

# **Vom Rohr zum Komplettsystem**

## **Gas- und Trinkwassernetze aus PE und PE-X bieten den Versorgern ein Höchstmaß an Qualität, Sicherheit und Wirtschaftlichkeit**

Von Thomas Frank und Albert Lueghamer

### **1. Einleitung**

Der Rohrwerkstoff Polyethylen hat sich in den vergangenen 50 Jahren zu einem außerordentlich leistungsfähigen Material entwickelt. In dieser Zeit wurden nach und nach immer mehr Anwendungsbereiche erschlossen. Beschränkten sich die Anwendungen im Wasserbereich zunächst auf die Hausanschlüsse, so werden heute auch große Hauptversorgungsleitungen aus PE hergestellt. In der Gasversorgung wird PE seit Ende der 60er Jahre eingesetzt. Dort liegt der Marktanteil bei den innerstädtischen Leitungen heute bei über 95 %.

Waren es zu Beginn nur bedingt einsetzbare Produkte, die infolge der verfügbaren Werkstofftypen, Produktverfügbarkeit und Verletechnik nur für geringe Betriebsdrücke und kleine Rohrabmessungen verwendet wurden, so hat in den vergangenen Jahrzehnten eine rasante Entwicklung stattgefunden. Grund für diesen Trend waren die sehr bald erkannten Vorteile von PE bei der Verlegung, beim Betrieb und bei der zu erwartenden Lebensdauer.

Sowohl die Rohstoffindustrie als auch die Hersteller von Halbzeugen für den Rohrleitungsbau haben durch innovative Entwicklungen dazu beigetragen, dass PE-Rohrleitungssysteme heutzutage als die sichersten Systeme für den Transport von Gas und Wasser auch bei Drücken von bis zu 20 bar gelten.

In den letzten Jahren sind durch die Entwicklung einer neuen Generation von Rohrsystemen verstärkt grabungsfreie Verlegeverfahren zum Einsatz gekommen. Die wirtschaftlichen Vorteile, die damit verbunden sind, öffnen den Rohrsystemen aus Polyethylen immer wieder neue Märkte.

### **2. Vom Rohr zum Rohrsystem**

Einhergehend mit der Entwicklung des Werkstoffes PE zu immer höheren Festigkeiten und der PE-Rohre zu größeren Nennweiten entstand durch die Erfordernisse des Marktes ein Komplettsystem mit einer ausgereiften Verbindungstechnik, umfangreichen auf die Kundenwünsche zugeschnittenen Formteilprogrammen sowie Armaturen und Sicherheitseinrichtungen für nahezu jeden Anwendungsfall.

Darüber hinaus sind der Einsatz und die Verarbeitung des Werkstoffes PE sowie die Ausbildung der Schweißer auf internationaler und nationaler Ebene umfangreich auf einem sehr hohen Niveau geregelt.

Qualitätsbewusste Hersteller sind heute in der Lage, dem Kunden neben dem Rohr eine Komplettlösung, angefangen mit allen erforderlichen Bauteilen, bis hin zum Verleih und der Einweisung der Schweißgeräte auf der Baustelle mit einer automatischen

Erfassung aller relevanten Daten der Bauteile und des Schweißprozesses anzubieten. Dadurch erhält der Anwender ein zu 100 % kompatibles, in sich schlüssiges System, das höchsten Ansprüchen genügt. Es darf davon ausgegangen werden, dass die kalkulierten Abschreibungszeiträume deutlich übertroffen werden.

## 2.1 Rohrwerkstoffe

### 2.1.1 PE – Ein Werkstoff im Wandel der Zeit

Die heute zum Einsatz kommenden PE-Formmassen haben mit dem Werkstoff der 60er Jahre nur noch wenige Gemeinsamkeiten (Bild 1 und Bild 2). Bereits 1975 wurden die ersten PE-Werkstoffe der zweiten Generation (monomodal – Bild 3) auf den Markt gebracht. Diese Formmassen können heute aufgrund ihrer Zeitstandfestigkeit in die Werkstoffklasse PE 80 eingestuft werden.



Bild 1: Rohrverlegung mit PE-HD in den 60er Jahren



Bild 2: Rohrverlegung mit PE 100 heute

In der Berechnung und Auslegung von PE-Rohrleitungen hatte sich zu diesem Zeitpunkt nur wenig geändert. Die im Rohrbereich relevante DIN 8074 ging weiterhin von den gleichen zulässigen Betriebsüberdrücken aus. Die erhöhte Zeitstandfestigkeit führte lediglich zu einer Erhöhung der Sicherheitsreserven im Vergleich zum bisher eingesetzten PE 63.

1988 wurde die dritte Generation von PE-Formmassen vorgestellt. Diese unterscheidet sich im Vergleich zur zweiten Generation vor allem durch eine bimodale Molmassenverteilung (Bild 3). Heute wird die Festigkeitsklasse PE 100 mit dieser dritten Generation gleichgesetzt. Im Vergleich zu den bis dahin erhältlichen Werkstoffen weisen diese Formmassen eine hohe Anzahl von Seitenketten auf. Diese Kurzkettenverzweigungen werden in einem speziellen Polymerisationsprozess auf die Makromoleküle „aufgepfropft“. Die Folge ist eine Optimierung der physikalischen und mechanischen Eigenschaften der amorphen Zone und damit des gesamten Materials.

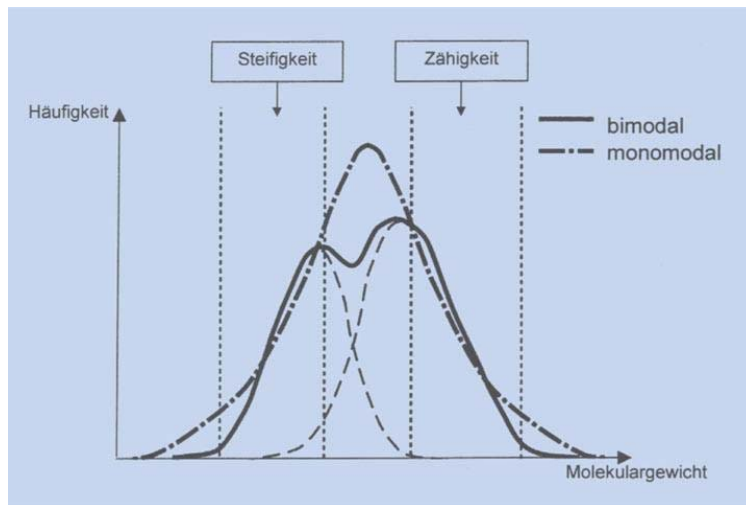


Bild 3: Monomodales und bimodales PE

Mit der Einführung der Festigkeitsklasse PE 100 wurden die zulässigen Belastungen in den Normen und Richtlinien angepasst. Dabei wurden nicht nur die besseren Zeitstandeigenschaften, sondern auch die verbesserten Widerstände gegenüber langsamer und schneller Rissausbreitung durch die Anwendung neuer Sicherheitsfaktoren (mind. 1,25 für Wasser- und 2,0 für Gasrohrsysteme) berücksichtigt (Tabelle 1).

