Arbeitsgang eingezogen werden. Das Wasser-Bentonit-Gemisch wird durch das Gestänge in den Aufweitkopf gepumpt. Dieser verteilt dann diese schützende Schicht für das neue Rohr im Bohrloch.

Richtwerte zu Bohrkanaldurchmesser	
Bodenverhältnisse	Bohrkanaldurchmesser [mm]
Normalfall	1,3 x d_{max}
besonders standfest	1,2 x d_{max}
weniger standfeste	1,5 x d_{max}

Tab. 52 – Richtwerte zum Bohrkanaldurchmesser

Beim Horizontalspülbohren ist auch ein gleichzeitiges Einziehen von mehreren Rohrsträngen möglich.



Abb. 29 – Neuverlegung (Horizontalspülbohren): Aufweitkopf mit drei Rohrsträngen

Auch größere Dimensionen können mit dem Horizontalspülbohrverfahren verlegt werden (Bsp. da 450 mm Sureline-Rohr).



Abb. 30 – Neuverlegung (Horizontalspülbohren): Auch für Großrohre geeignet

Berstliningverfahren

Dieses Verfahren kann nur in ausreichend verdrängbaren Böden eingesetzt werden. Beim Berstliningverfahren werden neue Rohrleitungen, unabhängig vom Zustand des Altrohres, in der alten Trasse verlegt. Dabei wird mit Hilfe des Berstkörpers das Altrohr zerstört und verdrängt. Der Berstkörper wird mit Hilfe von Gestängen oder Stahlseilen in Rohrlängsrichtung durch das Altrohr gezogen. Hierbei kann das dynamische oder statische Berstlining zum Tragen kommen. Beim dynamischen Verfahren wird zusätzliche Rammenergie durch eine Berstmaschine eingebracht und dabei die Verdrängung des Altrohres zusätzlich unterstützt.

Für eine optimale Rohrtrasse müssen beim Berstlining u. a. Faktoren wie Bodenverhältnis und Geometrie des Berstkörpers richtig bestimmt werden.

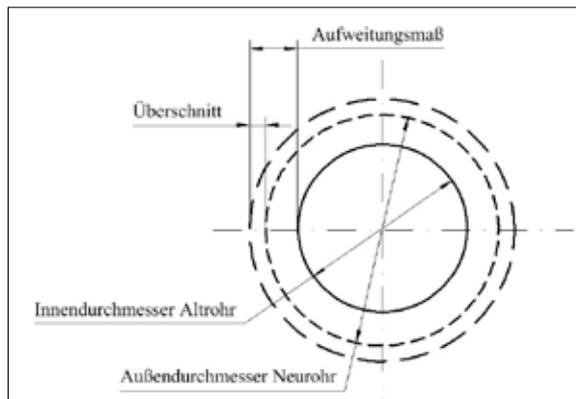


Abb. 31 – Schematische Darstellung einer geborstenen Trasse

Aufweitungsmaß

Das Aufweitungsmaß entspricht in der Regel dem Durchmesser der nächst größeren Nennweite der Neurohrleitung. Aber für das notwendige Maß müssen nachfolgende Faktoren berücksichtigt werden:

- Bodenverhältnisse
- Erschütterungen
- Bodenverschiebungen

Überschnitt

Für einen reibungsarmen Einzug der Neurohrleitung sollte der Überschnitt bei 10 - 30 % liegen. Der Berstkörper sollte ebenfalls so ausgewählt werden, dass der Überschnitt gering ist. Damit ein eventueller Scherbenefall bzw. eine Scherbenverkantung minimiert wird.

Mindestabstände zu Fremdleitungen

Der lichte Abstand zu anderen parallel verlaufenden Leitungen sollte mindestens 3 x Aufweitungsmaß entsprechen. Je nach Bodenverhältnissen, Art der parallel verlaufenden Leitungen und Werkstoff erhöht sich der Abstand. Bei kritischen Abständen sollten zusätzliche Schutzmaßnahmen getroffen werden (ggf. frei legen).

Richtwerte zu Mindestabständen zu Fremdleitungen			
Bodenart	Material der Fremdleitung		
	zäh	spröde	
		< d ₀ 225 [mm]	≥ d ₀ 225 [mm]
Nichtbindiger Boden (DIN 1054)	Aufweitungsmaß x 5; mindestens 40 cm	Aufweitungsmaß x 5; mindestens 100 cm	
Bindiger Boden (DIN 1054)	Aufweitungsmaß x 3; mindestens 40 cm	Aufweitungsmaß x 3; mindestens 100 cm	

Tab. 53 – Fräsverfahren: Anwendungshinweise (Quelle: RSV-Merkblatt 8)

Aufnahmen nach einer Berstliningmaßnahme mit einem Sureline-Rohr. Die dabei entstandenen Riefen sind ≤ 10 % der Nennwanddicke und somit unbedenklich.



Abb. 32 – Neuverlegung (Berstlining): Höchste Anforderungen an das Neurohr

4.5 PE-Rohre für die Erdverlegung

PE-Rohrübersicht für die erdverlegte Anwendung

Verlegeart	gemäß DVGW GW 335-A2	gemäß PAS 1075 und DVGW GW 335-A2			gemäß DVGW GW 335-A3
	PE 100 Rohre	Sureline I	Sureline II	Sureline mit Schutzmantel	SurePEX
Offene Grabenverlegung im Sandbett	XX	XX	XX	XX	XX
Offene Grabenverlegung ohne Sandbett	-	XX	XX	XX	XX
Relining mit Ringraum	X ¹⁾	XX	XX	XX	XX
Relining ohne Ringraum	-	XX	XX	XX	XX
Pflugverfahren	-	XX	XX	XX	XX
Fräsverfahren	-	XX	XX	XX	XX
Horizontal- spülbohrverfahren	-	XX	XX	XX	XX
Berstlining	Stahl	-	XX	XX	XX
	Asbestzement	-	XX	XX	XX
Berstlining	Steinzeug	-	XX	XX	XX
	Duktilguss	-	XX	XX	XX
	Grauguss	-	X ²⁾	X ²⁾	XX

- nicht geeignet, + bedingt geeignet, ++ geeignet

Tab. 54 – PE-Rohre für die Erdverlegung

¹⁾ Verlegung mit Gleitkufen

²⁾ der Betriebsdruck ist bei SDR 11 auf 5 bar und bei SDR 17 auf 3,2 bar zu begrenzen

4.6 Zulässige Zugkräfte für Sureline und SurePEX

Zulässige Zugkräfte (F_{zul}) [kN] ohne zusätzliche Biegebeanspruchung für Sureline-Rohre

d_o [mm]	SDR 11						SDR 17					
	20°C			40°C			20°C			40°C		
	≤ 30 min	> 30 min	> 20 h	≤ 30 min	> 30 min	> 20 h	≤ 30 min	> 30 min	> 20 h	≤ 30 min	> 30 min	> 20 h
32	2,7	2,4	2,0	1,9	1,7	1,4	-	-	-	-	-	-
40	4,2	3,8	3,2	3,0	2,7	2,3	-	-	-	-	-	-
50	6,6	5,9	5,0	4,6	4,1	3,5	-	-	-	-	-	-
63	10	9,0	7,5	7,2	6,5	5,4	-	-	-	-	-	-
75	15	14	11	10	9,0	7,5	9,5	8,6	7,1	6,6	6,0	5,0
90	21	19	16	15	14	11	14	13	11	9,5	8,6	7,1
110	31	28	23	22	20	17	20	18	15	14	13	11
125	41	37	31	28	25	21	26	23,	20	18	16	14
140	51	46	38	36	32	27	33	23	25	23	21	17
160	66	59	50	47	42	35	43	39	32	30	27	23
180	84	76	63	59	53	44	55	50	41	38	34	29
200	104	94	78	73	66	55	67	60	50	47	42	35
225	131	118	98	92	83	69	85	77	64	60	54	45
250	162	146	122	114	103	86	105	95	79	74	67	56
280	204	184	153	142	128	107	132	119	99	92	83	69
315	258	232	194	180	162	135	167	150	125	117	105	88
355	327	294	245	229	206	172	212	191	159	149	134	112
400	415	374	311	291	262	218	269	242	202	189	170	142
450	526	473	395	368	331	276	341	307	256	239	215	179
500	648	583	486	454	409	341	421	379	316	295	266	221
560	814	733	611	570	513	428	528	475	396	370	333	278
630	1030	927	773	721	649	541	668	601	501	468	421	351

Tab. 55 – Zulässige Zugkräfte für Sureline-Rohre

Zulässige Zugkräfte (F_{zul}) [kN] ohne zusätzliche Biegebeanspruchung für SurePEX-Rohre

d_o [mm]	SDR 7,4						SDR 11					
	20°C			40°C			20°C			40°C		
	≤ 30 min	> 30 min	> 20 h	≤ 30 min	> 30 min	> 20 h	≤ 30 min	> 30 min	> 20 h	≤ 30 min	> 30 min	> 20 h
25	1,9	1,7	1,4	1,3	1,2	1,0	1,3	1,2	1,0	0,9	0,8	0,7
32	3,1	2,8	2,3	2,1	1,9	1,6	2,1	1,9	1,6	1,5	1,4	1,1
40	4,8	4,3	3,6	3,3	3,0	2,5	3,4	3,1	2,6	2,4	2,22	1,8
50	7,5	6,8	5,6	5,2	4,7	3,9	5,2	4,7	3,9	3,7	3,3	2,8
63	12	11	9,0	8,2	7,4	6,2	8,2	7,4	6,2	5,8	5,2	4,4
75	17	15	13	12	11	9,0	12	11	9,0	8,2	7,4	6,2
90	24	22	18	17	15	13	17	15	13	12	11	9,0
110	36	32	27	25	23	19	25	23	19	18	16	14
125	46	41	35	32	29	24	32	29	24	23	21	17
140	58	52	44	40	36	30	41	37	31	28	25	21
160	75	68	56	53	48	40	53	48	40	37	33	28
180	95	86	71	67	60	50	67	60	50	47	42	35
200	117	105	88	82	74	62	83	75	62	58	52	44

Tab. 56 – Zulässige Zugkräfte für SurePEX-Rohre

4.7 Rohrbiegeradien

Die zulässigen Biegeradien für PE-Rohre werden in den DVGW-Regelwerken und DVS-Richtlinien beschrieben.

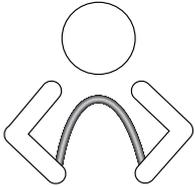
Nach DVGW GW 320-1 ist der Mindestbiegeradius der SDR-Klasse 11 und 17 bei 20°C = 20 x d₀ [mm] (kurzfristige Unterschreitung auf 10 x d₀ [mm] ist zulässig).

Nach DVS 2205-1 dürfen PE-Rohrleitungen bei 20°C eine Randfaserdehnung von 3 % nicht überschreiten.

Mindestbiegeradien [m] von FRANK Rohrsystemen												
d _a [mm]	langzeitige						kurzzeitige					
	Sureline			SurePEX			Sureline			SurePEX		
	20°C	10°C	0°C	20°C	10°C	0°	20°C	10°C	0°	20°C	10°C	0°
32	0,6	1,1	1,6	0,4	0,7	1,0	0,3	0,6	0,8	0,2	0,4	0,5
40	0,8	1,4	2,0	0,5	0,8	1,2	0,4	0,7	1,0	0,2	0,4	0,6
50	1	1,7	2,5	0,6	1,0	1,5	0,5	0,9	1,3	0,3	0,5	0,8
63	1,2	2,2	3,1	0,7	1,3	1,9	0,6	1,1	1,6	0,4	0,7	1,0
75	1,5	2,6	3,7	0,9	1,6	2,2	0,8	1,3	1,9	0,5	0,8	1,1
90	1,8	3,1	4,5	1,1	1,9	2,7	0,9	1,6	2,3	0,5	1,0	1,4
110	2,2	3,8	5,5	1,3	2,3	3,3	1,1	1,9	2,8	0,7	1,1	1,7
125	2,5	4,3	6,2	1,5	2,6	3,7	1,3	2,2	3,1	0,8	1,3	1,9
140	2,8	4,9	7,0	---	---	---	1,4	2,5	3,5	---	---	---
160	3,2	5,6	8,0	---	---	---	1,6	2,8	4,0	---	---	---
180	3,6	6,3	9,0	---	---	---	1,8	3,2	4,5	---	---	---
200	4,0	7,0	10	---	---	---	2,0	3,5	5,0	---	---	---
225	4,5	7,8	11,2	---	---	---	2,3	3,9	5,6	---	---	---
250	5	8,7	12,5	---	---	---	2,5	4,4	6,3	---	---	---
280	5,6	9,8	14	---	---	---	2,8	4,9	7,0	---	---	---
315	6,3	11	15,7	---	---	---	3,2	5,5	7,9	---	---	---
355	7,1	12,4	17,7	---	---	---	3,6	6,2	8,9	---	---	---
400	8,0	14	20	---	---	---	4,0	7,0	10,0	---	---	---
450	9,0	15,7	22,5	---	---	---	4,5	7,9	11,3	---	---	---
500	10	17,5	25	---	---	---	5,0	8,8	12,5	---	---	---
560	11,2	19,6	28	---	---	---	5,6	9,8	14,0	---	---	---
630	12,6	22	31,5	---	---	---	6,3	11,0	15,8	---	---	---

Tab. 57 – Mindestbiegeradien für FRANK PE-Rohre

4.8 Rohrflexibilität



Neben den Mindestbiegeradien ist auch die Flexibilität eines Rohrwerkstoffes wichtig. Die Flexibilität steht im direkten Bezug zu einer einfachen Verarbeitung auf der Baustelle. Gerade im Hausanschlussbereich (da 25 mm - da 63 mm) ist eine leichte Formgebung der Schlüssel zu einer schnellen und kostengünstigen Verlegung. Der Hausanschluss sollte von der Hauptleitung ohne zusätzliche Verbindungen direkt ins Haus führen. Dafür benötigt man ein Rohr, das Umlenkungen auch ohne Formteile ermöglicht.

Rohrflexibilität	Rohrtyp
<p>Sommer hoch Winter niedrig</p>	<p>SurePEX-Rohr: Rohre aus PE-Xa zeichnen sich durch eine enorme Flexibilität aus. Auch bei niedrigen Temperaturen lassen sich diese Rohre leicht in Form bringen. Gerade im Hausanschlussbereich ist dies von Vorteil.</p>
<p>Sommer hoch Winter niedrig</p>	<p>PE-100- und PE-100-RC-Rohr: Bei warmen Temperaturen zeigen Rohre aus PE 100 bzw. PE 100-RC ein gutes Flexibilitätsverhalten. Mit sinkender Temperatur sinkt aber auch die Flexibilität, was einen höheren Kraftaufwand bei der Formgebung erfordert.</p>
<p>Sommer hoch Winter niedrig</p>	<p>PE-100-RC-Rohr mit PP-Schutzmantel: Der PP-Schutzmantel lässt bei sommerlichen Temperaturen eine Verformung nur mit größerem Kraftaufwand zu. Bei niedrigen Temperaturen ist eine Verformung ohne Werkzeug kaum noch möglich.</p>

Abb. 33 – Qualitative Darstellung zur Rohrflexibilität

4.9 Bodenarten

Einteilung der Bodenarten			
Klasse	Bezeichnung	Kennzeichen und Merkmale	Bodengruppen nach DIN 18196
1	Oberboden	Humus, oberste Schicht des Bodens (Mutterboden)	OU, OH, OT
2	fließende Bodenart	Boden mit relativ hohem Wassergehalt (flüssig bis zähflüssig)	F, HZ, HN, OK, OH, OT, OU, TA, TL, UA, UM, UL, ST, SU
3	leicht lösbare Böden	Sand- und Kiesboden mit geringem Steinanteil (Anteil < 30 % über einem Durchmesser von 63 mm Korngröße)	SE, SW, SI, GE, GW, GI, SU, ST, GU, GT, A, HN
4	mittelschwer lösbare Böden	leichte bis mittlere Plastizität, ineinander gebunden, mit geringem Steinanteil (Anteil < 30 % über einem Durchmesser von 63 mm Korngröße)	GU, GT, SU, ST, UL, UM, UA, TL, TM, A, OK, OU, OT, OH
5	schwer lösbare Böden	Böden der Bodenklasse 3 und 4 mit einem großem Steinanteil (Anteil > 30 % über einem Durchmesser von 63 mm Korngröße)	GU, GT, SU, ST, UL, UM, UA, TL, TM, A, OK, OU, OT, OH, TA
6	leicht lösbarer Fels und ähnliche Bodenarten	Felsiger Boden, jedoch brüchig, zerklüftet, weich oder verwittert sowie ähnlich ineinander verfestigt	GU, GT, SU, ST, OH, OK, UL, UM, UA, TL, TM, OU, OT, TA, OT, SE, SW, SI, GE, GW, GI, A
7	schwer lösbarer Fels	felsiger Boden mit einem festem Gefüge, wenig zerklüftet, brüchig oder verwittert	

Tab. 58 – Bodenklassen, Bezeichnungen, Kennzeichen und Merkmale (Quelle: DIN 18196)

4.10 Verbindungstechnik

Für PE-Rohrleitungen sind Heizwendel-, Stumpfschweißen und das Flanschen die gängigsten Verbindungstechniken. Allerdings zählt eine Flanschverbindung zu den lösbaren Verbindungen. Deshalb empfiehlt sich bei erdverlegten Rohrleitungen immer eine Schweißverbindung.

Schweißverbindungen

Die Qualität der Schweißverbindung ist abhängig von der Qualifikation des Schweißers, der Eignung der verwendeten Maschinen und Vorrichtungen sowie der Einhaltung der Schweißrichtlinien (DVS 2207-1). Die Schweißnaht kann durch zerstörungsfreie und/oder zerstörende Verfahren geprüft werden.

- Als Grundlage für das Schweißen von Rohren, Formteilen und Platten aus Polyethylen dient die DVS-Richtlinie 2207-1 ff.
- Für die Ausführung von Schweißarbeiten sind Personen heranzuziehen, die eine einschlägige Ausbildung und Prüfung für die entsprechenden Schweißverfahren nachweisen können (z. B. nach DVS-Richtlinie 2212-1 oder DVGW-Arbeitsblatt GW 330).
- Die zum Schweißen verwendeten Maschinen und Vorrichtungen müssen den Anforderungen entsprechen (z. B. nach DVS-Richtlinie 2208-1).
- Der Schweißbereich ist vor ungünstigen Witterungseinflüssen (z. B. Feuchtigkeit, Wind, starke Sonneneinstrahlung, Temperaturen < 5°C) zu schützen.
- Sofern der Schweißer nicht in seinen Handfertigkeiten behindert wird, ist das Schweißen bei jeder Außentemperatur möglich.
- Die Verbindungsflächen der zu schweißenden Teile sowie das Heizelement dürfen nicht beschädigt werden und müssen frei von Verunreinigungen sein.
- Die Reinigung der Verbindungsflächen muss unmittelbar vor dem Schweißvorgang erfolgen.
- Die zu schweißenden Verbindungen sind spannungsfrei zu halten.
- Die spezifischen Schweißparameter sind einzuhalten.

Übersicht von PE-Schweißverfahren		
	Abkürzung	Gängige Anwendungsbereich
Heizelementstumpfschweißen	HS	Rohrleitungsanlagen und -tiefbau, Dimension > da 63 mm
Heizwendelschweißen	HM	Rohrleitungsanlagen und -tiefbau Dimension ≤ da 1400 mm

Tab. 59 – PE-Schweißverfahren: Abkürzungen und Anwendungsbereiche

Hinweis: Weitere Informationen zu den einzelnen Schweißverfahren finden Sie in diesem Katalog unter dem Kapitel „Schweißtechnik“.





Flanschverbindungen

- Damit die Schrauben für die Flanschverbindung auch bei längerer Betriebszeit leichtgängig bleiben, empfiehlt es sich, das Gewinde z. B. mit Molybdänsulfid zu bestreichen.
- Bei der Auswahl des Dichtungsmaterials sollte insbesondere auf die chemische und thermische Eignung geachtet werden.
- Die Länge der Schrauben ist so zu wählen, dass das Schraubengewinde möglichst zwei bis drei Gewindelängen übersteht.
- Am Schraubenkopf und auch bei der Mutter sind Scheiben unterzulegen.
- Vor dem Aufbringen der Schraubenvorspannung müssen die Dichtflächen planparallel zueinander ausgerichtet sein und eng an der Dichtung anliegen.
- Das Beiziehen der Flanschverbindung mit der dadurch entstehenden Zugspannung ist unter allen Umständen zu vermeiden.
- Das erforderliche Schraubendrehmoment ist abhängig von der Form und dem Werkstoff der gewählten Dichtung (Shore-A-Härte) sowie von der Reibung im Schraubengewinde und an der Mutterauflagefläche (durchschnittlicher Reibungskoeffizient (μ_R) liegt bei ca. 0,15 [-]).
- Die Verbindungsschrauben müssen diagonal gleichmäßig mittels Drehmomentschlüssel angezogen werden.
- Das Schraubenanzugsmoment muss auf einer elastomeren Dichtung eine gewisse Druckspannung erzeugen. Die notwendige Druckspannung ist abhängig vom Breiten-Dickenverhältnis der Dichtung. Die Druckspannung bei einer elastomeren Dichtung sollte zwischen 0,5 N/mm² und 10 N/mm² liegen. Ein Unterschreiten der Mindestdruckspannung kann zu Undichtigkeiten führen. Im Gegenzug führt eine zu hohe Druckspannung zu Beschädigungen und Verformungen im Dichtungsbereich (Dichtung, Losflansch etc.).
- Bei Flanschverbindungen, die einer wechselseitigen Belastung ausgesetzt sind, ist darauf zu achten, dass die Verbindungsstellen im Rahmen der vorgeschriebenen Wartung zu kontrollieren und ggf. nachzuziehen sind.

Die zulässigen Schraubendrehmomente des Dichtungsherstellers sind zu beachten!

Auswahlkriterien zur Dichtungsform			
	empfohlene Einsatzgrenzen		Flansch- bzw. Bundausführung
	Druck [bar]	Temperatur [°C]	
Flachring	bis 10 ¹⁾	bis 40	mit Dichtrillen
Flachring profiliert	bis 16	keine Einschränkung	mit und ohne Dichtrillen

Tab. 60 – Dichtungskriterien (Quelle: DVS-Richtlinie 2210-1 Beiblatt 3)

¹⁾ Bis max. DN 150, > DN 150 max. 6 bar

Mindestdicke von Flachdichtungen	
Nennweite	Dicke [mm]
bis d 90 mm/DN 80	min. 2
ab d 110 mm/DN 100	min. 3

Tab. 61 – Richtwerte zu Mindestdicken von Flachdichtungen (Quelle: DVS-Richtlinie 2210-1 Beiblatt 3)

Richtwerte zu Schraubenanzugsmomenten [Nm]			
DN	Flachring bis 10 bar	Profiling bis 16 bar	
15	15	10 - 15	
20		15	
25			20 - 30
32			
40	35		
50		40 - 50	
65			55
80				60
100	70		
125		80	
150			90
200				100
250	120 ¹⁾		
300		190 ¹⁾	
350			220 ¹⁾
400				100
500			
600			

Tab. 62 – Richtwerte von Schraubenanzugsmomenten bei einer Shore-A-Härte 80° und einem Reibungskoeffizient $\mu_R = 0,15$ [-] (Quelle: DVS-Richtlinie 2210-1 und 2210 Beiblatt 3)

¹⁾ Zulässiger Betriebsüberdruck bis max. 6 bar

4.11 Befestigung

Die mechanischen Eigenschaften und die höhere temperaturbedingte Längenänderung von thermoplastischen Kunststoffen wie Polyethylen bestimmen die Anforderungen für die Befestigung von Rohrleitungen und Plattensystemen.

Befestigen von Kunststoffrohren

- Dehnung und Kontraktion der Rohrleitung in Radial- und Axialrichtung müssen bei oberirdischer Verlegung beachtet werden, d. h. Einbau mit radialem Spiel und Kompensationsmöglichkeiten.
- Befestigungen müssen so ausgelegt sein, dass punktförmige Belastungen vermieden werden, d. h. die Auflageflächen müssen möglichst breit und dem Außendurchmesser angepasst sein (Umschlingungswinkel möglichst $> 90^\circ$ wählen).
- Die Oberflächen der Befestigungen müssen so beschaffen sein, dass mechanische Beschädigungen der Rohroberfläche vermieden werden. Befestigungen für Kunststoff-Rohrleitungssysteme sind aus Kunststoff oder Stahl lieferbar. Stahlschellen sollten unbedingt mit Bändern aus PE oder Elastomeren ausgelegt werden.
- Von Armaturen dürfen keine Kräfte in das Rohrsystem eingeleitet werden (Gewichtskräfte, Bedienungskräfte usw.). Auch von der Rohrleitung dürfen keine Kräfte in die Armatur eingeleitet werden. Die Kräfte sind vor der Armatur beispielsweise durch Festpunkte aufzunehmen. Eine Armatur an sich stellt jedoch keinen Festpunkt dar. In bestimmten Anwendungsfällen gilt dies auch für Rohrleitungsabzweige.
- Bei Verwendung von Kunststoffarmaturen sind die Dehnungskräfte vor der Armatur aufzunehmen bzw. abzuleiten.
- Bei Arbeitsunterbrechungen sind die Rohrenden so zu verschließen, dass weder Wasser noch andere Fremdstoffe in die Leitung eindringen können.

Falsch gewählte Befestigungen können an der Rohroberfläche Beschädigungen verursachen. Kunststoffschellen bieten hier einen optimalen Schutz.



Abb. 34 – FRANK glasfaserverstärkte PP-Rohrschellen mit Edelstahlmanschette



5. Schweißtechnik

5.1	Heizelementstumpfschweißen (HS)	68
5.2	Heizwendelschweißen (HM)	72
5.3	Schweißparameter für AGRU Heizwendelformteile	78

5.1 Heizelementstumpfschweißen (HS)

In Anlehnung an die DVS-Richtlinie 2207-1. und 2207-1 Beiblatt 2.

Die Heizelementstumpfschweißung ist mit einer Schweißvorrichtung durchzuführen. Die Stirnflächen der zu schweißenden Rohre bzw. Formteile werden zunächst planparallel gehobelt, dann am sogenannten Heizelement unter Druck angeglichen („Angleichen“). Anschließend werden die Teile mit reduziertem Fügedruck erwärmt („Anwärmen“) und nach dem Entfernen des Heizelements unter Druck zusammengefügt („Fügen“). Die zur Schweißung benötigten dimensionsabhängigen Parameter werden am Hydraulikaggregat und am Heizelement eingestellt. Mit CNC-Maschinen kann der komplette Schweißvorgang automatisch gesteuert und dokumentiert werden.

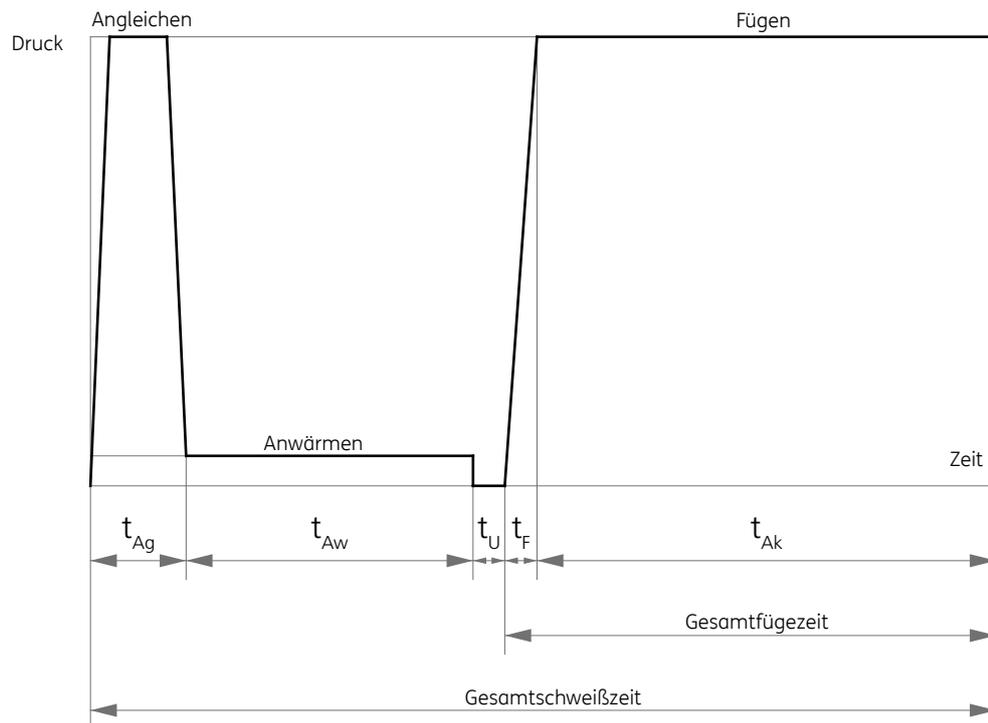


Abb. 35 – Verfahrensablauf einer Heizelementstumpfschweißung

Schweißparameter								
Material	Wanddicke [mm]	Wulsthöhe [mm] bei einem Druck = 0,15 N/mm ²	Anwärmzeit (t _{AW}) [sec] bei einem Druck ≤ 0,01 N/mm ²	max. Umstellzeit (t _U) [sec]	Fügedruckaufbauzeit (t _F) [sec]	Abkühlzeit (t _{AK}) [min] bei einem Druck = 0,15 N/mm ²		
						≤ 15 °C	16-25°C	26-40°C
PE 100, PE 100-RC	1,8 - 4,5	0,5	18 - 45	2 - 5	2 - 5	4,0	5,0	6,5
	4,5 - 7,0	1,0	45 - 70	5 - 6	5 - 6	4,0 - 6,0	5,0 - 7,5	6,5 - 9,5
	7,0 - 12,	1,5	70 - 120	6 - 8	6 - 8	6,0 - 9,5	7,5 - 12	9,5 - 15,5
	12 - 19	2,0	120 - 190	8 - 10	8 - 11	9,5 - 14	12 - 18	15,5 - 24
	19 - 26	2,5	190 - 260	10 - 12	11 - 14	14 - 19	18 - 24	24 - 32
	26 - 37	3,0	260 - 370	12 - 16	14 - 19	19 - 27	24 - 34	32 - 45
	37 - 50	3,5	370 - 500	16 - 20	19 - 25	27 - 36	34 - 46	45 - 61
	50 - 70	4,0	500 - 700	20 - 25	25 - 35	36 - 50	46 - 64	61 - 85
	70 - 90	4,5	700 - 900	25 - 30	35	50 - 64	64 - 82	85 - 109
	90 - 110	5,0	900 - 1100	30 - 35	35	64 - 78	82 - 100	109 - 133
110 - 130	5,5	1100 - 1300	max. 35	35	78 - 92	100 - 118	133 - 157	

Tab. 63 – Richtwerte für das Heizelementstumpfschweißen von Rohren, Formstücken bei einer Außentemperatur von ca. 20°C und mäßiger Luftbewegung

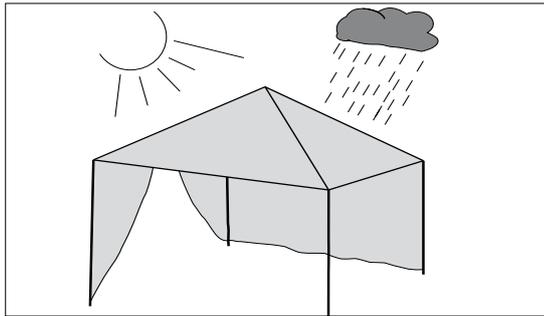


Die Heizelementstumpfschweißung sollte nach der DVS-Richtlinie 2207-1 erfolgen.

Ablauf einer Heizelementstumpfschweißung

1. Schweißplatz

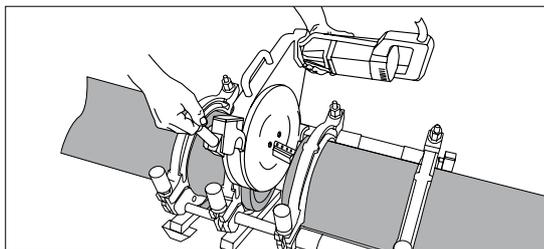
- Das Schweißgerät muss standsicher aufgestellt werden und in seiner Funktionsfähigkeit nicht eingeschränkt sein.
- Falls notwendig, ist ein Schweißzelt (Schirm) aufzustellen ❶.



❶ Schweißplatz nach DVS vorbereiten

2. Vorbereitung der Rohre und Formteile

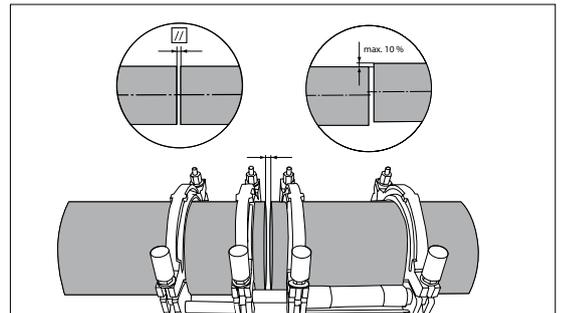
- Rohre und Formteile sind vor dem Einspannen in die Schweißmaschine axial so auszurichten, dass die Flächen planparallel zueinander stehen.
- Die Längsbewegung der zu schweißenden Teile ist durch geeignete Maßnahmen (z. B. verstellbare Rollenböcke) sicherzustellen.
- Die Verbindungsflächen der zu schweißenden Teile müssen vor der spanenden Verarbeitung frei von Verunreinigungen sein (Schmutz, Fett usw.) und dürfen keine Beschädigung aufweisen.
- Die Rohrenden müssen beidseitig plan gehobelt ❷ und die Späne aus dem Schweißnahtbereich entfernt (mittels Pinsel, Papier etc.) werden.



❷ Stirnfläche der Rohrenden plan hobeln

Nach der Bearbeitung dürfen die Schweißflächen weder berührt noch beschmutzt werden.