Gas	SDR	PE 80	PE 100	PE-Xa
	11	4 bar	10 bar	8 bar
	17	1 bar	4 bar	-
Wasser	7,4	20 bar	-	20 bar
	11	12,5 bar	16 bar	12,5 bar
	17	-	10 bar	-

Tabelle 1: Zulässige Betriebsüberdrücke für PE- und PE-Xa-Rohre in der Gas- und Wasserversorgung

### 2.1.2 Die Werkstoffgeneration PE 100 VRC

In den letzten Jahren wurde unter anderem durch die Verwendung von Hexen als Copolymer im Polymerisationsprozess die Entwicklung der PE-100-Formmassen weiter vorangetrieben. Die Werkstoffe mit den größten Sicherheitsreserven werden heute für Rohre mit besonderen Schutzeigenschaften eingesetzt. Diese erhöhte Sicherheit gegenüber langsamem Risswachstum wird durch die Zusatzbezeichnung „VRC“ (Very Resistant to Crack) gekennzeichnet.

Rohre mit besonderen Schutzeigenschaften werden in der Praxis mit funktionalen Schichten ausgeführt. Hierbei handelt es sich um Rohrsysteme mit integrierter oder maßlich aufaddierter Schutzschicht. Zu der erstgenannten Gruppe gehört z. B. das FRANK Sureline®II-Rohr aus PE 100 VRC (Bild 4).



Bild 4: Sureline®II-Rohre aus PE 100 VRC für Wasser- und Gastransport

Zur Beschreibung der tatsächlichen Leistungsfähigkeit solcher Rohrsysteme reichen die derzeit in den technischen Regelwerken genannten Spezifikationen nicht mehr aus. Deshalb wurden verschiedene Prüfverfahren entwickelt, die die Eigenschaften nachweisen können, die bei der Verwendung von alternativen Verlegeverfahren als Voraussetzung gelten und zusätzlich zu den „Standardanforderungen“ an PE-Rohre erbracht werden müssen. Nachfolgend sind drei dieser Prüfverfahren näher beschrieben.

#### Notch-Test nach DIN EN ISO 13479

Im Rahmen dieses Versuches werden Rohre mit vier axial verlaufenden Kerben (Tiefe: 20 % der Gesamtwanddicke) versehen und mit einem Prüfdruck von 9,2 bar bei 80°C geprüft (Bild 5).

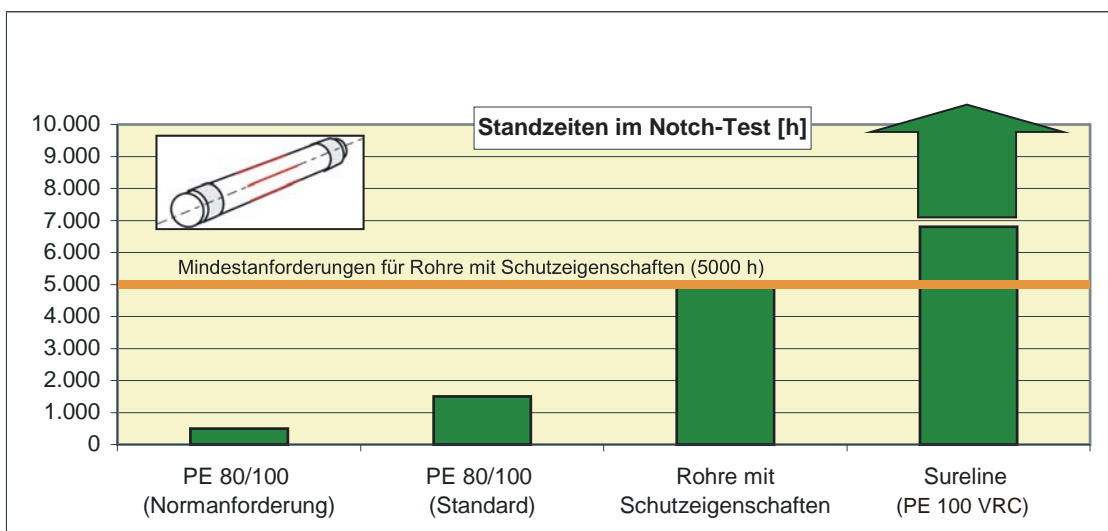


Bild 5: Standzeiten im Notch-Test

Diese Prüfung gibt Hinweise auf die Auswirkungen von äußeren Kerben und Riefen im Langzeitverhalten der Rohre und stellt daher einen wichtigen Kennwert für Rohre dar, die grabenfrei verlegt oder in der Sanierung eingesetzt werden.

### FNCT „Full Notch Creep Test“ (DIN EN 12814-3)

Bei dieser Prüfung wird ein Probekörper 10 x 10 x 100 mm axial aus der Rohrwand entnommen und mit einer senkrecht zur Achse verlaufenden Kerbe versehen. Im Anschluss wird die Probe im Wasserbad, unter Verwendung eines Netzmittels, bei erhöhter Temperatur auf Zug belastet (Bild 6).

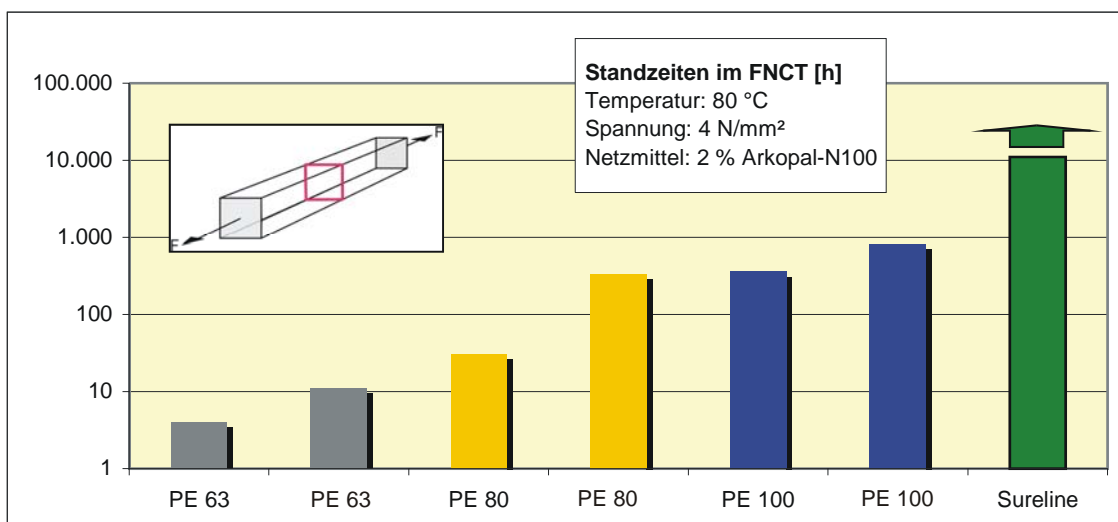


Bild 6: FNCT-Standzeiten verschiedener Formmassen: Standard PE 100 > 300 h, Sureline® II (PE 100 VRC) > 11.000 h

Mit diesem Versuch wird die Kerbempfindlichkeit des Rohstoffes und somit der Rohrleitungskomponenten, die aus dem gewählten Werkstoff hergestellt sind, gemessen. Ebenso können Aussagen über Werkstoffreserven bei spannungsrisauslösenden Belastungen, wie z. B. Punktlasten, von außen getroffen werden.

Diese Werkstoffprüfung gibt auch einen wichtigen Hinweis auf das Langzeitverhalten der geschweißten Verbindung. Schweißungen von Rohrleitungsteilen, hergestellt aus Werkstofftypen mit höheren FNCT-Standzeiten, weisen wesentlich höhere Standzeiten auf [1].

### Punktlastversuch nach Hessel

Bei dieser Methode handelt es sich um eine Kombination aus Innendruckprüfung mit zusätzlich von außen aufgebrachter Punktbelastung. Sie simuliert z. B. den in der Praxis anzutreffenden Stein und wird durch einen 10-mm-Auflagestempel im Labor nachgestellt. Durch diesen Versuch wird der Widerstand gegenüber Punktlasten, die von außen auf die Rohre einwirken, gemessen.

Hochleistungsrohre wie das Sureline®II-Rohr aus PE 100 VRC übertreffen bei weitem die erhöhten Anforderungen in diesen Prüfungen, die z. B. für die Verwendung in grabenloser Verlegung gestellt werden (Bild 7). Deswegen kommen solche Rohrsysteme auch bevorzugt bei den kostensparenden Verlegeverfahren zum Einsatz, die in Abschnitt 4 dieses Beitrages näher beschrieben werden.

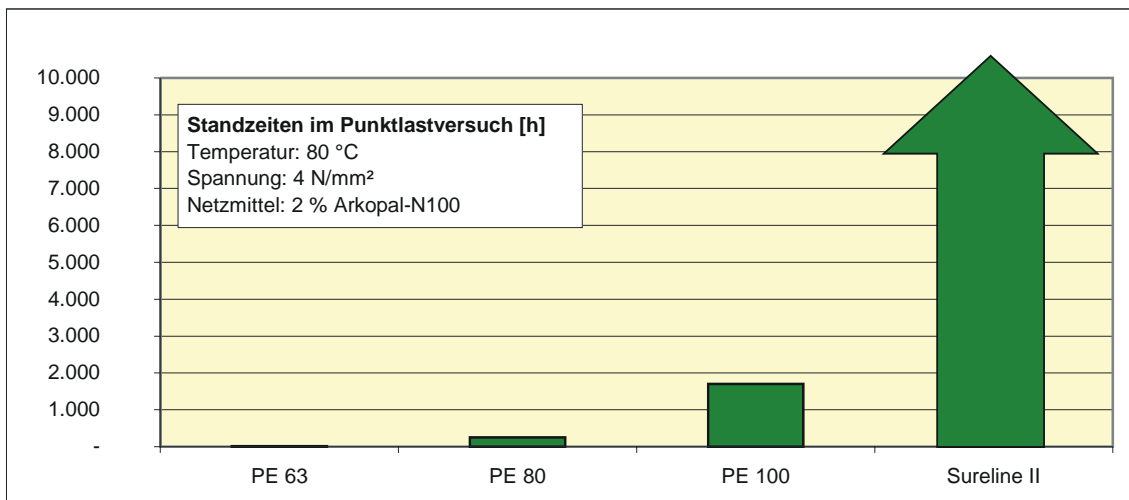


Bild 7: Standzeiten verschiedener Werkstoffe im Punktlastversuch

### 2.1.3 Vernetztes Polyethylen

Neben den modernen PE-100-Formmassen hat sich eine weitere Werkstoffentwicklung am Markt sehr bewährt: Rohre aus peroxidisch vernetztem Polyethylen (PE-Xa).

Dieses bevorzugt im Engel-Verfahren hergestellte, vernetzte Polyethylen zeigt im Vergleich zu PE eine deutlich höhere Temperaturbelastbarkeit und weist im Zeitstandverhalten keinen so genannten Sprödbereich auf (Bild 8). Deshalb kann bei PE-Xa ein Versagen durch langsamen Rissfortschritt ausgeschlossen werden. Der gegenüber PE 100 etwas reduzierten Zeitstandfestigkeit bei 20°C wurde durch geringfügig reduzierte Betriebsdrücke Rechnung getragen (Tabelle 1).

Die peroxidische Vernetzung (PE-Xa) ist das einzige Verfahren, in welchem Rohrformung und -vernetzung in einem Produktionsschritt geschieht. Die Rohre werden während der Extrusion oberhalb des Kristallitschmelzbereichs mit mindestens 2000 bar hochdruckvernetzt. Dadurch entsteht eine über die gesamte Wanddicke sehr homogene Vernetzung und im abgekühlten Zustand eine sehr feine Kristallitverteilung (Bild 10).

Grundsätzlich existieren zwei verschiedene Rohrkonzepte auf dem Markt. Durchgefärbte Rohre in den Farben Gelb und Blau, die als Basis aller Grundlagenuntersuchungen dienen, und naturfarbene PE-Xa-Rohre mit einer dünnen farbgebenden PE-Schicht in Gelb für Gas und in Blau für Trinkwasser. Die PE-beschichteten Rohre unterscheiden sich nicht nur im Aufbau, sondern auch in der UV-Stabilisierung und der Schweißseignung von den vorher genannten durchgefärbten Typen.