- Die Planparallelität der Schweißflächen ist durch Zusammenfahren der Teile zu überprüfen ❸. Der vorhandene Rohrversatz darf nicht $> 0,1 \times$ Wanddicke betragen. Bei Wanddicken > 30 mm darf der Versatz max. bei 5 mm liegen. Ebenfalls ist darauf zu achten, dass die Nennwanddicken im Fügebereich übereinstimmen.



❸ Versatz der Rohre kontrollieren und evtl. zueinander ausrichten

- Maximale Spaltbreiten:

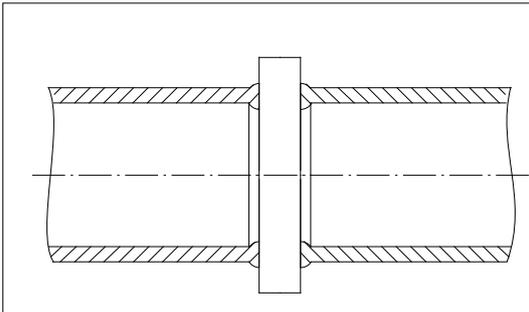
\leq da 355 mm	= 0,5 mm
da 400 ... < 630	= 1,0 mm
da 630 ... < 800	= 1,3 mm
da 800 ... \leq 1000	= 1,5 mm
$>$ da 1000 mm	= 2,0 mm

3. Vorbereitung zum Schweißvorgang

- Um eine Abkühlung beim Schweißen durch starken Luftzug im Rohr zu vermeiden, sind die der Schweißstelle entgegengesetzten Rohrenden zu verschließen.
- Schweißtemperatur einstellen (z. B. PE-100-Rohre $220^{\circ}\text{C} \pm 10^{\circ}\text{C}$).
- Mit geeignetem Messgerät die Schweißtemperatur prüfen (frühestens 10 Minuten nach Erreichen der Schweißtemperatur mit dem Schweißen beginnen).
- Um Verschmutzungen oder Beschädigungen zu vermeiden, ist das Heizelement vor und nach dem Schweißen in einer Schutzvorrichtung aufzubewahren.
- Das Heizelement ist vor jedem Schweißvorgang mit sauberen, uneingefärbten, nicht fasernden Papier zu reinigen.
- Ermittlung des Schweißdrucks $[p_s]$:
 $p_s = \text{Bewegungsdruck} + \text{Fügedruck}$

4. Schweißvorgang

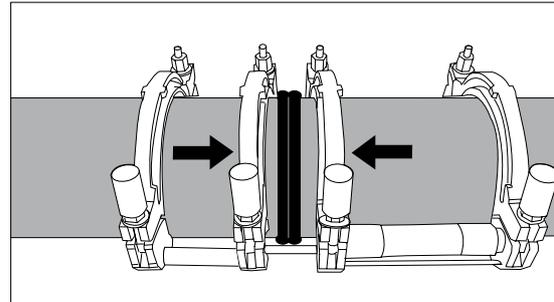
- Aufbringen des notwendigen Angleichdruckes. Hierbei werden die schweißenden Fügeflächen so lange an das Heizelement gedrückt, bis sich unter dem Druck eine Wulst bildet ④. Das Angleichen ist abgeschlossen, wenn die für die jeweilige Dimension geforderte Wulsthöhe erreicht wurde.
- Der Angleichdruck wird nahezu auf Null abgesenkt ($< 0,01 \text{ N/mm}^2$).



④ Angleichen und Anwärmen der Stirnfläche

- Die vorgegebene Anwärmzeit abwarten.
- Das Heizelement innerhalb der max. Umstellzeit entfernen.
- Die Verbindungsflächen zusammenfügen. Den Fügedruck kontinuierlich auf den erforderlichen Wert steigern ⑤.

- Nach dem Fügen muss ein gleichmäßiger Doppelwulst vorhanden sein.
- Nach Ablauf der erforderlichen Abkühlzeit Verbindung ausspannen.



⑤ Fügedruck muss auch während der Abkühlzeit in voller Höhe erhalten bleiben

5. Mögliche Prüfungen der Schweißverbindung

- Visuelle Kontrolle der Schweißwulst nach DVS-Richtlinie 2202-1.
- Durchführung einer Druckprobe gemäß den einschlägigen Normen, Merkblättern oder Richtlinien wie z. B. DVS-Richtlinie 2210-1 Beiblatt 2, DIN EN 805, DVGW-Arbeitsblatt 400-2. Bis zur Durchführung der Druckprobe müssen alle Schweißverbindungen vollständig abgekühlt sein.
- Zerstörende Prüfungen z. B. nach DVS 2203.



Abb. 36 – CNC-Stumpfschweißmaschine für die Baustelle - Wi-CNC 4600

5.2 Heizwendelschweißen (HM)

In Anlehnung an die DVS-Richtlinie 2207-1.

Die Schweißung des Formteils erfolgt mittels elektrischer Energiezufuhr. Dabei werden Rohr und Formteil mit Hilfe der im Formteil integrierten Heizwendeldrähte auf Schweißtemperatur erwärmt. Die Energiezufuhr erfolgt mit einem Heizwendelschweißgerät (z. B. polycontrol plus). Die Schweißparameter werden mittels eines Barcodes eingelesen. Für eine dauerhafte, dichte Verbindung von Rohren aus Polyethylen hat sich die Heizwendelschweißung bewährt. Dieses Schweißverfahren wird in der Gas- und Wasserversorgung, im Abwasserbereich und in Industrieanlagen eingesetzt.

Heizwendel

Der Heizwendeldraht befindet sich an der Innenseite, spiralförmig im Fügebereich. Wenn ein Formteil über eine einzige Heizwendel verfügt, d. h. beide Fügestellen mittels einer Schweißung verbindet, handelt es sich um eine monofilare Ausführung. Wenn jede Fügestelle separat geschweißt wird, liegt eine bifilare Ausführung vor. Die Stromzufuhr erfolgt bei beiden Varianten jeweils über Anschlussstecker an der Außenseite.



Abb. 37 – Querschnitt einer monofilaren Heizwendelschweißung



Abb. 38 – Querschnitt einer bifilaren Heizwendelschweißung

Schweißcode

Der Schweißcode enthält die benötigten Schweißparameter und kann mit allen gängigen Heizwendelschweißgeräten eingelesen werden. Auf den AGRU Heizwendelformteilen befindet sich neben dem Schweißcode auch ein gelb hinterlegter Barcode für die Rückverfolgbarkeit (Traceabilitycode). Er ermöglicht die Erfassung von chargenbezogenen Angaben.

- Schweißcode = weißer Hintergrund
- Traceabilitycode = gelber Hintergrund

Neben dem Barcode besitzen die bifilaren AGRU Heizwendelmuffen einen zusätzlichen Vorwärmcode. Damit wird die Vorwärmfunktion aktiviert, die den Spalt zwischen der Heizwendelmuffe und dem Rohr auf das maximal zulässige Spaltmaß reduziert.



Abb. 39 – Schweiß- und Traceabilitycode von AGRU Heizwendelformteilen



Abb. 40 – AGRU Vorwärmcode für bifilare E-Muffen

Aufbau Schweißcode (weiß) nach ISO 13950

Nummernstelle	Beschreibung
1 - 2	Formteil
3 - 6	Hersteller
7 - 8	Abkühlzeit
9 - 11	Dimension
12	Energiezufuhr
13 - 14	Spannungsniveau
15 - 17	Widerstand
18	Toleranzbereich des Widerstands
19 - 21	Schweißzeit
22 - 23	Korrekturwert für die Energie
24	Prüfziffer

Aufbau Traceabilitycode (gelb) nach ISO 12176-4

Nummernstelle	Beschreibung
1 - 4	Hersteller
5 - 6	Formteil
7 - 9	Dimension
10 - 15	Seriennummer
16 - 17	Produktionsstandort
18	SDR-Klasse
19 - 22	Grundmaterial
23	Materialzustand
24	MRS
25	MFR
26	Prüfziffer

Tab. 64 – Aufbau AGRU Formteilbarcode

Schweißbarkeit von AGRU Heizwendelmuffen

Schweißbarkeit ≠ Druckbereich; die SDR-Reihe mit dem kleinsten zulässigen Betriebsdruck bestimmt die max. Druckbelastung in der kompletten Rohrleitung.

AGRU E-Muffen	d _a [mm]	SDR-Reihe Rohre und Formteile							
		33	26	17,6	17	13,6	11	9	7,4
SDR 11	20	nein	nein	nein	nein	nein	ja	ja	ja
	25	nein	nein	nein	nein	nein	ja	ja	ja
	32	nein	nein	nein	nein	nein	ja	ja	ja
	40	nein	nein	ja	ja	ja	ja	ja	ja
	50	nein	nein	ja	ja	ja	ja	ja	ja
	63	nein	nein	ja	ja	ja	ja	ja	ja
	75	nein	nein	ja	ja	ja	ja	ja	ja
	90	nein	nein	ja	ja	ja	ja	ja	ja
	110	nein	nein	ja	ja	ja	ja	ja	ja
	125	nein	nein	ja	ja	ja	ja	ja	ja
	140	nein	nein	ja	ja	ja	ja	ja	ja
	160	nein	nein	ja	ja	ja	ja	ja	ja
	180	nein	ja	ja	ja	ja	ja	ja	ja
	200	nein	nein	ja	ja	ja	ja	ja	ja
	225	nein	nein	ja	ja	ja	ja	ja	ja
	250	nein	ja	ja	ja	ja	ja	ja	ja
	280	nein	ja	ja	ja	ja	ja	ja	ja
	315	nein	ja	ja	ja	ja	ja	ja	ja
	355	nein	ja	ja	ja	ja	ja	ja	ja
400	nein	ja	ja	ja	ja	ja	nein	nein	
450	nein	nein	ja	ja	ja	ja	nein	nein	
500	nein	nein	ja	ja	ja	ja	nein	nein	
SDR 17	90	nein	ja	ja	ja	nein	nein	nein	nein
	110	ja	ja	ja	ja	nein	nein	nein	nein
	160	ja	ja	ja	ja	nein	nein	nein	nein
	250	ja	ja	ja	ja	nein	nein	nein	nein
	280	ja	ja	ja	ja	nein	nein	nein	nein
	315	ja	ja	ja	ja	nein	nein	nein	nein
	355	ja	ja	ja	ja	nein	nein	nein	nein
	400	ja	ja	ja	ja	nein	nein	nein	nein
	450	ja	ja	ja	ja	nein	nein	nein	nein
	500	ja	ja	ja	ja	nein	nein	nein	nein
	560	ja	ja	ja	ja	nein	nein	nein	nein
630	ja	ja	ja	ja	nein	nein	nein	nein	
710	ja	ja	ja	ja	nein	nein	nein	nein	

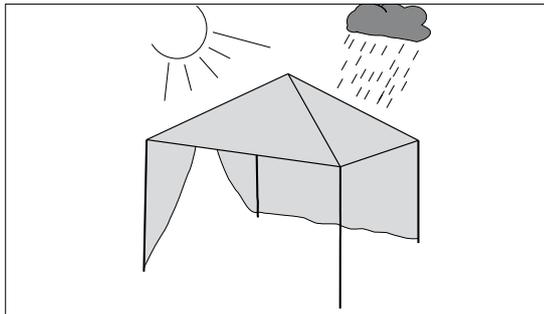
Tab. 65 – Schweißbarkeit von AGRU Heizwendelformteilen

Verlegehinweise einer monofilaren Heizwendelschweißung $\leq d_n 500$ mm mit AGRU Formteilen

Die Heizwendelschweißung sollte nach der DVS-Richtlinie 2207-1 erfolgen.

1. Schweißplatz

- Der Arbeitsbereich ist vor direkter Sonneneinstrahlung und Feuchtigkeit zu schützen.
- Falls notwendig, ist ein Schweißzelt (Schirm) aufzustellen ❶.

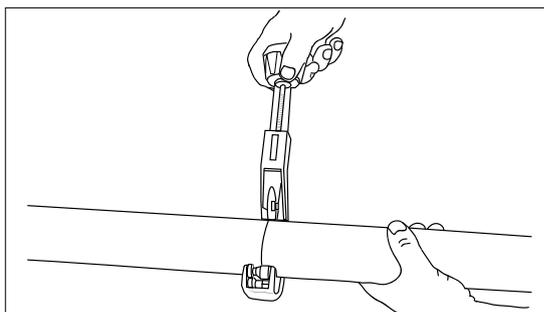


❶ Schweißplatz nach DVS vorbereiten

- Das Schweißgerät ist sicher aufzustellen und auf seine Funktionsfähigkeit zu prüfen.

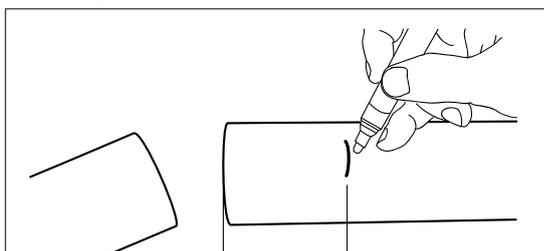
2. Vorbereitung der Rohre und Formteile

- Die Vorbereitungsmaßnahmen haben unmittelbar vor der Schweißung zu erfolgen.
- Überprüfung des Rohrendeneinfalls. Sollte der Einfall bis in die Schweißzone der Heizwendel reichen, muss dieser entsprechend gekürzt werden.
- Die Rohre sind mit einem geeigneten Schneidwerkzeug ❷ rechtwinklig zu trennen und ggf. außen zu entgraten.



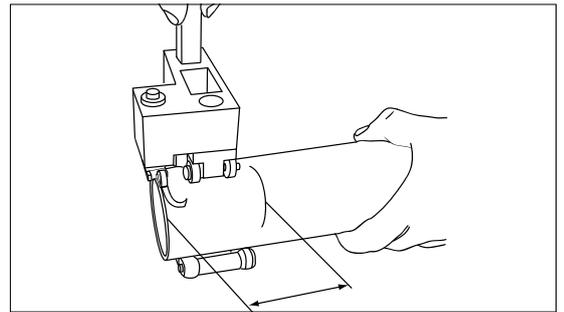
❷ Rohre mit Rohrschneider trennen

- Die Rohre im Bereich der Einstecklänge mit einem trockenen Lappen vorreinigen.
- Auf dem Stutzenende die entsprechende Einstecklänge markieren ❸.



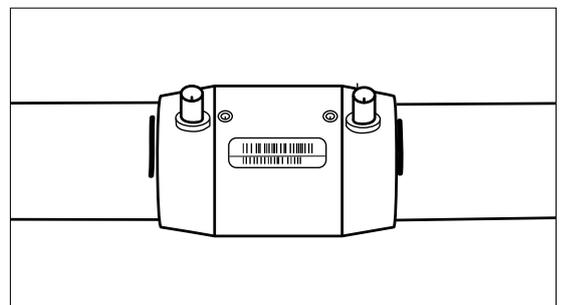
❸ Einstecktiefe markieren

- Der Bereich der Einstecklänge ist mit einem Rotationsschälgerät zu bearbeiten ❹. Dabei muss sich ein umlaufender Span von ca. 0,2 mm Dicke bilden. Der Span ist ohne Berührung der bearbeiteten Rohroberfläche zu entfernen.



❹ Oxidschicht entfernen

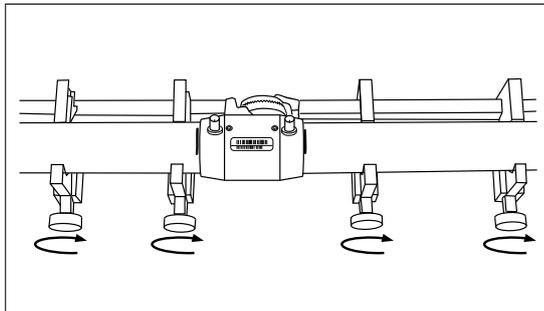
- Das Heizwendelformteil ist erst unmittelbar vor der Schweißung aus der Verpackung zu nehmen.
- Die Muffeninnenseite und vorbereitete Stutzenoberfläche nicht mit den Fingern berühren oder verschmutzen. Kann eine Verschmutzung nicht ausgeschlossen werden, ist die Schweißfläche mit speziellen und zugelassenen PE-Reinigern (technisch reiner Spiritus mit 99,8 % Ethylalkohol, < 0,1 % Wasser im Originalgebinde) und einem sauberen, nicht eingefärbten und nicht fasernden Papier zu reinigen.
- Das Heizwendelformteil ist bis zum Mittenanschlag bzw. zur markierten Einstecktiefe auf das Stutzenende aufzuschieben ❺.
- Das andere Stutzenende ebenfalls bis zum Mittenanschlag einschieben (spannungsfrei). Ein gewaltsames Aufbringen, z. B. mit dem Hammer, ist unzulässig.



❺ Rohre bis zur Markierung in Muffe schieben

- Wenn eine Ovalität der Rohrenden kein leichtgängiges Aufschieben zulässt, sind Rundungsklemmen zu verwenden. Ovalitäten/Erhöhungen am Rohr dürfen nicht durch Abarbeiten mit der Ziehklänge ausgeglichen werden.

- Die zu schweißende Verbindung ist mit Halteklemmen zu sichern ⑥.
- Während der gesamten Schweiß- und Abkühlzeit muss die Halteklemme montiert bleiben.