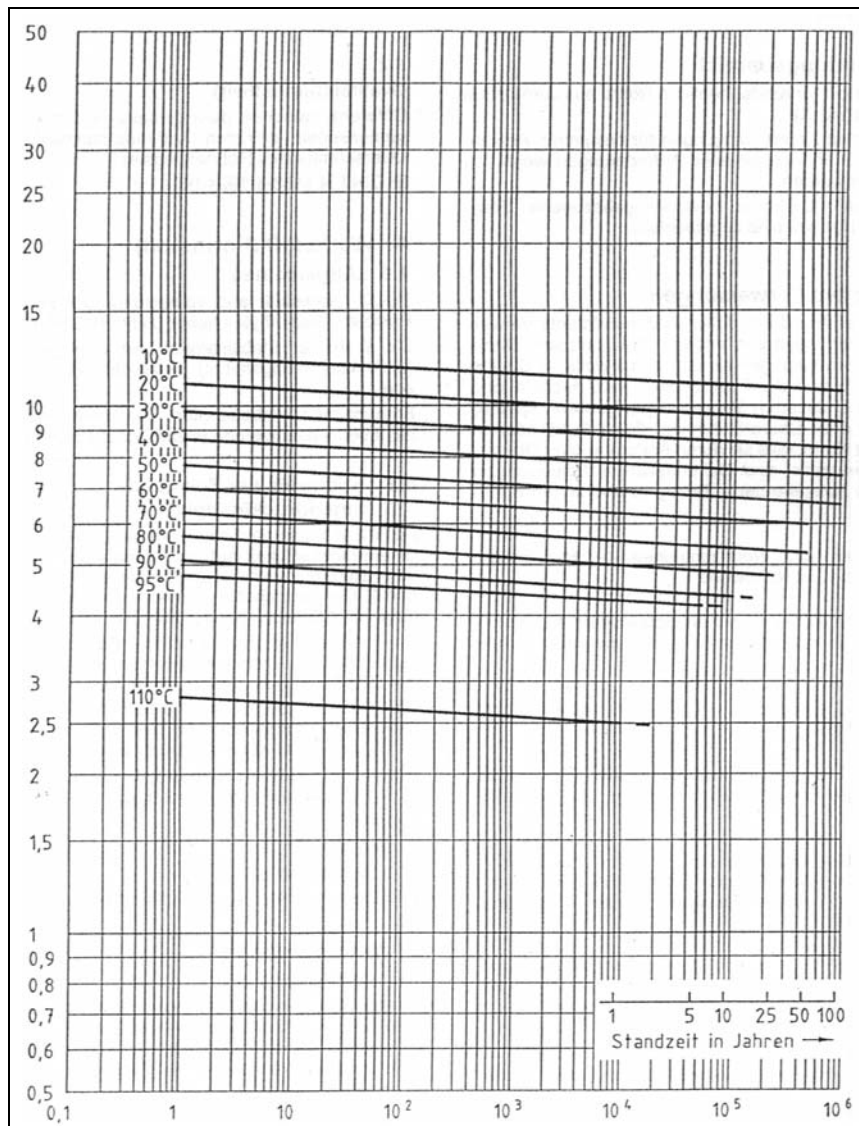


Bild 8: Zeitstandverhalten von PE-Xa-Rohren

Im Vergleich zum peroxidisch vernetzten Polyethylen geschieht beim silanvernetzten PE-Xb die eigentliche Vernetzung in einem zweiten Produktionsschritt, in welchem in Gegenwart eines Katalysators mit Dampf oder heißem Wasser siloxane Vernetzungsgruppen gebildet werden. Da die Vernetzung in einem Temperaturbereich  $< 100^{\circ}\text{C}$  stattfindet, bilden sich die Vernetzungsgruppen nur in den amorphen Bereichen des Molekülkonstrukts. Die Kristallitstruktur ist daher gröber, wodurch die Flexibilität des Rohres beeinträchtigt wird (Bild 9).

PE-Xb-Rohre finden vorwiegend in der Heizungsrohrindustrie ihren Einsatz, da die Vinylsilane nicht trinkwassergeeignet sind.

Elektronenstrahlvernetzte Rohre aus PE-Xc werden auf normalen Schneckenextrudern produziert und in einem nachgeschalteten Schritt vernetzt. Die Vernetzung geschieht durch das Beschießen des Rohrs mit sehr energiereicher Strahlung. Diese Elektronen-

strahlen brechen Wasserstoffatome aus den Molekülketten und schaffen somit reaktive Kettenenden, die sich mit gleichartigen verbinden.

Da die Vernetzung von PE-Xc bei Umgebungstemperatur stattfindet, bilden sich die Vernetzungsgruppen wie bei PE-Xb nur in den amorphen Bereichen des Molekülkonstrukts. Die Kristallitstruktur ist daher ähnlich wie bei PE-Xb gröber, wodurch zusätzlich die Flexibilität des Rohres leidet (Bild 9).



Bild 9: Kristallitstruktur PE-Xb-Rohr (analog PE-Xc) ca. 7500fache Vergrößerung



Bild 10: Kristallitstruktur PE-Xa-Rohr ca. 7500fache Vergrößerung

Werden die verschiedenen PE-X-Rohre im Hinblick auf den Einsatz in der Gas- und Wasserversorgung miteinander verglichen, so lässt sich feststellen, dass Rohre aus PE-Xb bislang keinen positiven Nachweis zur Trinkwassereignung erbrachten und nur in geringem Umfang Anwendung im erdverlegten Rohrleitungsbau fanden.

Rohre aus PE-Xc befinden sich noch in der Erprobungsphase. Die Anforderungen sind in einer vorläufigen Prüfgrundlage des DVGW (VP 640) beschrieben. Der Ablauf und die Anforderungen an die Heizwendelschweißung mit einem PE-Formteil sind in dem DVS-Arbeitsblatt 2207-1 Beiblatt 1 verankert. Für die heute verfügbaren PE-Xc-Rohre wurde die Schweißbarkeit noch nicht hinreichend nachgewiesen.

Rohre aus PE-Xa bewähren sich seit vielen Jahren in der Gas- und Wasserversorgung. Der Einsatz und die Anforderungen sind klar in der Technischen Regel GW 335-A2 des DVGW definiert.

Hervorzuheben ist der sehr hohe Widerstand gegenüber dem langsamen Risswachstum, der sich noch einmal deutlich von PE 100 VRC abhebt. Daher werden Rohre aus PE-Xa vorwiegend in grabenlosen Verlegeverfahren eingesetzt (GW 323 „Berstlining“, GW 320 „PE-Relining mit/ohne Ringraum“). Außerdem ist PE-Xa der derzeit einzige Rohrwerkstoff, der nach W 400-2 „Technische Regeln für Wasserverteilungsanlagen“ ohne Sandbett verlegt werden darf.

In der Praxis kommen PE-Xa Rohre bevorzugt im Hausanschlussbereich zum Einsatz, da dort besonders häufig alternative Verlegeverfahren mit höchsten Anforderungen an den Rohrwerkstoff eingesetzt werden und der herstellbedingte Mehrpreis für diesen Werkstoff aufgrund der zum Einsatz kommenden kleinen Dimensionen nur eine untergeordnete Rolle spielt.

## **2.2 Rohre**

In den vergangenen Jahrzehnten hat sich auch bei der Herstellung und Ausführung der Rohre eine intensive Entwicklung aufgetan, um den Anforderungen hinsichtlich „Performance“ und Wirtschaftlichkeit gerecht zu werden. An Rohre werden heutzutage viele Anforderungen gestellt. Dies sind z. B.:

- hohe mechanische Eigenschaften,
- hohe chemische Beständigkeit,
- gute Chlorbeständigkeit,
- beste Oberflächengüte und hohe Abriebfestigkeit,
- lange Lebensdauer (> 100 Jahre),
- einfache und sichere Verlegung,
- einsetzbar auch für die grabenlose Verlegung und Sanierung von allen Rohrsystemen aus Stahl oder Guss.

Durch moderne Produktionstechnologien werden Rohre aus den hochwertigen Werkstoffen PE 100 oder PE-Xa hergestellt, wobei die werkstoffspezifischen physikalischen und mechanischen Eigenschaften und Langzeitwerte beibehalten werden. Moderne Produktionsanlagen und der generelle Ausschluss von Regenerat in der Produktion gewährleisten heute, dass Rohre für die Gas- und Wasserversorgung aus PE oder PE-Xa die physikalischen und mechanischen Eigenschaften und das Langzeitverhalten des Ausgangsrohstoffes aufweisen. Besonders im Wasserbereich stehen den Anwendern heute Rohre aus PE 100 mit Wanddicken von bis zu 100 mm zur Verfügung (z. B. d 1000 SDR 11 oder d 1400 SDR 17). PE-Xa-Rohre werden derzeit bis zu einem Außendurchmesser von 160 mm angeboten.

## **2.3 Rohrformteile**

Formteile stellen in der Versorgungstechnik einen wichtigen Bestandteil als Ergänzung zum Rohr dar. Nur der Einsatz hochwertiger Formteile, die die gleichen Anforderungen wie das Rohr selbst erfüllen, ermöglicht den Bau kompletter Versorgungssysteme. Gerade auf dem Sektor der Formteilmontage wurden durch verbesserte Werkzeugtechnologie und Spritzgusstechnik auch signifikante Produktverbesserungen erzielt.