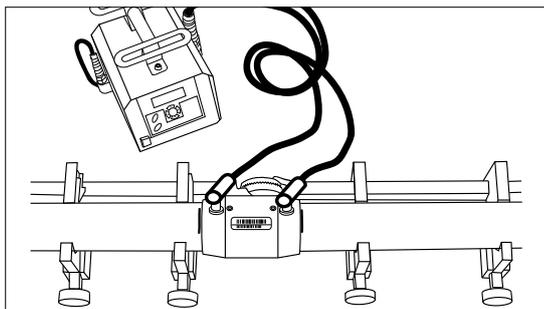


⑥ Rohre mit Halteklemme fixieren

- Die Steckanschlüsse am Heizwendelformteil, wenn möglich, nach oben ausrichten.
- Gegebenenfalls müssen bei Großmuffen ($\geq d_0$ 560 mm) zum Schweißdruckaufbau, Spanngurte angelegt werden. Hierzu bitte Herstellerangaben der Heizwendelmuffe beachten.

3. Schweißung

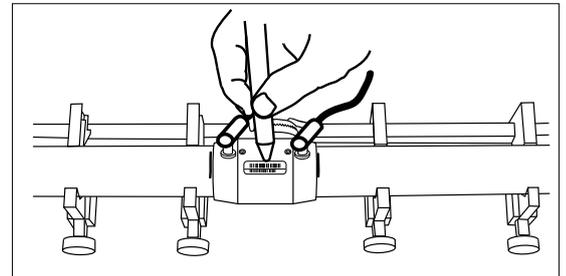
- Das Schweißkabel mit den Anschlusssteckern aufstecken und gewichtsentlastend ausrichten ⑦.



⑦ Schweißgerät anschließen

Die Bedienungsanleitung des verwendeten Schweißgerätes ist zu beachten.

- Die Schweißparameter über einen Lesestift oder Scanner einlesen ⑧.
- Die Displayanzeige kontrollieren (Hersteller, Durchmesser usw.) und bei korrekten Werten bestätigen. Den Schweißvorgang am Gerät starten und die Soll- und Ist-Zeit kontrollieren.



⑧ Schweißparameter einscannen, Werte am Gerät prüfen und Schweißvorgang starten

- Bei einer Unterbrechung der Schweißung (z. B. durch einen Stromausfall) ist ein einmaliges Nachschweißen der Muffe nach vollständiger Abkühlung ($< 35^\circ\text{C}$) zulässig, wobei das Vorwärmen und die Spaltkontrolle zu wiederholen sind.
- Nach Beendigung der Schweißung sind die Abkühlzeiten unbedingt einzuhalten.

4. Mögliche Prüfungen der Schweißverbindung

- Ob ein Schweißprozess erfolgte, kann zunächst einmal über die Indikatoren kontrolliert werden. Die Indikatoren geben keine Aussage über die Qualität der Schweißung.
- Visuelle Kontrolle der Schweißverbindung nach DVS-Richtlinie 2202-1.
- Die Druckprobe ist gemäß den einschlägigen Regelwerken (z. B. DVS-Richtlinie 2210-1 Beiblatt 2, DIN EN 805, DVGW-Arbeitsblatt 400-2) durchzuführen. Bis zur Durchführung der Druckprobe müssen alle Schweißverbindungen vollständig abgekühlt sein.
- Überprüfung der Schweißparameter anhand eines Schweißprotokolls. Bei Schweißgeräten mit Protokollierung werden sämtliche Schweißparameter automatisch gespeichert. Diese Daten können dann als „Schweißprotokoll“ ausgedruckt werden.
- Zerstörende Prüfungen z. B. nach DVS 2203.

Verlegehinweise einer bifilaren Heizwendelschweißung $\geq d_n$ 560 mm mit AGRU Formteilen

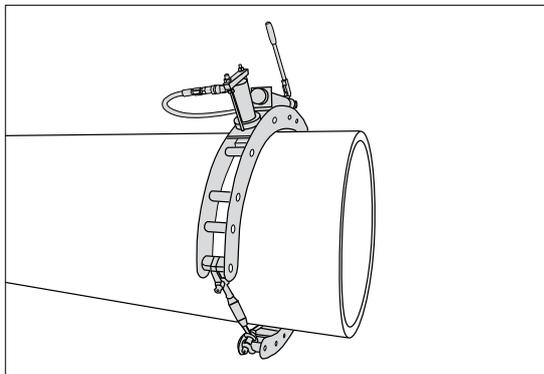
Die Heizwendelschweißung sollte nach der DVS-Richtlinie 2207-1 erfolgen.

1. Schweißplatz

- Der Arbeitsbereich ist vor direkter Sonneneinstrahlung und Feuchtigkeit zu schützen.
- Falls notwendig, ist ein Schweißzelt (Schirm) aufzustellen.
- Das Schweißgerät ist sicher aufzustellen und auf seine Funktionsfähigkeit zu prüfen.

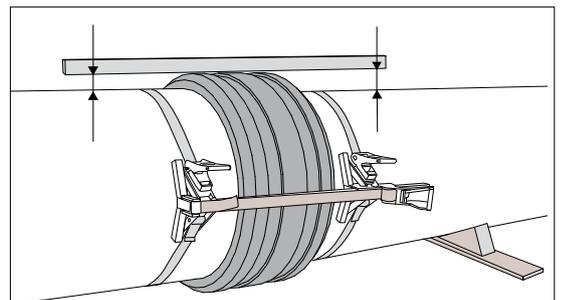
2. Vorbereitung der Rohre und Formteile

- Die Vorbereitungsmaßnahmen haben unmittelbar vor der Schweißung zu erfolgen.
- Überprüfung des Rohrendeneinfalls. Sollte der Einfall bis in die Schweißzone der Heizwendel reichen, muss dieser entsprechend gekürzt werden.
- Die Rohre sind mit einem geeigneten Schneidwerkzeug rechtwinklig zu trennen und ggf. außen zu entgraten.
- Die Rohre im Bereich der Einstecklänge mit einem trockenen Lappen vorreinigen.
- Auf dem Stutzenende die entsprechende Einstecklänge markieren.
- Um ein mehrmaliges Anprobieren zu vermeiden, wird empfohlen, den Rohrdurchmesser vor dem Schälen zu messen.
- Der Bereich der Einstecklänge ist mit einem Rotationsschälgerät ❶ zu bearbeiten. Dabei muss sich ein umlaufender Span von ca. 0,2 mm Dicke bilden. Der Span ist ohne Berührung der bearbeiteten Rohroberfläche zu entfernen. Ein einmaliger Abtrag von mindestens 0,2 mm Spandicke kann je nach Passungsverhältnis bereits ausreichend sein. Aufgrund der großen Toleranzbreiten der Rohre ist meist ein mehrmaliges Schälen des Rohres erforderlich. Der Normaußendurchmesser minus 0,4 mm darf hierbei aber nicht unterschritten werden.



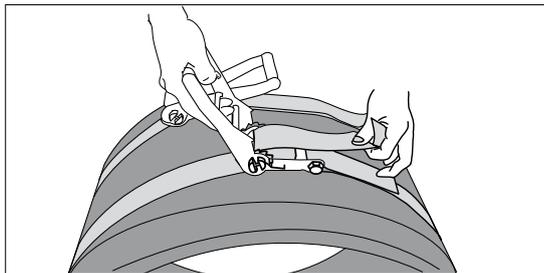
❶ Oberfläche mit Rotationsschälgerät spanend bearbeiten

- Das Heizwendelformteil ist erst unmittelbar vor der Schweißung aus der Verpackung zu nehmen.
- Die Muffeninnenseite und vorbereitete Stutzenoberfläche nicht mit den Fingern berühren oder verschmutzen. Kann eine Verschmutzung nicht ausgeschlossen werden, ist die Schweißfläche mit speziellen und zugelassenen PE-Reinigern (technisch reiner Spiritus mit 99,8 % Ethylalkohol, < 0,1 % Wasser im Originalgebinde) und einem sauberen, nicht eingefärbten und nicht fasernden Papier zu reinigen.
- Um die Muffenmontage zu erleichtern, hilft eine Anfasung an der Rohrstirnkante am Außendurchmesser (5 mm \times 45°). Die Rohrrinnenkante ist zu entgraten und Späne sind aus dem Rohr zu entfernen.
- Bei der Muffenmontage ist darauf zu achten, dass die Kontaktstecker der Muffe sowie der Schweißcode leicht zugänglich sind.
- Das Heizwendelformteil ist bis zur Mitte bzw. zur markierten Einstecktiefe auf das Stutzenende aufzuschieben.
- Die Montage kann durch gleichmäßig um die Stirnkante verteilte Schläge mit einem Kunststoffhammer unterstützt werden, bis die markierte Einstecklänge über den ganzen Umfang erreicht wird. Ein Verkanten beim Zusammenfügen ist nicht zulässig.
- Wenn eine Ovalität der Rohrenden kein leichtgängiges Aufschieben zulässt, sind Rundungsklemmen zu verwenden. Ovalitäten/Erhöhungen am Rohr dürfen nicht durch Abarbeiten mit der Ziehklänge ausgeglichen werden.
- Das Rohr bzw. Formteil und die Muffe müssen spannungsfrei und axial ausgerichtet sein ❷. Dies kann durch Haltevorrichtungen oder auch durch ein Unterlegen der Rohrleitung bzw. Muffe erreicht werden.



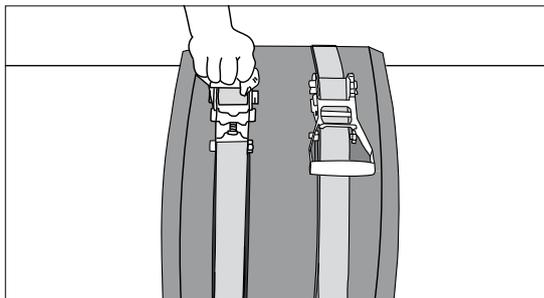
❷ Spannungsfrei und axial ausrichten

- Rohre dürfen nicht unter Eigenlast oder Biegespannung in der Muffe stecken. Die Spannungsfreiheit ist auch bis zum vollständigen Ablaufen der Kühlzeit aufrechtzuerhalten.
- Nach dem Ausfschieben des Heizwendelformteils müssen zwei 50 mm breite Spanngurte angelegt werden. ③



③ Spanngurte anlegen

- Beide Spanngurte müssen dabei in die jeweils dafür vorgesehenen Nuten eingelegt und befestigt werden. ④



④ Spanngurte in die dafür vorgesehenen Nuten einlegen

3. Schweißung

- Das Schweißkabel mit den Anschlusssteckern aufstecken und gewichtsentlastend ausrichten.
- Vor der Schweißung erfolgt die Kontrolle des Ringspaltes anhand der mitgelieferten Spaltlehre.
- Zur Minimierung des Ringspalts muss die Vorwärmung an der jeweiligen Muffenseite mit dem Vorwärmcode durchgeführt werden.
- Nach dem Vorwärmen ist der Ringspalt der ersten Muffenseite im angegebenen Abkühlzeitraum zu überprüfen. Wenn dieser in Ordnung ist, kann die Schweißung der ersten Muffenseite gestartet werden. Ist der Spalt zu groß, ist die Vorwärmung zu wiederholen.

Die Bedienungsanleitung des verwendeten Schweißgerätes ist zu beachten.

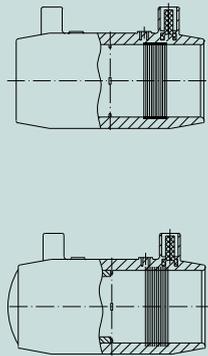
- Die Schweißparameter über einen Lesestift oder Scanner einlesen.
- Die Displayanzeige kontrollieren (Hersteller, Durchmesser usw.) und bei korrekten Werten bestätigen. Den Schweißvorgang am Gerät starten und die Soll- und Ist-Zeit kontrollieren.
- Bei einer Unterbrechung der Schweißung (z. B. durch einen Stromausfall) ist ein einmaliges Nachschweißen der Muffe nach vollständiger Abkühlung (< 35°C) zulässig, wobei das Vorwärmen und die Spaltkontrolle zu wiederholen sind.
- Nach Beendigung der Schweißung sind die Abkühlzeiten unbedingt einzuhalten.
- Die Schweißung der zweiten Seite des Heizwendelformteils wird ebenfalls, wie zuvor beschrieben, durchgeführt.
- Nach Ablauf der Abkühlzeit können beide Gurte von der Muffe entfernt werden.

4. Mögliche Prüfungen der Schweißverbindung

- Ob ein Schweißprozess erfolgte, kann zunächst einmal über die Indikatoren kontrolliert werden. Die Indikatoren geben keine Aussage über die Qualität der Schweißung.
- Visuelle Kontrolle der Schweißverbindung nach DVS-Richtlinie 2202-1.
- Die Druckprobe ist gemäß den einschlägigen Regelwerken (z. B. DVS-Richtlinie 2210-1 Beiblatt 2, DIN EN 805, DVGW-Arbeitsblatt 400-2) durchzuführen. Bis zur Durchführung der Druckprobe müssen alle Schweißverbindungen vollständig abgekühlt sein.
- Überprüfung der Schweißparameter anhand eines Schweißprotokolls. Bei Schweißgeräten mit Protokollierung werden sämtliche Schweißparameter automatisch gespeichert. Diese Daten können dann als „Schweißprotokoll“ ausgedruckt werden.
- Zerstörende Prüfungen z. B. nach DVS 2203.

5.3 Schweißparameter für AGRU Heizwendelformteile

Technische Informationen zu Heizwendelformteilen Fabrikat AGRU (Muffen)



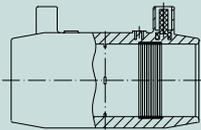
Form- teil	da [mm]	max. Spaltmaß [mm]	Wartezeit ¹⁾ [min]	Spannung [V]	Richtwerte zur Schweißzeit [min]		
					Verlegetemperatur [°C]		
					< 0	15 - 25	> 35
SDR 11 Muffen / Endkappen	20	1,05	20	24	< 1	< 1	< 1
	25	1,05	20	32	< 1	< 1	< 1
	32	1,10	20	40	< 1	< 1	< 1
	40	1,20	20	40	1	1	< 1
	50	1,20	20	40	1 - 2	1	< 1
	63	1,15	20	40	1 - 2	1 - 2	1
	75	1,40	30	40	2 - 3	2	2
	90	2,00	30	40	2 - 3	2	2
	110	2,10	30	40	3 - 4	2 - 3	2 - 3
	125	2,20	35	40	3 - 4	3	3
	140	2,30	35	40	4 - 5	4	3 - 4
	160	2,10	40	40	6	5	4 - 5
	180	2,40	40	40	6 - 7	6	5 - 6
	200	2,20	60	40	8 - 9	6 - 7	6
	225	2,50	60	40	11 - 12	10	9
	250	3,60	60	40	12	10 - 11	9 - 10
	280	2,60	60	40	13	11	10
	315	2,70	90	40	17	15	13
	355	3,40	90	40	30	25	20
	400	3,40	90	40	35	30	25
450	3,60	90	42	60	45	45	
500	3,60	90	44	65	50	50	
560 ²⁾	Vorwärmcode	90	42	18	14	12	
630 ²⁾	Vorwärmcode	90	44	20	16	15	
710 ²⁾	Vorwärmcode	180	44	27	24	21	

Tab. 66 – Schweißparameter für AGRU Heizwendelformteilen

¹⁾ Zeitraum (inkl. Kühlzeit) bis zur vollen Belastbarkeit

²⁾ bifila e Ausführung (getrennte Schweißzonen) = Schweißzeitenangabe gilt pro Schweißzone und ohne Vorwärmzeit

Technische Informationen zu Heizwendelformteilen Fabrikat AGRU (Muffen)



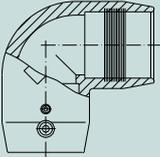
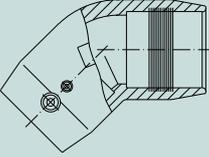
Form- teil	da [mm]	max. Spaltmaß [mm]	Wartezeit ¹⁾ [min]	Spannung [V]	Richtwerte zur Schweißzeit [min]		
					Verlegetemperatur [°C]		
					< 0	15 - 25	> 35
SDR 17 Muffen	90	1,90	30	40	2	2	1 - 2
	110	2,10	30	40	3	2 - 3	2
	160	2,10	40	40	5 - 6	4 - 5	4
	200	2,20	60	40	7	5 - 6	4 - 5
	225	2,90	60	40	9 - 10	8 - 9	7 - 8
	250	3,60	60	40	10 - 11	9	8
	280	2,80	60	40	11 - 12	9 - 10	8 - 9
	315	3,00	90	40	17	15	12 - 13
	355	3,40	90	40	30	25	20
	400	3,40	90	40	35	30	25
	450	3,60	90	42	60	45	45
	500	3,60	90	48	65	50	50
	560 ²⁾	Vorwärmcode	90	42	18	14	12
	630 ²⁾	Vorwärmcode	90	42	18	16	13
	710 ²⁾	Vorwärmcode	90	42	30	24	23
	800 ²⁾	Vorwärmcode	180	42	28	25	24
900 ²⁾	Vorwärmcode	180	42	41	37	35	