An Formteile werden die gleichen spezifischen Anforderungen gestellt wie an die Rohre selbst.

Zudem sind jedoch auch Produkteigenschaften, wie

- Formgebung, um optimierte hydraulische Eigenschaften zu erzielen,
- einfache und sichere Handhabung bei der Verlegung,
- Kompatibilität mit vielen Rohrsystemen auf dem Markt

von entscheidender Bedeutung.

Der Einsatz von hochwertigen Werkstoffen hat dazu beigetragen, Formteile in den verschiedensten Konfigurationen und mit hoher Lebensdauer zu fertigen. Da für jede Schweißtechnik auch besondere Anforderungen an die Formteile gestellt werden, konnten nur durch eigens dafür ausgelegte Produkte die hohen Anforderungen an die einfache und sichere Ausführung der Schweißung erzielt werden. Heute steht dem Anwender eine Vielzahl von Formteiltypen aus PE zur optimalen Konfiguration eines Verteilernetzes in der Gas- und Wasserversorgung zur Verfügung (Bild 11).

Infolge der Materialweiterentwicklung, die bei PE in den vergangenen Jahren stattgefunden hat, wurde im europäischen Raum auch die Fertigung der Formteile aus der früher eingesetzten Werkstofftype PE 80 generell auf PE 100 umgestellt.

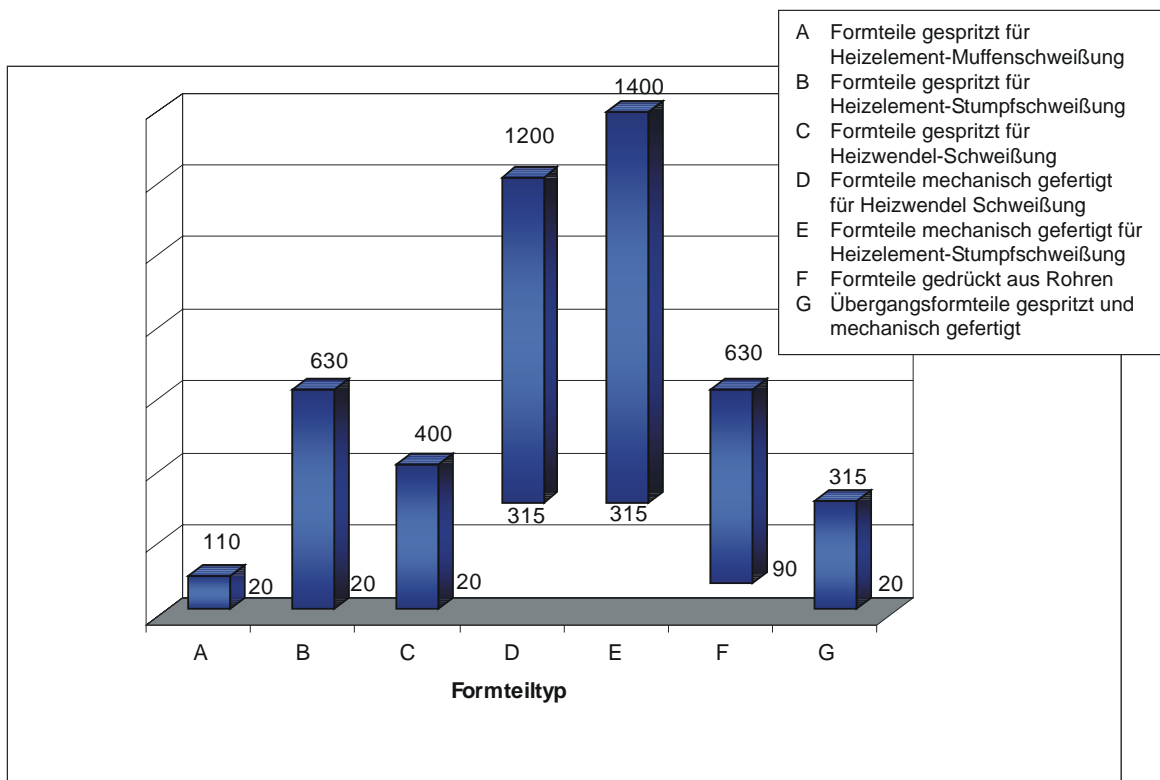


Bild 11: Verfügbare Formteiltypen und Dimensionsbereiche

Die im Versorgungsbereich eingesetzten Formteile aus PE und die Verbindungstechniken haben sich im Laufe der Jahrzehnte einem großen Wandel unterzogen.

### **2.3.1 Formteile für Heizelement-Muffenschweißung**

Bei dieser Formteilgruppe, die als erste für den Einsatz in PE-Rohrsystemen zur Verfügung stand, wurden in Anlehnung an die damals bekannten PVC-Systeme die Auslegungskriterien festgelegt. Das bedeutete große Wanddicken, aber auch limitierte Dimensionsbereiche bis 110 mm Rohraußendurchmesser.

Der begrenzte Dimensionsbereich und die für Außenanwendungen eingeschränkte Schweißtechnik haben dazu geführt, dass diese Formteile heutzutage im Bereich der Gas- und Wasserversorgung im europäischen Raum nicht mehr eingesetzt werden.

### **2.3.2 Formteile für Heizelement-Stumpfschweißung**

Diese Formteilgruppe wurde im europäischen Raum seit den 70er Jahren entwickelt, da die Stumpfschweißtechnik aufgrund der guten Reproduzierbarkeit und des breiten anwendbaren Dimensionsbereiches als die sicherste Verbindungstechnik anerkannt war.

Ein großer Anteil der heute verfügbaren Formteile ist in Dimensionen bis 500 mm Durchmesser und Druckstufen bis 20 bar (d. h. mit Wanddicken bis zu 60 mm) erhältlich. Ein Großteil wird im Spritzgießverfahren hergestellt. Um eine hochwertige Produktqualität zu erzielen, sind dabei mehrere Produktionsschritte erforderlich. Dadurch können absolute Homogenität, optimierte Oberflächen erzielt sowie Bindenähte im Formteil vermieden werden. Die Zeitstandfestigkeit von diesen hochwertig hergestellten Formteilen aus PE liegt wesentlich über den Normanforderungen und häufig sogar über der Zeitstandfestigkeit von extrudierten Rohren.

### **2.3.3 Formteile für Heizwendelschweißung**

Die Entwicklung von elektroschweißbaren Formteilen, die bereits in den 60er Jahren des vergangenen Jahrhunderts begann, wurde ein wesentlicher Faktor, der zum Erfolg von PE-Rohrsystemen in der Gas- und Wasserversorgung geführt hat. Diese Verbindungstechnik zeichnet sich durch einfache Handhabung bei der Verlegung und speziell durch den geringen Platzbedarf bei der Montage aus.