Tab. 67 – Schweißparameter für AGRU Heizwendelformteilen

¹⁾ Zeitraum (inkl. Kühlzeit) bis zur vollen Belastbarkeit

²⁾ bifilare Ausführung (getrennte Schweißzonen) = Schweißzeitenangabe gilt pro Schweißzone und ohne Vorwärmzeit

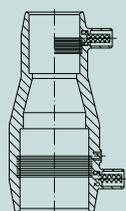
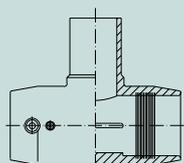
Technische Informationen zu Heizwendelformteilen Fabrikat AGRU (Winkel 90° und 45°)

Form- teil	da [mm]	max. Spaltmaß [mm]	Wartezeit ¹⁾ [min]	Spannung [V]	Richtwerte zur Schweißzeit [min]		
					Verlegetemperatur [°C]		
					< 0	15 - 25	> 35
 SDR 11 Winkel 90°	20	1,15	20	24	< 1	< 1	< 1
	25	1,15	20	32	< 1	< 1	< 1
	32	1,20	20	40	< 1	< 1	< 1
	40	1,30	20	40	1	< 1	< 1
	50	1,30	20	40	1	1	< 1
	63	1,35	20	40	1 - 2	1	1
	75	1,50	30	40	2 - 3	2	2
	90	2,00	30	40	2 - 3	2	2
	110	2,10	30	40	3 - 4	2 - 3	2 - 3
	125	2,10	35	40	3 - 4	3	3
	160	2,40	40	40	6	5	4 - 5
	180	2,90	40	40	6 - 7	5 - 6	5 - 6
	200	2,40	60	40	8 - 9	7	6 - 7
225	3,10	60	40	11 - 12	10	9	
 SDR 11 Winkel 45°	20	1,15	20	24	< 1	< 1	< 1
	25	1,15	20	32	< 1	< 1	< 1
	32	1,20	20	40	< 1	< 1	< 1
	40	1,30	20	40	1	< 1	< 1
	50	1,30	20	40	1	1	< 1
	63	1,35	20	40	1 - 2	1	1
	75	1,50	30	40	2 - 3	2	2
	90	2,00	30	40	2 - 3	2	2
	110	2,10	30	40	3 - 4	2 - 3	2 - 3
	125	2,10	35	40	3 - 4	3	3
	160	2,40	40	40	6	5	4 - 5
	180	2,90	40	40	7	5 - 6	5 - 6
	200	2,40	60	40	8 - 9	7	6 - 7
225	3,10	60	40	11 - 12	10	9	

Tab. 68 – Schweißparameter für AGRU Heizwendelformteilen

¹⁾ Zeitraum (inkl. Kühlzeit) bis zur vollen Belastbarkeit

Technische Informationen zu Heizwendelformteilen Fabrikat AGRU (T-Stücke und Reduktionen)



Form- teil	da [mm]	max. Spaltmaß [mm]	Wartezeit ¹⁾ [min]	Spannung [V]	Richtwerte zur Schweißzeit [min]		
					Verlegetemperatur [°C]		
					< 0	15 - 25	> 35
SDR 11 T-Stück	20	1,15	20	24	< 1	< 1	< 1
	25	1,15	20	32	< 1	< 1	< 1
	32	1,20	20	40	< 1	< 1	< 1
	40	1,30	20	40	1	< 1	< 1
	50	1,30	20	40	1	1	< 1
	63	1,35	20	40	1 - 2	1	1
	75	1,50	30	40	2 - 3	2	2
	90	2,00	30	40	3	2 - 3	2 - 3
	110	2,10	30	40	3 - 4	3	3
	125	2,10	35	40	3 - 4	3	3
	160	2,10	40	40	6	5 - 6	4 - 5
	180	2,20	40	40	8 - 9	7 - 8	6 - 7
225	2,50	60	40	12	11	9	
SDR 11 Reduktion	25/20	1,15 / 1,15	20	32	< 1	< 1	< 1
	32/20	1,20 / 1,15	20	40	< 1	< 1	< 1
	32/25	1,20 / 1,15	20	40	< 1	< 1	< 1
	40/20	1,30 / 1,15	20	40	< 1	< 1	< 1
	40/25	1,30 / 1,15	20	40	< 1	< 1	< 1
	40/32	1,30 / 1,20	20	40	< 1	< 1	< 1
	50/25	1,30 / 1,15	20	40	1-2	1	1
	50/32	1,30 / 1,20	20	40	1-2	1	< 1
	50/40	1,30 / 1,30	20	40	< 1	< 1	< 1
	63/32	1,35 / 1,20	20	40	1	< 1	< 1
	63/40	1,35 / 1,30	20	40	1	< 1	< 1
	63/50	1,35 / 1,30	20	40	1 - 2	1 - 2	1
	75/50	1,35 / 1,30	30	40	1 - 2	1 - 2	1
	75/63	1,35 / 1,35	30	40	1 - 2	1 - 2	1 - 2
	90/63	2,00 / 1,35	30	40	1 - 2	1 - 2	1 - 2
	110/63	1,80 / 1,35	30	40	1 - 2	1 - 2	1 - 2
	110/90	1,80 / 2,00	30	40	2 - 3	2 - 3	2
	125/90	2,10 / 2,10	35	40	3	2 - 3	2 - 3
	125/110	2,20 / 2,10	35	40	3	2 - 3	2 - 3
	160/90	2,10 / 2,00	40	40	5	4	3 - 4
160/110	2,10 / 1,80	40	40	5 - 6	4 - 5	4	
225/160	2,50 / 2,10	60	40	6 - 7	5 - 6	4 - 5	

Tab. 69 – Schweißparameter für AGRU Heizwendelformteilen

¹⁾ Zeitraum (inkl. Kühlzeit) bis zur vollen Belastbarkeit



6. Druckprüfung

6.1	PE-Trinkwasserleitungen	84
6.2	PE-Gasleitungen: Prüfmedium Luft	86
6.3	Oberirdisch verlegte PE-Rohrleitungen.....	87

6.1 Druckprüfung für geschweißte und erdverlegte PE-Trinkwasserleitungen

Um die Dichtheit und Funktionalität (Einbau von Armaturen, Formstücken etc.) einer erdverlegten Rohrleitung festzustellen, ist eine Druckprüfung durchzuführen. Die Durchführung erfolgt durch sachkundige Personen. Vor der Druckprüfung müssen alle Schweißverbindungen abgekühlt sowie alle Flansch- und Schraubverbindungen dicht angezogen sein. Das zu prüfende Rohrsystem ist gegen Lageänderungen zu sichern. Das Rohrsystem muss frei von Lufteinschlüssen sein.

Während der Dauer der Innendruckprüfung darf die Rohrwand eine Temperatur von 20°C nicht übersteigen. Die Anfangs- und Endtemperatur der Rohrwandung muss während der Hauptprüfung in etwa gleich bleiben. Die Dichtheit der Rohrleitung kann mittels Kontraktions- oder Normalverfahren geprüft werden.

Allgemeine Informationen

- Fremdkörper müssen aus der Rohrleitung entfernt werden.
- Am höchsten Punkt des Prüfabschnittes muss mindestens der Betriebsdruck (MDP) anliegen (Planer können hier Abweichungen vorgeben).
- Der erforderliche Prüfdruck muss an der tiefsten Stelle des Prüfabschnittes erreicht werden.

Berechnung des Prüfdrucks (STP)

$$STP = MDP_c + 1bar$$

$$STP = MDP_a \times 1,5 \text{ oder } MDP_a + 5bar$$

STP = Prüfdruck[bar]

MDP_c = Betriebsdruck mit berechn. Druckstoß[bar]

MDP_a = Betriebsdruck mit angenom. Druckstoß..[bar]

Achtung: Die angenommenen Druckstöße müssen ≥ 2 bar sein und der max. Prüfdruck muss bei SDR 11 < 21 bar und bei SDR 17 < 12 bar sein.

Kontraktionsverfahren

Dieses Prüfverfahren wird in eine Vor- und Hauptprüfung unterteilt. Während der Vorprüfung wird der Prüfdruck innerhalb von 10 Minuten aufgebracht und für weitere 30 Minuten durch Nachpumpen gehalten. Danach folgt eine Ruhephase von 60 Minuten. Hierbei verformt sich das Rohr elastisch. Während dieser Zeit darf sich der Prüfdruck in Abhängigkeit vom Werkstoff um maximal 20 % verringern (Richtwert: $\Delta p \leq 0,2 \times$ Prüfdruck). Ist der Druckabfall größer als der angegebene Richtwert, ist von einer Undichtheit auszugehen. Die Vorprüfung ist nach Inspektion bzw. Behebung möglicher Leckagen frühestens nach 60 Minuten zu wiederholen.

Im direkten Anschluss erfolgt die Hauptprüfung.

Zunächst wird eine rasche Druckabsenkung (< 2 min) um 10 - 15 % des bereits vorliegenden Druckes durchgeführt. Die Wassermenge, die zur Druckabsenkung abgelassen wird, ist ggf. zur späteren Dichtheitsbestimmung zu erfassen. Danach erfolgt eine 30-minütige Kontraktionsphase. Während dieser Phase ist ebenfalls zur späteren Dichtheitsbestimmung der Druckverlauf aufzuzeichnen. Nach abschließender Hauptprüfung erfolgt dann die Dichtheitsbestimmung.

Normalverfahren

Bei PE-Rohrleitungen > 20 m³ ist dieses Verfahren zu bevorzugen. Das Normalverfahren ist ähnlich dem Kontraktionsverfahren, allerdings ist es zeitaufwendiger. Die Prüfung ist in eine Vor- und Hauptprüfung eingeteilt. Die Vorprüfung dauert ca. 12 Stunden und die Hauptprüfung je nach Dimension zwischen 3 Stunden und 12 Stunden. Der entsprechende Druckverlauf muss zur späteren Dichtheitsbestimmung erfasst werden.

Bestimmung der Dichtheit

Die Dichtheit kann entweder mit der Druck- oder Wasserverlustmethode nachgewiesen werden. Bei der Druckverlustmethode bestimmt der vorliegende Druckabfall die Dichtheit und bei der Wasserverlustmethode bestimmt die notwendige Wassermenge, die nachgepumpt werden muss, die Dichtheit. Die Druckverlustmethode lässt sich dabei mit deutlich geringerem Aufwand an Messgeräten durchführen. Die Druckmethode kann zudem bei beiden Prüfverfahren (Kontraktion- und Normalverfahren) angewendet werden, während die Wasserverlustmethode hauptsächlich beim Kontraktionsverfahren Anwendung findet.

Kontraktionsverfahren bei erdverlegten PE-Rohrleitungen

Ermittlung des Prüfdrucks			Bemerkung
Prüfdruck	STP = $MDP_c + 1$ bar		STP _{max} = 21 bar (SDR 11) und 12 bar (SDR 17)
	STP = $MDP_o \times 1,5$ bar bzw. $MDP_o + 5$ bar Anwendung finde der niedrigere von beiden Prüfdrücken!		
Vorprüfung bzw. Sättigungsphase			Bemerkung
Prüfdauer	2 h 40 min		1. Nach Füllung 1 h Entspannungsphase 2. STP innerhalb von 10 min aufbringen 3. STP ggf. durch Nachpumpen 0,5 h halten 4. Ruhephase = 1 h ($\Delta p_{max} < 0,2 \times STP$)
Hauptprüfung			Bemerkung
Druckabsenkung	PE 100, PE 100-RC	2,0 bar (SDR 17)	Druckabsenkung muss innerhalb von 2 min erfolgen, erreicht wird die Druckabsenkung durch Ablassen von Wasservolumen (V_{ab}).
		3,2 bar (SDR 11)	
	PE-Xa	2,2 bar (SDR 11)	
		3,6 bar (SDR 7,4)	
Ausschließen von Lufteinschlüssen	V_{ab} wird gemessen; $V_{zul} = V_k^{1)} \times L$ [ml]		$V_{ab} \leq V_{zul}$ = keine Lufteinschlüsse
Kontraktionszeit (t_k)	Druckverlustmethode	0,5 h	Im Zweifel wird diese auf 1,5 h erweitert.
	Wasserverlustmethode	1,5 h	---
Dichtheitskontrolle	Druckverlustmethode	kein Druckabfall während t_k	Bei 1,5 h ist ein Druckabfall von 0,25 bar erlaubt.
	Wasserverlustmethode	$V_{no} \leq V_{ab}$ am Ende t_k	Der STP ist durch Nachfüllen von Wasservolumen (V_{no}) wieder herzustellen.

Die Druckverlustmethode kann im Vergleich zur Wasserverlustmethode mit deutlich geringeren Anforderungen und Aufwand an Messgeräten durchgeführt werden.

Die Wasserverlustmethode hat im Gegensatz zu der Druckverlustmethode den Vorteil, dass sie unempfindliche gegen Lufteinschlüsse und Temperaturschwankungen ist. Hauptsächlich finde diese Methode in der grabenlosen Verlegung Anwendung.

Normalverfahren bei erdverlegten PE-Rohrleitungen

Ermittlung des Prüfdrucks			Bemerkung
Prüfdruck	STP = $MDP_c + 1$ bar		STP _{max} = 21bar (SDR 11) und 12 bar (SDR 17)
	STP = $MDP_o + 5$ bar oder $MDP_o \times 1,5$ bar der niedrigere Prüfdruck wird angenommen		
Vorprüfung bzw. Sättigungsphase			Bemerkung
Prüfdauer	12 h		---
Hauptprüfung			Bemerkung
Druckabsenkung	PE 100, PE 100-RC und PE-Xa	0,5 bar	bei kurzen Prüfstrecken > 1 bar; bei kleinen Nennweiten > 1 bar
Ausschließen von Lufteinschlüssen	V_{ab} wird gemessen; $V_{zul} = V_k^{1)} \times L$ [ml]		$V_{ab} \leq V_{zul}$ = keine Lufteinschlüsse
Prüfdauer	≤ 180 mm	3 h	---
	200 - 400 mm	6 h	
	> 400 mm	12 h	
Dichtheitskontrolle	Druckverlustmethode	< 0,1 bar/h	---

Tab. 70 – Informationen zur Innendruckprüfung von erdverlegten PE-Rohren mittels Kontraktions- und Normalverfahren (Quelle: DVGW-Arbeitsblatt W 400-2)

¹⁾ V_k = errechnetes Wasservolumen, entsprechende Werte befinden sich im DVGW-Arbeitsblatt W 400-2

6.2 Druckprüfung für geschweißte PE-Gasleitungen: Prüfmedium Luft

In Anlehnung an das DVGW-Arbeitsblatt G 469 (A).

Um die Dichtheit und Funktionalität (Einbau von Armaturen, Formstücken etc.) einer erdverlegten Gasrohrleitung festzustellen, ist eine Druckprüfung durchzuführen. Die Durchführung erfolgt durch sachkundige Personen. Nach Erreichen des Prüfdrucks soll sich die Temperatur des Prüfmediums an die Temperatur des Erdreiches angleichen (Beharrungszustand). Das zu prüfende Rohrsystem ist gegen Lageänderungen zu sichern. Während der Druckprüfung sollen geeignete Sicherheitsmaßnahmen getroffen werden (z. B. Warnschilder, Absperrungen etc.).

Prüfmedium

Das Prüfmedium ist Druckluft. Die Drucklufttemperatur sollte bei $\leq 40\text{ °C}$ liegen, andernfalls muss das Prüfmedium gekühlt werden (z. B. klimatisierter Raum). Für die Erzeugung der Druckluft dürfen nur Kompressoren mit Wasser- und Ölabscheider verwendet werden.

Druckprüfverfahren

- **Sichtprüfung:** Beim Sichtverfahren wird die Dichtheit nur visuell beurteilt. Dabei werden alle Leitungsverbindungen mit einem nach DVGW zugelassenem schaubildenden Mittel geprüft. Bei diesem Prüfverfahren ist es somit zwingend erforderlich, dass die zu prüfende Rohrleitung komplett zugänglich ist.
- **Druckmessverfahren:** Die Bestimmung der Dichtheit erfolgt über die Ermittlung von Druckveränderungen in der Rohrleitung. Dieses Verfahren empfiehlt sich bei erdverlegten Rohrleitungen. Die noch freiliegenden Rohrleitungsteile (durch Kopflöcher, Messbereich u. ä.) müssen dabei zwingend vor Temperatureinflüssen geschützt werden.

Prüfdruck

Verfahren	Prüfdruck [bar]	Bemerkung
Sichtverfahren	Betriebsdruck	Druckzunahme max. 3 bar/min, Empfehlung: eine weitere Prüfung mit ca. 2 bar durchführen.
Druckmessverfahren	Betriebsdruck + 2 bar	Bei freiliegenden Leitungsteilen muss der Temperatureinfluss berücksichtigt werden.

Tab. 71 – Prüfdrücke (Prüfmedium Luft)

Temperaturangleichung (Beharrungszeit)

Gemäß DVGW-Arbeitsblatt G 469 ist die Temperaturangleichung nach 1 – 2 Stunden pro 1 bar Prüfdruck erreicht (z. B. 9 bar Prüfdruck: mind. 9 – 18 Stunden Beharrungszeitraum).