Um jedoch eine Reproduzierbarkeit ähnlich wie bei der Stumpfschweißtechnik zu erzielen, ergaben sich hohe Anforderungen bei der Auslegung und Fertigungstechnik von elektroschweißbaren Formteilen. Elektroschweißbare Formteile der neuesten Generation bestehen aus mehreren Komponenten, die im Fertigungsprozess modular zusammengebaut werden. Bei der Verschweißung der Heizwendelformteile übernimmt das Formteil sowohl die Funktion des Heizelementes als auch des kraftschlüssigen Verbindungsteiles. An die modernen und leistungsfähigen elektroschweißbaren Formteile werden heutzutage folgende Anforderungen gestellt:

- homogenes Bauteil mit höchster Zeitstandfestigkeit,
- höchste Reproduzierbarkeit der Schweißnahtqualität,
- universell einsetzbar für die verschiedensten Rohrsysteme, die in der Gas- und Wasserversorgung zum Einsatz kommen (Mehrschichtrohre, PE-X-Rohre).

Moderne Herstellverfahren, bei denen diese Formteile vollautomatisiert hergestellt werden, garantieren dem Anwender ein Höchstmaß an Sicherheit mit dieser Verbindungstechnik.



Bild 12: Heizwendelformteil mit eingebettetem Heizwendel



Bild 13: Heizwendelformteil mit freiliegendem Heizwendel

Abhängig vom Herstellverfahren ergeben sich verschiedene modulare Formteilkonstruktionen:

- Formteile mit eingebetteten Heizwendeln  
Diese Formteile bieten den Vorteil, dass vollkommen glatte Innenoberflächen, gleichmäßige Wärmeabführung bei der Schweißung und damit verbunden sehr hohe Schweißnahtfestigkeiten erzielt werden.  
Weiterhin wird durch die geschützten Heizwendel eine Korrosion des metallischen Wärmeleiters während Lagerung und Betrieb (z. B. auch durch Medieneinfluss) vollkommen ausgeschlossen (Bild 12).
- Formteile mit freiliegenden Heizwendeln  
Diese Formteiltypen werden vorwiegend bei großen Dimensionen eingesetzt (Bild 13).

#### 2.3.4 Formteile aus Rohr und Halbzeugen gefertigt

Für den Rohrleitungsbau – insbesondere im Bereich der Wasserversorgung – werden Bögen mit langen Schweißenden bzw. mit großen Biegeradien in verschiedenen Winkelgraden (11 bis 90°) benötigt. Da derartige Formteile im Spritzgießverfahren nicht wirtschaftlich hergestellt werden können, werden diese Bögen aus Rohren geformt (auch „gedrückt“ oder „gezogen“).

In diesem Produktionsverfahren werden die Rohre vor der Verformung wärmebehandelt und anschließend unter kontrollierten Bedingungen gegen eine Außenform gebogen. Dabei werden die Rohrstücke auf der Innenseite durch einen flexiblen Kern gestützt. Die Erwärmung erfolgt bei den modernen prozessgesteuerten Produktionsanlagen (Bild 14) nur in der Verformungszone, wodurch sichergestellt wird, dass die Anschweißenden die Maßhaltigkeit, die für den späteren Schweißvorgang erforderlich ist,

beibehalten. Die Druckbeständigkeit dieser im automatisierten Prozess hergestellten Formteile ist identisch mit jener des verwendeten Rohres.

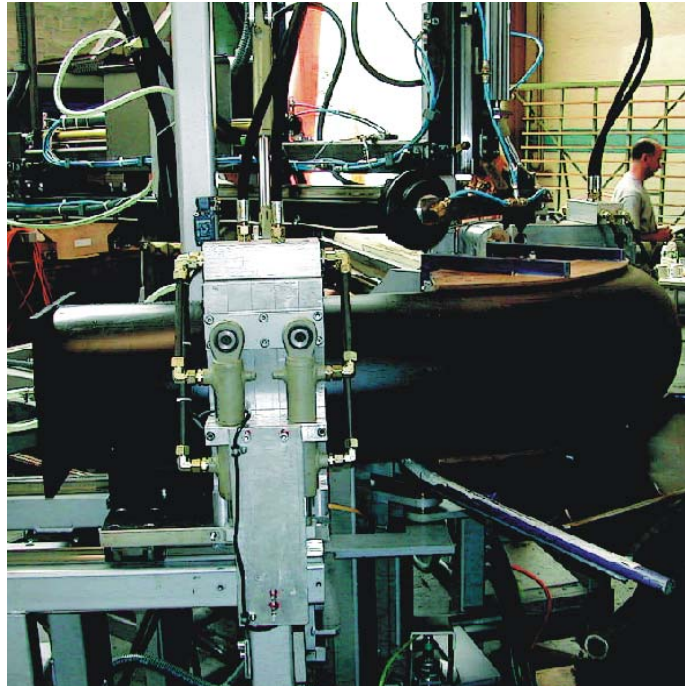


Bild 14: Herstellung eines aus Rohr geformten Bogens auf einer vollautomatischen Anlage

Werden Formteile benötigt, die im Spritzguss- oder Rohrbiegeverfahren nicht hergestellt werden können, d. h. beim derzeitigen Stand  $> 630$  mm, stehen dem Anwender verschiedene Möglichkeiten zur Verfügung:

- Segmentierte Formteile aus Rohren  
Bei dieser Variante werden die Formteile aus Rohren durch Anwendung der Heizelementstumpfschweißtechnik hergestellt. Bei derartigen Formteilen ist aufgrund der Fertigungstechnik und ihrer Formgebung jedoch ohne zusätzliche Wändickenerhöhung ein Druckabminderungsfaktor zu berücksichtigen.
- Mechanisch aus Halbzeugen gefertigte Formteile  
Für Anwendungen, bei denen in den großen Dimensionsbereichen auch hohe Druckstufen von bis zu 16 bar erforderlich sind, werden Formteile häufig aus Halbzeugen mechanisch gefertigt. Bei diesen Formteilen kann durch entsprechende konstruktive Auslegung die volle Druckbeständigkeit (Druckstufe wie Rohr) sichergestellt werden.

### 2.3.5 Kunststoffarmaturen

Gerade in der Gas- und Wasserversorgung wurden seitens der Hersteller in den letzten Jahren viele neue Entwicklungen auf den Markt gebracht, die es dem Anwender mittlerweile ermöglichen, ein vollständig homogenes PE-Rohrsystem zu errichten.

Beispielhaft seien an dieser Stelle Kugelhähne erwähnt, die komplett aus Kunststoff hergestellt und mit einem PE-100-Gehäuse versehen sind (Bild 15). Diese modernen Kugelhähne können im Bedarfsfall mit einem Getriebe ausgestattet werden (niedrigere Betätigungsmomente) und besitzen ein Anschweißende, das die Einbindung in die Rohrleitung mittels Heizwendel- oder Heizelementstumpfschweißung ermöglicht.



Bild 15: Vollkunststoff-PE-Kugelhahn für die Gasversorgung

### 2.3.6 Übergangsformteile

Für den Anschluss von PE-Kunststoffrohrsystemen an andere Rohrsysteme aus Stahl, Guss oder PVC stehen verschiedenste Formteile dem Anwender zur Verfügung (Bild 16 und Bild 17). Hohe Zeitstandfestigkeiten und einfache Handhabung bei der Montage sowie volle Druckbeständigkeit werden auch von diesen Übergangsformteilen erfüllt.