Prüfdauer

Verfahren	Prüfdauer [h]	Bemerkung
Sichtverfahren	Bis alle Verbindungsstellen überprüft wurden.	---
Druckmessverfahren	$0,5 \text{ [m}^3/\text{h}] \times V_{\text{Leitung}} \text{ [m}^3]$	Mindest-Prüfdauer: erdverlegt = 0,5 h freiliegend = 2 h

Tab. 72 – Prüfdauer (Prüfmedium Luft)

Dichtheitskontrolle

Die Dichtheitskontrolle erfolgt erst nach Ablauf des notwendigen Beharrungszeitraumes.

Verfahren	Prüfdauer [h]	Bemerkung
Sichtverfahren	An den Verbindungsstellen erfolgt keine Schaumbildung.	Die Leitungsverbindungen müssen frei von Fetten und Anstrichen sein.
Druckmessverfahren	$\Delta p \leq 50 \text{ mbar}$	Verwendung eines Druckmessgerät mit einer Messunsicherheit $\leq 17 \text{ mbar}$.

Tab. 73 – Dichtheitskontrolle

Achtung: Die oben aufgeführten Werte sind Richtwerte und können, abhängig von den eigentlichen Bedingungen (z. B. Temperatur), abweichen!

Die verwendeten Druckmessgeräte müssen in ihrer Handhabung und ihren Messunsicherheiten für die einzelnen Prüfdruckverfahren geeignet sein.

6.3 Druckprüfung für geschweißte und oberirdisch verlegte PE-Rohrleitungen

In Anlehnung an die DVS-Richtlinie 2210-1 Beiblatt 2.

Die Innendruckprüfung ist am fertig installierten Rohrsystem vorzunehmen. Die Druckprüfung erfolgt von sachkundigem Personal. Die Beanspruchung durch den Prüfdruck soll den experimentellen Nachweis der Betriebssicherheit darstellen, wobei im Vordergrund nicht der rechnerische Betriebsüberdruck, sondern die von der Rohrwanddicke ausgehende Innendruckbelastbarkeit stehen soll.

Luft einschlüsse im Kunststoffrohrleitungssystem müssen vor der Vorprüfung beseitigt werden. Die Vorgehensweise zum Füllen kann in der DVS-Richtlinie 2210-1 Beiblatt 2 nachgelesen werden.

Vorprüfung

Die Vorprüfung dient dazu, das Rohrleitungssystem auf die eigentliche Prüfung (Hauptprüfung) vorzubereiten. Im Verlauf der Vorprüfung wird sich im Rohrleitungssystem ein Spannungs-Dehnungsgleichgewicht in Verbindung mit einer Volumenzunahme einstellen. Dabei kommt es zu einem werkstoffabhängigen Druckabfall, der ein wiederholtes Nachpumpen zur Wiederherstellung des Prüfdrucks erforderlich macht.

Hauptprüfung

Im Rahmen der Hauptprüfung kann bei etwa gleichbleibenden Rohrwandtemperaturen ein wesentlich geringerer Druckabfall erwartet werden, so dass sich ein Nachpumpen zur Wiederherstellung des Prüfdrucks erübrigt. Die Kontrollen können sich im Wesentlichen auf die Dichtheit der Flanschverbindungen und auf eventuelle Lageänderungen der Rohrleitung konzentrieren.

Beim Aufbringen des Prüfdrucks ist darauf zu achten, dass die gewählte Drucksteigerungsrate keine Stöße im zu prüfenden Rohrsystem verursacht (Richtwerte siehe Abb. 42).

	Bemerkungen	Vorprüfung	Hauptprüfung
Prüfdruck (p_p)	Abhängig von der Rohrwandtemperatur (siehe Abb. 41).	$\leq p_{P(zul)}$	$\leq 0,85 \times p_{P(zul)}$
Prüfdauer	Gesamtlänge (Rohrleitung ohne oder mit Verzweigungen)	≤ 100 m	≥ 3 h
		100 - 500 m	≥ 6 h
		> 500 m	Prüfstrecke in kleinere Abschnitte einteilen
Kontrollen während der Prüfung	Die Kontrollergebnisse sowie der Prüfdruck- und Temperaturverlauf sind in einem Prüfbericht zu dokumentieren.	≥ 3 Kontrollen auf die Prüfdauer verteilt mit Wiederherstellung des Prüfdruckes	≥ 2 Kontrollen auf die Prüfdauer verteilt ohne Wiederherstellung des Prüfdruckes
Werkstoffsp - zifische Druckabfall	---	$\leq 1,0$ bar/h	$\leq 0,5$ bar/h

Tab. 74 – Prüfdauer (Prüfmedium Luft)

Informationen zum Prüfdruck von Rohrleitungen aus PE 100 und PE 100-RC

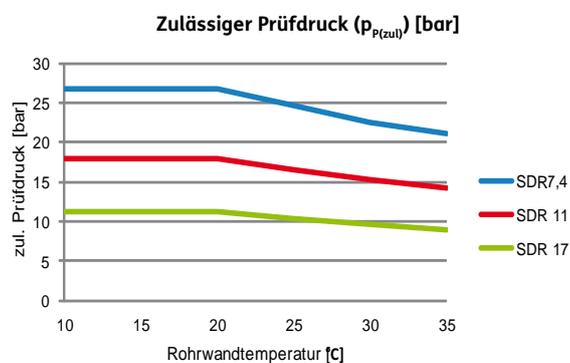


Abb. 41 – Prüfdruck in Abhängigkeit der Rohrwandtemperatur

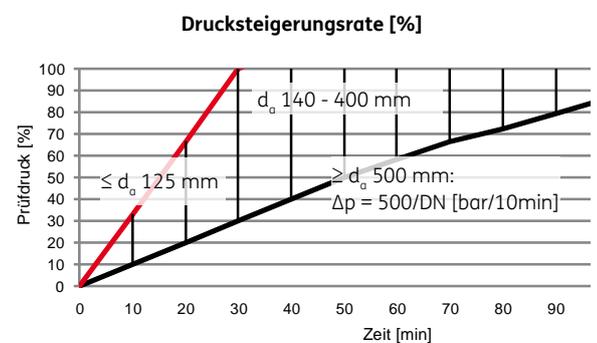


Abb. 42 – Prüfdrucksteigerung für Rohrleitungen aus PE 100



7. Berechnungshilfen

7.1	Umrechnungstabellen.....	90
7.2	Formeln.....	92

7.1 Umrechnungstabellen

Druck				
	Pa = N/m ²	N/mm ²	bar	psi
1 Pa = N/m²	1	10 ⁻⁶	10 ⁻⁵	1,45 ⁻⁴
1 N/mm²	10 ⁶	1	10	145
1 bar	10 ⁵	0,1	1	14,5
1 psi	6,9 ³	6,9 ⁻³	6,9 ⁻²	1

Tab. 75 – Umrechnung Druck

Länge					
	mm	cm	dm	m	km
1 mm	1	10 ⁻¹	10 ⁻²	10 ⁻³	10 ⁻⁶
1 cm	10	1	10 ⁻¹	10 ⁻²	10 ⁻⁵
1 dm	10 ²	10	1	10 ⁻¹	10 ⁻⁴
1 m	10 ³	10 ²	10	1	10 ⁻³
1 km	10 ⁶	10 ⁵	10 ⁴	10 ³	1

Tab. 76 – Umrechnung Länge

Fläche				
	mm ²	cm ²	dm ²	m ²
1 mm²	1	10 ⁻²	10 ⁻⁴	10 ⁻⁶
1 cm²	10 ²	1	10 ⁻²	10 ⁻⁴
1 dm²	10 ⁴	10 ²	1	10 ⁻²
1 m²	10 ⁶	10 ⁴	10 ²	1

Tab. 77 – Umrechnung Fläche

Gewicht				
	kN	N	t	kg
1 kN	1	10 ³	0,102	102
1 N	10 ⁻³	1	10 ⁻⁴	0,102
1 t	9,81	9810	1	10 ³
1 kg	9,81 ⁻³	9,81 ⁻⁶	10 ⁻³	1

Tab. 78 – Umrechnung Gewicht

Volumen				
	mm ³	cm ³	dm ³	m ³
1 mm³	1	10 ⁻³	10 ⁻⁶	10 ⁻⁹
1 cm³	10 ³	1	10 ⁻³	10 ⁻⁶
1 dm³	10 ⁶	10 ³	1	10 ⁻³
1 m³	10 ⁹	10 ⁶	10 ³	1

Tab. 79 – Umrechnung Volumen

Rohrdimensionen

da [mm]	DN	Zoll	da [mm]	DN	Zoll
10	---	1/8	180	150	---
12	---	1/4	200	200	8
15	10	3/8	225	200	---
20	15	1/2	250	250	10
25	20	3/4	280	250	---
32	25	1	315	300	12
40	32	1 ¼	355	350	14
50	40	1 ½	400	400	16
63	50	2	450	500	18
75	65	2 ½	500	500	20
90	80	3	560	600	22
110	100	4	630	600	24
125	100	---	710	700	28
140	125	---	800	800	32
160	150	6	900	900	36

Tab. 80 – Zusammenhang zwischen Außendurchmesser, Nennweite und Zoll

SDR im Vergleich zur Rohrserie (für PE-Rohre)

SDR	51	41	33	26	22	21	17,6	17	13,6	11	9	7,4	6	5
Rohrserie	25	20	16	12,5	10,5	10	8,3	8	6,3	5	4	3,2	2,5	2

Tab. 81 – PE-Rohrbezeichnungen

Umrechnung von Maßeinheiten

Längen	Volumen	Gewicht	Druck	Temperatur
1 Meter [m]	1 Liter [l]	1 Kilogramm [kg]	1 bar [bar]	1 ΔGrad Celsius [°C]
ca. 3,280 feet [ft]	ca. 0,264 Gallons [Gal]	ca. 2,204 Pounds [lbs]	ca. 14.505 Pounds/Sq.Inch [psi]	1,8 ΔFahrenheit [°F]
ca. 39,37 inch [In]	ca. 0,035 cubic feet [ft³]	9,81 Newton [N]	100 Kilopascal [kPa]	1,0 ΔKelvin [K]

Tab. 82 – Umrechnungstabelle für Maßeinheiten

7.2 Formeln

Kreis

Fläche

$$A = \frac{\pi}{4} \times d^2 = \pi \times r^2$$

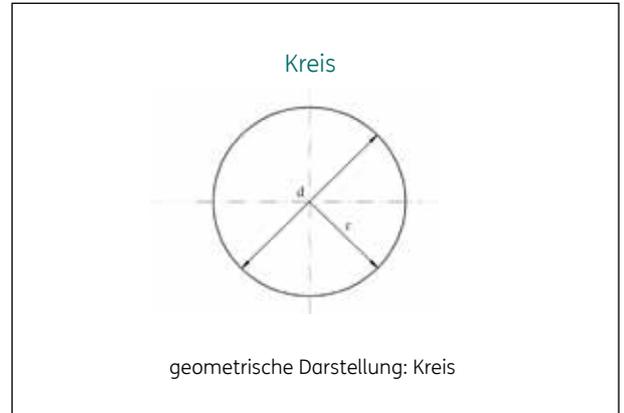
Umfang

$$U = 2 \times \pi \times r = \pi \times d$$

Kreisring

Fläche

$$A = \frac{\pi}{4} \times (D^2 - d^2)$$



A	= Fläche.....	[mm ²]
U	= Umfang.....	[mm]
r	= Radius.....	[mm]
D/d	= Durchmesser	[mm]
b	= Wanddicke	[mm]

Zylinder

Mantelfläche

$$A_m = 2 \times \pi \times r \times h$$

Oberfläche (Mantel + Stirnseite)

$$A_o = 2 \times \pi \times r \times (r + h)$$

Volumen

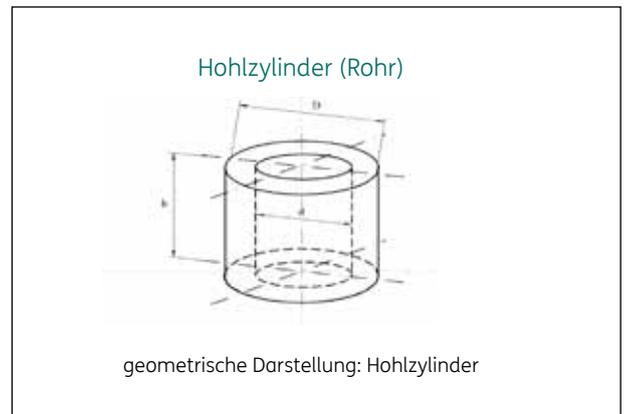
$$V = \frac{\pi}{4} \times d^2 \times h$$

Hohlzylinder (Rohr)

Volumen

$$V = \frac{\pi}{4} \times h \times (D^2 - d^2)$$

A	= Fläche.....	[mm ²]
A_m	= Mantelfläche.....	[mm ²]
A_o	= Oberfläche.....	[mm ²]
V	= Volumen	[mm ³]
U	= Umfang.....	[mm]
r	= Radius.....	[mm]
D/d	= Durchmesser	[mm]
b	= Wanddicke	[mm]
h	= Höhe.....	[mm]





8. Normen und Richtlinien

8.1	Werkstoff.....	96
8.2	Verlegung.....	96
8.3	Rohr.....	97
8.4	Rohrleitung.....	97
8.5	Formteile, Rohrverbindungen und -leitungsteile.....	98
8.6	Schweißen.....	99
8.7	Sicherheit.....	100

8.1 Werkstoff

DIN / DIN EN / DIN EN ISO

DIN EN ISO 178

Kunststoffen - Bestimmung der Biegeeigenschaft

DIN EN ISO 472

Kunststoffe - Fachwörterverzeichnis

DIN EN ISO 527-1

Kunststoffe - Bestimmung der Zugeigenschaften - Teil 1:
Allgemeine Grundsätze

DIN EN ISO 527-2

Kunststoffe - Bestimmung der Zugeigenschaften - Teil 2:
Prüfbedingungen für Form und Extrusionsmassen

DIN EN ISO 1043-1

Kunststoffe - Kennbuchstaben und Kurzzeichen Teil 1:
Basis-Polymere u. ihre besonderen Eigenschaften

DIN EN ISO 12162

Thermoplastische Werkstoffe für Rohre und Formstücke für
Anwendungen unter Druck - Klassifizierung, Werkstoffkenn-
zeichnung und Gesamtbetriebs - (berechnungs-) - koeffizient

8.2 Verlegung

DIN / DIN EN / DIN EN ISO

DIN 16928

Rohrleitungen aus thermoplastischen Kunststoffen; Rohrverbin-
dungen, Rohrleitungsteile, Verlegung, Allgemeine Richtlinien

DIN 4124

Baugruben und Gräben - Böschungen, Verbau,
Arbeitsraumbreiten

DIN EN 805

Wasserversorgung - Anforderungen an Wasserversorgungssys-
teme und deren Bauteile außerhalb von Gebäuden

DIN EN 1610

Verlegung und Prüfung von Abwasserleitungen und -kanälen

DIN EN 1295-1

Statische Berechnung von erdverlegten Rohrleitungen unter
verschiedenen Belastungsbedingungen - Teil 1: Allgemeine
Anforderungen

DVGW

GW 320-1

Erneuerung
von Gas- und Wasserrohrleitungen durch Rohreinzug oder
Rohreinschub mit Ringraum

GW 320-2

Rehabilitation
von Gas- und Wasserrohrleitungen durch PE-Relining ohne Rin-
graum - Anforderungen, Gütesicherung und Prüfung

GW 321

Steuerbare horizontale Spülbohrverfahren
für Gas- und Wasserrohrleitungen - Anforderungen, Gütesiche-
rung und Prüfung; mit Korrekturen vom Januar 2009

GW 322-1

Grabenlose Auswechslung
von Gas- und Wasserrohrleitungen - Teil 1:
Press-/Ziehverfahren - Anforderungen, Gütesicherung und
Prüfung

GW 322-2

Grabenlose Auswechslung
von Gas- und Wasserrohrleitungen - Teil 2:
Hilfsrohrverfahren-Anforderungen, Gütesicherung und Prüfung

GW 323

Grabenlose Erneuerung
von Gas- und Wasserversorgungsleitungen durch Berstlining;
Anforderungen, Gütesicherung und Prüfung; mit Korrekturen
vom Januar 2009

GW 324

Fräs- und Pflugverfahren
für Gas- und Wasserrohrleitungen - Anforderungen, Gütesiche-
rung und Prüfung; mit Korrekturen vom Januar 2009

GW 325

Grabenlose Bauweisen
für Gas- und Wasser Anschlussleitungen; Anforderungen, Güte-
sicherung und Prüfung

G 469

Druckprüfverfahren Gastransport/Gasverteilung

G 472

Gasleitungen bis 10 bar Betriebsdruck aus Polyethylen -
Errichtung

G 479

Planung, Errichtung und Betrieb von Gasanlagen in
Hochwassergefährdungsbereichen

W 397

Ermittlung der erforderlichen Verlegetiefen von Wasseranschlussleitungen

W 400-1

Technische Regeln Wasserverteilungsanlagen (TRWV) - Teil 1: Planung

W 400-2

Technische Regeln Wasserverteilungsanlagen (TRWV) - Teil 2: Bau und Prüfung

8.3 Rohr

DIN / DIN EN / DIN EN ISO

DIN 8074

Rohre aus Polyethylen (PE) - PE 80, PE 100-Maße

DIN 8075

Rohre aus Polyethylen (PE) - PE 80, PE 100 - Allgemeine Güteanforderungen, Prüfungen

DIN EN 1555-2

Kunststoff-Rohrleitungssysteme für die Gasversorgung - Polyethylen (PE) - Teil 2: Rohre

DIN EN 12201-2

Kunststoff-Rohrleitungssysteme für die Wasserversorgung und für Entwässerungs- und Abwasserdruckleitung - Polyethylen - Teil 2: Rohre

DIN EN 12666-1

Kunststoff-Rohrleitungssysteme für erdverlegte Abwasserkanäle und -leitungen - Polyethylen (PE) - Teil 1: Anforderungen an Rohre, Formstücke und das Rohrleitungssystem

ISO 4065

Rohre aus Thermoplasten - Universelle Wanddickentabelle

ISO 4427-2

Kunststoff-Rohrleitungssysteme - Polyethylen-(PE)-Rohre und -Formstücke für die Wasserversorgung - Teil 2: Rohre

DIN EN ISO 9080

Kunststoff-Rohrleitungs- und Schutzrohrsysteme - Bestimmung des Zeitstand-Innendruckverhaltens von thermoplastischen Rohrwerkstoffen durch Extrapolation

ISO 11922-1

Thermoplastische Rohre für den Transport von Fluiden - Maße und Toleranzen - Teil 1: Metrische Reihen

ISO 12176-1

Rohre und Formstücke aus Kunststoffen - Ausrüstungsgegenstände für Polyethylen - Schweißverbindungen - Teil 1: Stumpfschweißen

DVGW

GW 335-A2

Kunststoff-Rohrleitungssysteme in der Gas- und Wasserverteilung; Anforderungen und Prüfungen - Teil A2: Rohre aus PE 80 und PE 100

GW 335-A3

Kunststoff-Rohrleitungssysteme in der Gas- und Wasserverteilung; Anforderungen und Prüfungen - Teil A3: Rohre aus PE-Xa

DVS

2203-1

Prüfen von Schweißverbindungen an Tafeln und Rohren aus thermoplastischen Kunststoffen - Prüfverfahren - Anforderungen

2203-2

Prüfen von Schweißverbindungen an Tafeln und Rohren aus thermoplastischen Kunststoffen - Zugversuch

2203-3

Prüfen von Schweißverbindungen an Tafeln und Rohren aus thermoplastischen Kunststoffen - Schlagzugversuch

2207-1

Schweißen von thermoplastischen Kunststoffen - Heizelementschweißen von Rohren, Rohrleitungsteilen und Tafeln aus PE

8.4 Rohrleitung

DIN / DIN EN / DIN EN ISO

DIN 8074

Rohre aus Polyethylen (PE) - PE 80, PE 100 - Maße

DIN 8075

Rohre aus Polyethylen (PE) - PE 80, PE 100 - Allgemeine Güteanforderungen, Prüfungen

DIN EN 12666-1

Kunststoff-Rohrleitungssysteme für erdverlegte Abwasserkanäle und -leitungen - Polyethylen (PE) - Teil 1: Anforderungen an Rohre, Formstücke und das Rohrleitungssystem

DIN 16928

Rohrleitungen aus thermoplastischen Kunststoffen; Rohrverbindungen, Rohrleitungsteile, Verlegung, Allgemeine Richtlinie

DIN EN 1555-1

Kunststoff-Rohrleitungssysteme für die Gasversorgung - Polyethylen (PE) - Teil 1: Allgemeines

DIN EN 1555-2

Kunststoff-Rohrleitungssysteme für die Gasversorgung - Polyethylen (PE) - Teil 2: Rohre

DIN EN 1555-5

Kunststoff-Rohrleitungssysteme für die Gasversorgung - Polyethylen (PE) - Teil 5: Gebrauchstauglichkeit des Systems

ISO 4427-1

Kunststoff-Rohrleitungssysteme - Polyethylen-(PE)-Rohre und -Formstücke für die Wasserversorgung - Teil 1: Allgemeines

ISO 4427-2

Kunststoff-Rohrleitungssysteme - Polyethylen-(PE)-Rohre und -Formstücke für die Wasserversorgung - Teil 2: Rohre

ISO 4427-3

Kunststoff-Rohrleitungssysteme - Polyethylen-(PE)-Rohre und -Formstücke für die Wasserversorgung - Teil 3: Formstücke

DVGW

GW 335-A2

Kunststoff-Rohrleitungssysteme in der Gas- und Wasserverteilung; Anforderungen und Prüfungen - Teil A2: Rohre aus PE 80 und PE 100

GW 335-A3

Kunststoff-Rohrleitungssysteme in der Gas- und Wasserverteilung; Anforderungen und Prüfungen - Teil A3: Rohre aus PE-Xa

W 400-1

Technische Regeln Wasserverteilungsanlagen (TRWV) - Teil 1: Planung

W 400-2

Technische Regeln Wasserverteilungsanlagen (TRWV) - Teil 2: Bau und Prüfung

G 469

Druckprüfverfahren Gastransport/Gasverteilung

G 472

Gasleitungen bis 10 bar Betriebsdruck aus Polyethylen (PE 80, PE 100 und PE-Xa); Errichtung

DVS

2207-1

Schweißen von thermoplastischen Kunststoffen - Heizelementschweißen von Rohren, Rohrleitungsteilen und Tafeln aus PE-HD

8.5 Formteile, Rohrverbindungen und -leitungsteile

DIN / DIN EN / DIN EN ISO

DIN EN 12666-1

Kunststoff-Rohrleitungssysteme für erdverlegte Abwasserkanäle und -leitungen - Polyethylen (PE) - Teil 1: Anforderungen an Rohre, Formstücke und das Rohrleitungssystem

DIN EN 1515-1

Flansche und ihre Verbindungen - Schrauben und Muttern - Teil 1: Auswahl von Schrauben und Muttern

DIN EN 1555-3

Kunststoff-Rohrleitungssysteme für die Gasversorgung - Polyethylen (PE) - Teil 3: Formstücke

DIN EN 12201-3

Kunststoff-Rohrleitungssysteme für die Wasserversorgung und Entwässerungs- und Abwasserdruckleitung-Polyethylen - Teil 3: Formstücke

ISO 12176-1

Rohre und Formstücke aus Kunststoffen - Ausrüstungsgegenstände für Polyethylen - Schweißverbindungen - Teil 1: Stumpfschweißen

DVGW

GW 335-B2

Kunststoff-Rohrleitungssysteme in der Gas- und Wasserverteilung; Anforderungen und Prüfungen - Teil B2: Formstücke aus PE 80 und PE 100

DVS

2207-1

Schweißen von thermoplastischen Kunststoffen - Heizelementschweißen von Rohren, Rohrleitungsteilen und Tafeln aus PE-HD

8.6 Schweißen

DIN / DIN EN / DIN EN ISO

DIN 1910-3

Schweißen; Schweißen von Kunststoffen, Verfahren

DIN 16960-1

Schweißen von thermoplastischen Kunststoffen; Grundsätze

DVGW

GW 330

Schweißen von Rohren und Rohrleitungsteilen aus Polyethylen (PE 80, PE 100 und PE-Xa) für Gas- und Wasserleitungen; Lehr- und Prüfplan

DVS

2202-1

Fehler an Schweißverbindungen aus thermoplastischen Kunststoffen -Merkmale, Beschreibung, Bewertung

2203-1

Prüfen von Schweißverbindungen an Tafeln und Rohren aus thermoplastischen Kunststoffen - Prüfverfahren - Anforderungen

2203-1 Beiblatt 1

Prüfen von Schweißverbindungen an Tafeln und Rohren aus thermoplastischen Kunststoffen - Anforderungen im Zugversuch - Kurzzeitzug-Schweißfaktor f_z

2203-1 Beiblatt 2

Prüfen von Schweißverbindungen an Tafeln und Rohren aus thermoplastischen Kunststoffen - Anforderungen im Zeitstand-Zugversuch (Zeitstandzug-Schweißfaktor f_z)

2203-1 Beiblatt 3

Prüfen von Schweißverbindungen an Tafeln und Rohren aus thermoplastischen Kunststoffen - Anforderungen im technologischen Biegeversuch - Biegewinkel/ Biegeweg

2203-2

Prüfen von Schweißverbindungen an Tafeln und Rohren aus thermoplastischen Kunststoffen - Zugversuch

2203-3

Prüfen von Schweißverbindungen an Tafeln und Rohren aus thermoplastischen Kunststoffen; Schlagzugversuch

2203-4

Prüfen von Schweißverbindungen an Tafeln und Rohren aus thermoplastischen Kunststoffen - Zeitstand-Zugversuch

2203-4 Beiblatt 1

Prüfen von Schweißverbindungen an Tafeln und Rohren aus thermoplastischen Kunststoffen - Zeitstandzugversuch - Prüfen von Muffenschweißverbindungen an Rohren

2203-4 Beiblatt 2

Prüfen von Schweißverbindungen an Tafeln und Rohren aus thermoplastischen Kunststoffen - Zeitstandzugversuch - Prüfen des Widerstandes gegen langsames Risswachstum im Full Notch Creep-Test (FNCT)

2203-5

Prüfen von Schweißverbindungen an Tafeln und Rohren aus thermoplastischen Kunststoffen - Technologischer Biegeversuch

2203-6

Prüfen von Fügeverbindungen aus polymeren Werkstoffen - Scher- und Schälversuche

2203-6 Beiblatt 1

Prüfen von Fügeverbindungen aus polymeren Werkstoffen - Torsionsscher- und Radialschälversuch für Heizwendel- und Heizelementmuffenschweißverbindungen

2207-1

Schweißen von thermoplastischen Kunststoffen - Heizelementschweißen von Rohren, Rohrleitungsteilen und Tafeln aus PE-HD

2207-1 Beiblatt 1

Schweißen von thermoplastischen Kunststoffen - Heizwendelschweißen von Rohren aus PE-X mit Rohrleitungsteilen aus PE-HD

2207-4 Beiblatt 1

Schweißen von thermoplastischen Kunststoffen - Extrusionsschweißen von Rohren, Rohrleitungsteilen und Tafeln - Schweißparameter

2207-4 Beiblatt 2

Schweißen von thermoplastischen Kunststoffen - Extrusionsschweißen von Rohren, Rohrleitungsteilen und Tafeln - Anforderungen an die Schweißmaschinen und Schweißgeräte

2207-5

Schweißen von thermoplastischen Kunststoffen - Schweißen von PE-Mantelrohren - Rohre und Rohrleitungsteile

2207-5 Beiblatt 1

Schweißen von thermoplastischen Kunststoffen - Schweißen von PE-Mantelrohren - Formstücke und Absperrarmaturen

2207-6

Schweißen von thermoplastischen Kunststoffen - Berührungsloses Heizelementstumpfschweißen von Rohren, Rohrleitungsteilen und Tafeln - Verfahren, Maschinen, Parameter

2208-1

Schweißen von thermoplastischen Kunststoffen - Maschinen und Geräte für das Heizelementstumpfschweißen von Rohren, Rohrleitungsteilen und Tafeln

2211

Schweißen von thermoplastischen Kunststoffen - Schweißzusätze - Kennzeichnung, Anforderungen, Prüfungen

2212-3

Prüfung von Kunststoffschweißern - Prüfgruppe III - Bahnen im Erd- und Wasserbau

2212-4

Prüfung von Kunststoffschweißern, Schweißen von PE-Mantelrohren - Rohre und Rohrleitungsteile

2215-1

Heizelementschweißen von Formteilen aus thermoplastischen Kunststoffen in der Serienfertigung

2215-2

Heizelementschweißen von Formteilen aus Polyolefinen (PE, PP) in der Serienfertigung

2227-1

Schweißen von Halbzeugen aus Polyethylen hoher Dichte (PE-HD) für die Abdichtung von Betonbauwerken im Bereich des Grundwasserschutzes und zum Korrosionsschutz

2230-1

Schweißen von Kunststoffserienteilen - Qualitätssicherung, Prüfung

8.7 Sicherheit

DIN / DIN EN / DIN EN ISO

DIN 4102-1

Brandverhalten von Baustoffen und Bauteilen - Teil 1: Baustoffe; Begriffe, Anforderungen und Prüfungen

D I N O S
D V S E N
D V G W T I N
D I N E N



9. Anhang

Begriffsbeschreibung.....	104
Index.....	109

9.1 Begriffsbeschreibung

Abrasion

Der Begriff Abrasion bedeutet Abrieb und ist gerade im Rohrleitungsbau von Bedeutung. Polyolefine (z. B. PE, PP) zeichnen sich durch einen hohen Widerstand gegen Abrasion aus.

Biegeschenkel

Die Biegeschenkel sind dafür verantwortlich, dass Längenänderungen ausreichend kompensiert werden. Sie sind in einem oberirdischen Rohrleitungssystem so eingebaut, dass sie durch ausreichende Verformung die Längenänderung ausgleichen. Hierbei gilt, je größer die Längenänderung desto länger der benötigte Biegeschenkel.

DIBt

Deutsches Institut für Bautechnik

Diffusion

Die Diffusion beschreibt die Durchlässigkeit von gasförmigen Stoffen durch feste Stoffe. Gerade im Bereich der Fußbodenheizungen sind diffusionsarme Rohre von Bedeutung.

DIN

Deutsches Institut für Normung e. V.

DN

Nennweite: Eine Ganzzahlige numerische Bezeichnung die annähernd dem tatsächlichen Durchmesser in mm entspricht - Innendurchmesser (DN/ID) oder Außendurchmesser (DN/OD).

DP (Design Pressure)

Systembetriebsdruck: Festgelegter Betriebsdruck des Systems unter Berücksichtigung aller Betriebsbedingungen, jedoch ohne Berücksichtigung von Druckstößen“.

Druckstoß

Durch kurzzeitiges Verändern des Durchflusses (z. B. Betätigung einer Armatur) kann es in der Rohrleitung zu Druckschwankungen kommen, die dann sogenannte Druckstöße verursachen. Für PE-Rohrleitungen sind Druckstöße durch ihre Materialeigenschaften eher als unkritisch anzusehen.

DVGW

Deutsche Vereinigung des Gas- und Wasserfaches e. V.

DVS

Deutscher Verband für Schweißen und verwandte Verfahren e. V.

Elastizitätsmodul

Mit dem Elastizitätsmodul wird das Verhältnis zwischen Spannung und Dehnung beschrieben (Hookesches Gesetz) und dieses Verhältnis bleibt bei rein elastischen Werkstoffen konstant. Im Spannungs-Dehnungs-Diagramm ergibt sich für elastische Werkstoffe eine Kurve mit konstanter Steigung bis zur Streckgrenze. Bei Thermoplasten ist der temperatur- und zeitabhängige E-Modul = Kriechmodul für Berechnungen heranzuziehen.

Fitting

Der Begriff Fitting ist eine englische Bezeichnung für Formteile.

Gesamtbetriebskoeffizient

Der Gesamtbetriebskoeffizient hat einen Wert > 1 und wird auch als Sicherheitsfaktor bezeichnet. Mit dem Koeffizienten wird für den Trinkwasser- und Gasbereich der zulässige Betriebsdruck berechnet.

ID (Internal Diameter)

Mittlerer Innendurchmesser

Korrosion

Die Korrosion ist eine Zerstörung durch chemische oder elektrochemische Einwirkung.

Kriechmodul

Der Kriechmodul findet bei viskoelastischen Werkstoffen (z. B. PE oder PE-X) seine Anwendung und beschreibt das Verhältnis zwischen Spannung und Dehnung. Die viskoelastischen Werkstoffe zeigen ein Kriechverhalten, d. h., bei konstanter Spannung verändert sich zeitabhängig die Dehnung. Grundsätzlich sinkt der Kriechmodul über die Länge des Zeitraums.

LCL (Lower Confidence Limit)

Die LCL-Kurven befinden sich im Zeitstanddiagramm und werden mit Hilfe gemittelter Messergebnisse erstellt. Man spricht hierbei auch von der unteren Vertrauensgrenze. Dabei gilt, dass 97,5 % der Messergebnisse der unteren Vertrauensgrenze entsprechen müssen. Die Abkürzung LCL wurde durch die LPL-Bezeichnung (Lower Pressure Limit) ersetzt.

Unterteilung der Mindestfestigkeiten		
Untere Vertrauensgrenze [MPa]	MRS [MPa]	Klassifizierungsgrad [-]
6,30 - 7,99	6,3	63
8,00 - 9,99	8,0	80
10,00 - 11,19	10,0	100

Tab. 83 – Unterteilung der Mindestfestigkeit MRS

LPL (Lower Pressure Limit)

Die LPL-Kurven befinden sich im Zeitstandsdiagramm und werden mit Hilfe gemittelter Messergebnisse erstellt. Man spricht hierbei auch von der unteren Vertrauensgrenze. Dabei gilt, dass 97,5 % der Messergebnisse der unteren Vertrauensgrenze entsprechen müssen.