Bild 16: Übergangsformteil PE-Stahl



Bild 17: Übergangsformteil PE-Guss

## 2.4 Schweiß- und Verbindungstechnik

Dem Anwender stehen heute verschiedene Schweißverfahren zur Verfügung, um hochwertige Verbindungen zwischen den Rohrleitungskomponenten herzustellen. Nationale und internationale Normen und Richtlinien (z. B. DVS) beschreiben die einzelnen Verfahren. So sind die Anforderungen und angewendeten Verfahren im industriellen und erdverlegten Rohrleitungsbau andere als zum Beispiel im Behälterbau oder in der Halbleiterindustrie.

Für jedes dieser Anwendungsfelder sind spezielle Kenntnisse und Schweißmaschinen erforderlich. Neben Geräten zum Schweißen von Heizwendel- und Heizelementstumpfschweißformteilen stellen die Hersteller dem Anwender auch umfangreiches Zubehör, wie Rohrschälgeräte, Rohrschneider und vieles mehr, zur Verfügung.

Im erdverlegten Rohrleitungsbau bei den Gas-, Trinkwasser- und Abwassernetzen aus PE 80, PE 100 und PE-Xa kommen – wie erwähnt – das Heizelementstumpfschweißverfahren und das Heizwendelschweißverfahren zum Einsatz. Im Gegensatz zu PE 80 und PE 100 kann PE-Xa nur im Heizwendelschweißverfahren geschweißt werden.

### 2.4.1 Heizelement-Stumpfschweißen (HS)

Heizelement-Stumpfschweißungen müssen mit einer Schweißvorrichtung durchgeführt werden. Die zu schweißenden Rohrleitungsteile werden ohne zusätzliche Formteile stirnseitig unter vorgegebenen Parametern (Druck, Zeit, Temperatur) zusammengesetzt. Bei der Heizelement-Stumpfschweißung werden im Vergleich zu allen anderen Schweißmethoden die Parameter Druck, Temperatur und Zeit exakt definiert und können darüber hinaus permanent überwacht werden. Heute werden im Versorgungsbereich vermehrt CNC-gesteuerte Maschinen (Bild 18) eingesetzt. Die einzelnen Verfahrensschritte laufen automatisch ab, neben Schweißdaten besteht die Möglichkeit, weitere umfangreiche Information wie z. B. Bauteilcode, Schweißer und Auftragsnummer zu erfassen.

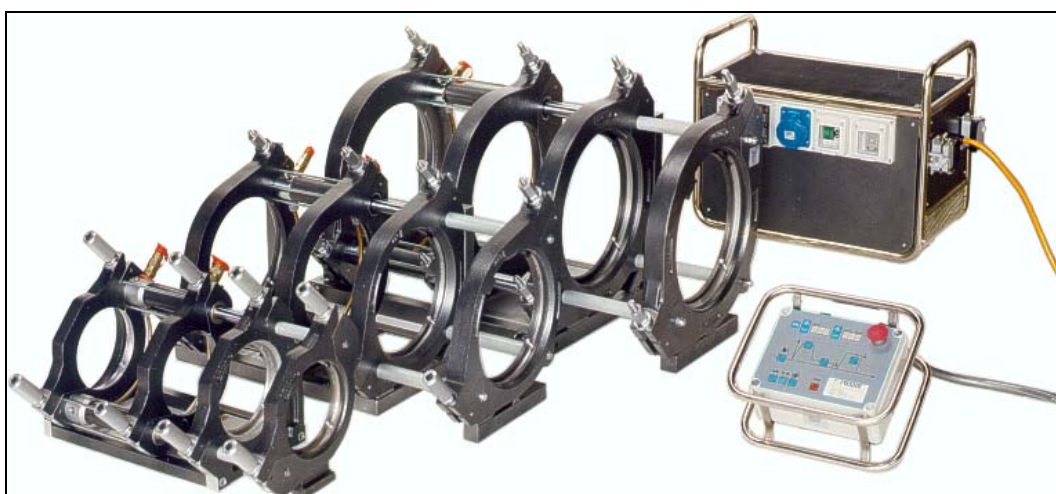


Bild 18: Heizelementstumpfschweißmaschine für den Baustelleneinsatz

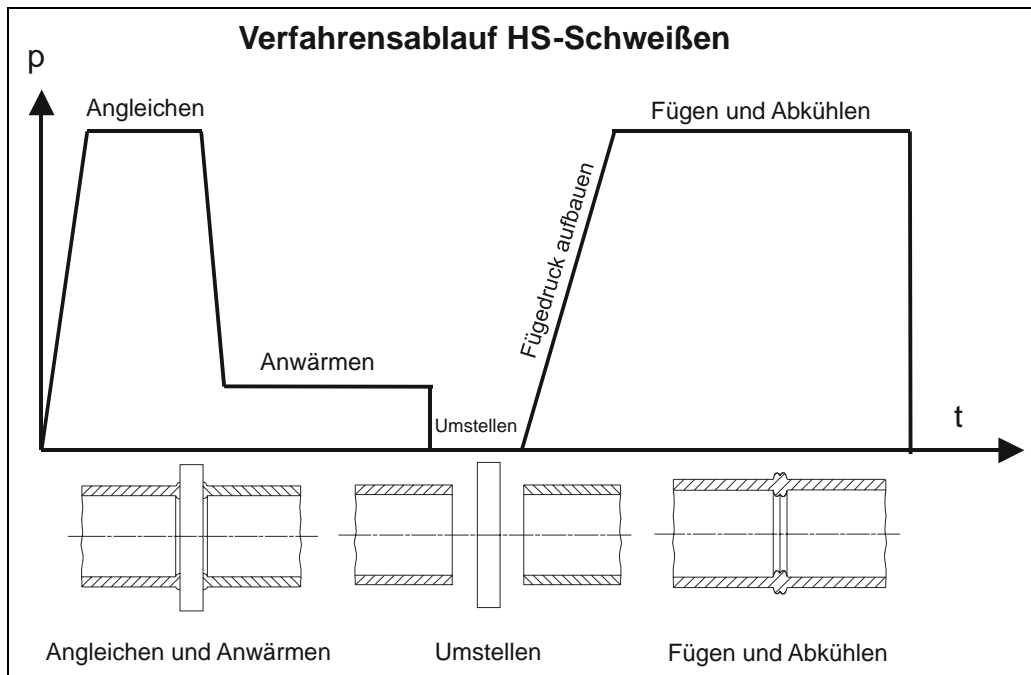


Bild 19: Ablaufschema des Schweißvorganges (HS-Schweißen)

Mit Hezelementstumpfschweißverfahren können derzeit Rohre mit einem Außendurchmesser von 20 bis 2000 mm verbunden werden. Im Versorgungsbereich wird das Hezelementstumpfschweißverfahren aus Platz- und Handlinggründen häufig erst ab d 110 eingesetzt.

Abhängig von den vorhandenen Verlegebedingungen kann das Verfahren durch das Einsparen zusätzlicher Bauteile (wie z. B. E-Muffe bei der Heizwendelschweißung) und durch die automatisierte Schweißvorbereitung (motorgetriebener Planhobel) erhebliche Kostenvorteile bieten. Darüber hinaus hat der Schweißer bzw. die Aufsichtsperson immer die Möglichkeit, die Schweißnaht visuell zu beurteilen. Die Stumpfschweißtechnik stellt derzeit aufgrund des exakt definierten Verfahrensablaufes eine exakt reproduzierbare und somit sehr sichere Schweißmethode dar.