MDP (Maximum Design Pressure)

Höchster Systembetriebsdruck: „Höchster vom Betreiber festgelegter Betriebsdruck des Systems oder einer Druckzone unter Berücksichtigung zukünftiger Entwicklungen und Druckstößen. Der MDP wird als MDPa bezeichnet, wenn für den Druckstoß ein bestimmter Wert angenommen wird. Der MDP wird als MDPC bezeichnet, wenn der Druckstoß mit berechnet wurde.“ (Quelle: DVGW-Arbeitsblatt W 400-2)

MFR Schmelzeflussrate

Die Abkürzung MFR steht für „Melt Flow Rate“. Mit dem MFR-Wert lässt sich auf den Polymerisationsgrad und damit auf die mittlere Anzahl von Monomereinheiten schließen. Diese werden in Gruppen eingeteilt, die jeweils einen bestimmten Bereich abdecken.

MFR (190/5)	MFI-Gruppe
0,2 – 0,4 g/10min	T 003
0,4 – 0,7 g/10min	T 005
0,7 – 1,3 g/10min	T 010
1,3 – 3,0 g/10min	T 020

Tab. 84 – MFR-Bereiche mit entsprechender MFI-Gruppe

MOP (Maximum Operating Pressure)

Der MOP sagt aus, welchen höchsten wirksamen Druck eines Mediums in bar ein Rohrleitungssystem im Dauerbetrieb standhält. Er berücksichtigt die physikalischen und mechanischen Eigenschaften sowie den Sicherheitsfaktor.

MRS

Die Bezeichnung MRS steht für die erforderliche Mindestfestigkeit (Minimum Required Strength) eines Materials und beschreibt die Druckbeständigkeit des Rohrmaterials. Die Zahlenwerte beruhen auf der Renard-Zahlenreihe. Für den PE-Bereich ist die Renard-Zahlenfolge 6,3 (PE 63), 8,0 (PE 80/PE-X) und 10,0 (PE 100/PE 100-RC) von Bedeutung.

MVR

Die Abkürzung MVR steht für „Melt Volume Rate“. Der MVR wird auch oftmals MVI (Melt Volume Index) genannt. Er charakterisiert das Fließverhalten eines Thermoplasten und wird in $\text{cm}^3/10 \text{ min}$ angegeben.

Nennndruck

Der Nennndruck ist der für eine Rohrleitung maximal zulässige Betriebsdruck.

Oberflächenwiderstand

Der Oberflächenwiderstand beschreibt den elektrischen Widerstand an der Oberfläche. Dieser Wert sagt etwas über die Leitfähigkeit eines Werkstoffes aus. Die folgende Tabelle beschreibt die Zuordnung von isolierend bis leitfähig.

Oberflächenwiderstand	
elektrischer Widerstand [Ω]	Leitverhalten
$\leq 10^4 \Omega$	leitfähig
$10^4 \Omega - 10^9 \Omega$	ableitfähig
$10^9 \Omega - 10^{12} \Omega$	antistatisch
$> 10^{12} \Omega$	isolierend

Tab. 85 – Oberfläche widerstand

OD (Outside Diameter)

„Mittlerer Außendurchmesser des Rohrschaftes in jedem beliebigen Querschnitt.“ (Quelle: DVGW-Arbeitsblatt W 400-2)

OP (Operating Pressure)

Betriebsdruck: „Innendruck, der zu einem bestimmten Zeitpunkt an einer bestimmten Stelle im Wasserversorgungssystem auftritt.“ (Quelle: DVGW W 400-2)

PEA (französische Abkürzung)

Zulässiger Bauteilbetriebsdruck auf der Baustelle: „Höchster hydrostatischer Druck, dem ein neu installiertes Rohrleitungsteil für relative kurze Zeit standhält, um die Unversehrtheit und Dichtheit der Rohrleitung sicherzustellen.“ (Quelle: DVGW-Arbeitsblatt W 400-2)

PFA (französische Abkürzung)

Zulässiger Bauteilbetriebsdruck: „Höchster hydrostatischer Druck, dem ein Rohrleitungsteil im Dauerbetrieb standhält.“ (Quelle: DVGW-Arbeitsblatt W 400-2)

PMA (französische Abkürzung)

Höchster zulässiger Bauteilbetriebsdruck: „Höchster zeitweise auftretender Druck inklusive Druckstoß, dem eine Rohrleitungsteil standhält.“ (Quelle: DVGW W 400-2)

PN-Druckklassen

PN (Pressure Nominal) bezeichnet den Betriebsdruck. Im Versorgungsbereich gibt es für jeden Anwendungsfall einen bestimmten zulässigen Betriebsdruck.

Polyolefine

Polyolefine sind Polymere, die aus Kohlenwasserstoffen der Formel C_nH_{2n} mit einer Doppelbindung (Ethylen, Propylen, Buten-1, Isobuten) aufgebaut sind. Polyolefine sind teilkristalline Thermoplaste, die sich leicht verarbeiten lassen. Sie zeichnen sich durch gute chemische Widerstandsfähigkeit und elektrische Isoliereigenschaften aus. Polyolefine sind eine wichtige Kunststoffgruppe.

Querkontraktion

Die Querkontraktion ist ein Phänomen der Deformation eines festen Körpers. Sie beschreibt das Verhalten eines Körpers unter dem Einfluss einer Zugkraft bzw. Druckkraft. In Richtung der Kraft reagiert der Körper mit einer Längenänderung ΔL , senkrecht dazu mit einer Verringerung oder Vergrößerung seiner Querschnittsfläche ΔA .

Relaxationsmodul

Wie der Kriechmodul beschreibt auch der Relaxationsmodul das Verhältnis zwischen Spannung und Dehnung bei viskoelastischen Werkstoffen. Bei der Relaxation sinkt bei konstanter Dehnung die Spannung.

Ringsteifigkeit

Die Ringsteifigkeit beschreibt die Scheiteltragfähigkeit und hat die Abkürzung SN. Diese Abkürzung steht für „Stiffness Number“ und wird in Klassen eingeteilt. Die Ringsteifigkeit wird in kN/m^2 angegeben und mittels Laboruntersuchung ermittelt. Das Rohr wird 21 Tage nach der Produktion ca. 3 % deformiert. Die dafür notwendige Flächenlast wird auf die nächste kleinere ganze Zahl abgerundet. Das bedeutet, dass ein Rohr mit der Ringsteifigkeitsklasse SN 2 eine Flächenlast von mindestens 2 kN/m^2 bei einer Verformung < 3 % stand hält.

Anfangsringsteifigkeit (s_{calc}) [kN/m^2]		
SDR	SurePEX	Sureline
33	---	2,5
26	---	5,0
21	---	10,5
17	---	20
11	66	83
7,4	190	318

Tab. 86 – Anfängliche Ringsteifigkeit von PE-Rohren (in Anlehnung an DIN EN 12201-2)

Rohrserie

Die Bezeichnung Rohrserie ist eine veraltete Bezeichnung und definiert einen Druckbereich. Der Druckbereich kann heutzutage mit der Abkürzung SDR definiert werden. Übliche Rohrserien im Versorgungsbereich sind S = 3,2 (SDR 7,4), 5 (SDR 11), 8 (SDR 17)

SDR (Standard Dimension Ratio)

Die Abkürzung SDR steht für „Standard Dimension Ratio“ und beschreibt das Durchmesser-Wanddicken-Verhältnis. Mit Hilfe dieses Verhältnisses kann das Rohr auf seine Druckbelastbarkeit bestimmt werden.

SP (Service Pressure)

Versorgungsdruck: „Innendruck bei Nulldurchfluss in der Anschlussleitung an der Übergabestelle zum Verbraucher.“ (Quelle: DVGW-Arbeitsblatt W 400-2)

STP (System Test Pressure)

Systemprüfdruck: „Hydrostatischer Druck, der für die Prüfung der Unversehrtheit und Dichtheit einer neu verlegten Rohrleitung angewandt wird.“ (Quelle: DVGW-Arbeitsblatt W 400-2)

Vergleichsspannung

Die Vergleichsspannung wird mit der Kesselformel bestimmt und beschreibt die auftretende Spannung im Rohr durch Druckbelastung.

Zulässige Betriebsspannung

Die zulässige Betriebsspannung hängt immer vom Material und der Anwendung ab. Errechnet wird sie mit Hilfe des MRS bzw. der Vergleichsspannung und dem Gesamtbetriebskoeffizienten.



Index

A

Abdeckung 49
Abrasion 104
Abrasionsverhalten
Druckrohrleitung 11
Freispiegelleitung 10
Anfangsringsteifigkeit 106
Armaturenauswahlkriterien 29
Ausdehnungskoeffizient 36

B

Befestigung 65
Berechnung
Betriebsüberdruck 22,23,24
Betriebsunterdruck 25
Beuldruck 25
Biegeradien 60
Biegeschenkel 37,38
Druckverluste 27,31,32,33,34
Einziehlänge 54
Festpunkte 42,43
Grubenlänge 52
Innendurchmesser 26
Längenänderung 36
Permeabilität 35
Ringraumverfülldruck 53
Rohrwanddicke 18
Stützweiten 39,40,41
Widerstandsbeiwerte 28
Zugkräfte 20,59
Berstlining 51,57
Betriebsüberdruck 22,23,24
Betriebsunterdruck 25
Beuldruck 53
Biegeradien 60
Biegeschenkel 37,38,104
Bodenarten 61
Bodengruppen 61
Bodenklassen 61
Bohrkanaldurchmesser 56

C

Chemische Beständigkeit 9

D

Design Pressure 104
DIBt 104
Dichtungen 64
Diffusion 104

DIN 104
DN 104
DP 104
Druck 90
Druckklassen 105
Druckprüfung 84,86,87
Druckstoß 104
Druckverluste 27,31,32,33,34
Druckverlustfaktoren 27
Durchflussnomogramm 30
Durchflussquerschnitt 26
DVGW 104
DVS 104

E

Einziehlänge 54
Elastizitätsmodul 104
Erdverlegung 58

F

Festpunkte 42,43
Fitting 104
Flanschverbindungen 64
Flexibilität 61
Formeln
Hohlzylinder (Rohr) 93
Kreis 92
Kreisring 92
Zylinder 93
Formteil
Druckverluste 27
Durchflussnomogramm 30
Heizelementstumpfschweißen 68
Heizwendelschweißen 72
Lagerung 46
Schweißbarkeit 73
Schweißcode 72
Schweißparameter 78
Schweißverbindungen 62
Transport 46
Verbindungstechnik 62
Widerstandsbeiwerte 28

Fräsen 51

Füllmaterial 49

G

Gesamtbetriebskoeffizient 104
Grabenbreite 48
Grabensohle 49
Grabentiefe 48

Grubenlänge 52

H

Heizelementstumpfschweißen 68
Heizwendel 72
Heizwendelformtei
Schweißparameter 79
Heizwendelformteil
Prüfung 77
Schweißparameter 78,80,81
Heizwendelformteile
Schweißcode 72
Traceabilitycode 72
Heizwendelschweißen 72,74
Horizontal Spülbohren 51

I

ID (Internal Diameter) 104
Innendurchmesser 26

K

Kämpfer 49
Kontraktionsverfahren 84,85
Korngröße 49
Korrosion 104
Kriechmodul 104
Kriechmodulkurven 14

L

Lagerung 46
Längenänderung 36
Leitungszone 49
Lower Confidence Limit 104
Lower Pressure Limit 105
LPL 105
LPL (Lower Pressure Limit) 105

M

Materialeigenschaften 15
Maximum Design Pressure 105
MDP 105
MFI 105
MFR 105
Mindestfestigkeit 104
MOP 105
MRS 105
MVR 105

N

Nenndruck 105

Normalverfahren 84,85

Normen

- Formteile 98
- Rohr 97
- Rohrleitung 97
- Schweißen 99
- Sicherheit 100
- Verbindungen 98
- Verlegung 96
- Werkstoff 96

O

Oberflächenwiderstand 105

OD 105

OP 105

Operating Pressure 105

Outside Diameter 105

P

PEA 105

PE-Historie 8

Permeabilität 35

PFA 105

Pflügen 51

Physiologische Unbedenklichkeit 9

PMA 105

PN 105

Polyethylen

- Abrasionsverhalten 10
- Anwendungstemperatur 15
- Ausdehnungskoeffizient 36
- Biegeradien 60
- Brandklasse 15
- Bruchdehnung 15
- Chemische Beständigkeit 9
- Dichte 15
- Durchgangswiderstand 15
- Durchschlagfestigkeit 15
- Eigenschaften 15
- Elektrische Eigenschaften 15
- E-Modul 15
- Entwicklung 8
- Erweichungstemperatur 15
- Flexibilität 61
- FNCT 15
- Geschichtliche Entwicklung 8
- Historie 8
- Kerbschlagzähigkeit 15

- Kriechmodulkurven 14
- Kugeldruckhärte 15
- Längenausdehnungskoeffizient 15
- Materialdaten 15
- Materialien 9
- Mechanische Eigenschaften 15
- MFR 15
- MRS 15
- Oberflächenwiderstand 15
- PE 100 9
- PE 100-RC 9
- PE-Xa 9
- Physiologische Unbedenklichkeit 9
- Rauhigkeitsbeiwert 15
- Spannungsrisssbeständigkeit 15
- Streckspannung 15
- Thermische Eigenschaften 15
- Verbindungstechnik 62
- Verhalten bei Strahlenbelastung 9
- Wärmeleitfähigkeit 15
- Zeitstandkurven 12,13
- Zugkräfte 20,59

Polyolefine 106

Q

Querkontraktion 106

R

Relaxtionsmodul 106

Relining 51,53

Richtlinien

- Formteile 98
- Rohr 97
- Rohrleitung 97
- Schweißen 99
- Sicherheit 100
- Verbindungen 98
- Verlegung 96
- Werkstoff 96

Ringraum 53

Ringraumverfülldruck 53

Ringsteifigkeit 106

Rohr

- Befestigung 65
- Betriebsüberdruck 22,23,24
- Betriebsunterdruck 25
- Beuldruck 25
- Biegeradien 60
- Druckverluste 27,31,32,33,34
- Durchflussnomogramm 30
- Durchflussquerschnitt 26

- Erdverlegung 58
- Flexibilität 61
- Gewicht 21
- Heizelementstumpfschweißen 68
- Heizwendelschweißen 72
- Innendurchmesser 26
- Lagerung 46
- Längenänderung 36
- Permeabilität 35
- Querschnitt 21
- Schweißverbindungen 62
- Stützweiten 39
- Transport 46
- Verbindungstechnik 62
- Wanddicke 19
- Zugkräfte 20,59

Rohrscheitel 49

Rohrserie 91,106,107

Rohrsohle 49

S

Schellen 65

Schmelzeflussrate 105

Schraubenanzugsmomente 64

Schweißbarkeit 73

Schweißcode 72

Schweißparameter 78

Schweißplatz 70,74

Schweißverbindungen 62

Schweißverfahren 62

- Abkürzungen 62
- Anwendungsbereich 62
- Heizelementstumpfschweißen 68
- Heizelementstumpfschweißung 70
- Prüfung 77

SDR 106

SDR-Klassen 91

Seitenverfüllung 49

Service Pressure 106

SP 106

Standard Dimension Ratio 106

Startgrube 52

STP 106

Strahlenbelastung 9

Stützweiten 39,40,41

System Test Pressure 106

T

Traceabilitycode 72

Transport 46

U

Überdeckungshöhe 48

Umrechnungstabellen

- Druck 90
- Flächen 90
- Längen 90
- Maßeinheiten 91
- Massen 90
- Rohrdimensionen 91
- SDR-Klassen 91
- Volumen 90

V

Verarbeitungshinweise

- Heizelementstumpfschweißung 70
- Heizwendelschweißen 74,76

Verbindung 62

Verbindungstechnik 62

Verfahren

- Berstlining 51,57
- Fräsen 51,55
- Heizelementstumpfschweißen 68,70
- Heizwendelschweißen 72,74
- Horizontal Spülbohren 51
- Pflügen 51,54
- Relining 51,53

Vergleichsspannung 106

Verhalten bei Strahlenbelastung 9

Verlegeabstände 50

Verlegekategorie 51

Verlegeverfahren 51

Verlegung

- Abstände 50
- Befestigung 65
- Berstlining 51,57
- Biegeradien 60
- Bodenarten 61
- Dichtungen 64
- Flanschverbindungen 64

Fräsen 51,55

Füllmaterial 49

Graben 48

Grubenlänge 52

Heizelementstumpfschweißen 68,70

Heizwendelschweißen 72,74

Horizontal Spülbohren 51

Korngröße 49

Leitungszone 49

Obere Bettungsschicht 49

Pflügen 51,54

Relining 51,53

Ringraum 53

Rohrflexibilität 61

Sandbett 48

Sandbettfrei 51

Schraubenanzugsmomente 64

Schweißverbindungen 62

Untere Bettungsschicht 49

Verbindungstechnik 62

Zugkräfte 59

W

Wanddicke 19

Widerstandsbeiwerte 28,29

Z

Zeitstandkurven 12,13

Zielgrube 52

Zugkräfte 20,59

Zulässige Betriebsspannung 106





XORELLA-FRANK. DER SYSTEMANBIETER.

XORELLA-FRANK AG
Hardstrasse 41
5430 Wettingen / Schweiz
T +41 56 438 08 40
F +41 56 438 08 49
info@xorella-frank.ch
www.xorella-frank.ch2