#### 2.4.2 Heizwendelschweißen (HM)

Beim Heizwendelschweißen werden Rohre und Formstücke mit Hilfe von Widerstandsdrähten (Heizwendel) erwärmt und geschweißt. Die Widerstandsdrähte sind im Muffenteil des Formstückes angeordnet (Bild 20 und Bild 21). Die Energiezufuhr erfolgt mit Hilfe eines Schweißtransformators (Schweißgerät – Bild 22). Das Verfahren zeichnet sich durch die verwendete Sicherheitskleinspannung sowie durch einen hohen Automatisierungsgrad aus.

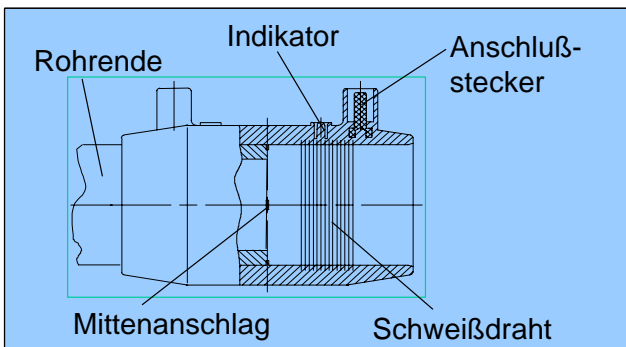


Bild 20: Aufbau einer Heizwendelmuffe



Bild 21: Barcode für Schweiß- und Bauteildaten

Neben dem Verbinden von Rohren und Formteilen aus nicht vernetztem PE können bei diesem Verfahren auch Rohre aus PE-X mittels Heizwendelformteilen aus PE 100 geschweißt werden.

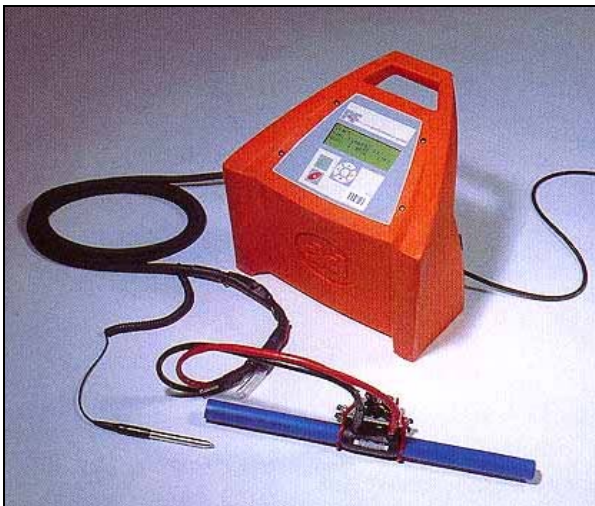


Bild 22: Schweißgerät polymatic plus



Bild 23: Rotationsschälgeräte

Entscheidend bei der Herstellung qualitativ hochwertiger Verbindungen ist eine perfekte Schweißvorbereitung, z. B. Ausrichten der Bauteile und Entfernen der „Oxidschicht“ (ca. 0,2 mm) in der Schweißzone (Einstecktiefe) mittels Rotationsschälgeräte (Bild 23). Eine nicht vollständig bzw. unzureichend entfernte „Oxidschicht“ führt zu Schweißfehlern. Auch der Einsatz von entsprechend ausgelegten Formteilen für die zu schweißende Rohrdimension ist ein wichtiger Faktor zur Erzielung guter Schweißergebnisse.

Der Anwendungsbereich für Versorgungsleitungen erstreckt sich in Europa derzeit von d 20 bis d 710 mm Außendurchmesser. Die am Markt angebotenen Heizwendelformteile werden jedoch ständig zu größeren Nennweiten hin erweitert.

### 2.4.3 Schweißdatenerfassung

Genau so wichtig wie eine fachgerechte Ausführung der Schweißung ist heutzutage die Dokumentation des Schweißprozesses und der verwendeten Bauteile bei der Rohr-

leitungsverlegung. Dazu werden für durchgeführte Schweißungen Schweißprotokolle erstellt. In diesen werden neben den Schweißparametern und den Bauteilen auch umfassende Daten zu Verlegefirma, Schweißer, Auftragsnummer, Witterung, Maschinentyp usw. festgehalten (z. B. Schweißprotokoll nach DVS 2207-1).

In der Praxis werden heute vermehrt Stumpfschweißmaschinen und Heizwendelschweißgeräte mit Protokollierung eingesetzt. Diese speichern die angewendeten Schweißparameter und Zusatzinformationen, die entweder ausgedruckt oder archiviert werden können.

Darüber hinaus werden Rohre und Formteile auf Kundenwunsch immer häufiger mit einem weiteren Barcode ausgestattet. Dieser Bauteilrückverfolgbarkeitscode (auch „Traceabilitycode“) kann mit Geräten der neuesten Generation eingelesen und den Daten des Schweißprozesses zugeordnet werden. Er bietet dem Anwender bzw. dem Versorgungsunternehmen umfassende Information zu den bei einer Baumaßnahme eingesetzten Bauteilen.

Darüber hinaus existieren bereits Systeme auf dem Markt, die neben dem Erfassen von Schweiß- und Bauteildaten elektronische Rohrbücher erstellen können. Eines dieser Systeme ist das so genannte Rohr-Ident-System [4]. Es ermöglicht unter anderem eine lagerichtige Zuordnung der Rohre und Rohrleitungsteile sowie das Erstellen von Stücklisten neben der Schweißdatenverwaltung.

#### **2.4.4 Flanschverbindungen**

Besonders bei Trinkwasserleitungen aus PE 100 werden Verbindungen oftmals mittels Flanschanschluss hergestellt. Dabei werden für die Einbindung von Armaturen (z. B. metallische Schieber oder Klappen) in das Leitungssystem zur Vorortmontage sowie zum Anschluss an andere Rohrleitungswerkstoffe sowohl Los- als auch Festflanschverbindungen angewendet.

Die Losflanschverbindung besteht aus zwei Bundformteilen aus PE 100 und zwei Losflanschen sowie den zugehörigen Schrauben und Dichtungen (Bild 24). Bunde mit Schweißenden, allgemein als Vorschweißbunde bezeichnet, können sowohl durch das Heizelementstumpfschweißverfahren (HS) als auch das Heizwendelschweißverfahren (HM) mit dem Rohr verbunden werden. Die genormten Abmessungen der Vorschweißbunde sind in DIN 16962-4, DIN 16963-4, DIN EN ISO 15494 und ISO 10931-3 festgelegt.

Im Durchmesserbereich bis DN 200 sind die Lochkreise der für den PE-Bereich zulässigen Druckstufen identisch. Bei größeren Nennweiten (ab DN 200) sind die Lochkreise der Losflansche üblicherweise gemäß den DIN-Vorgaben für die Druckstufe PN 10 gebohrt (DIN 2673/2642 „Lose Flansche mit Vorschweißbund PN 10“). Die Bauteile können aber häufig (z. B. Vorschweißbund aus PE 100 SDR 11) bis 16 bar belastet werden. Dies gilt normalerweise auch für den Losflansch, aber oft nicht für die metallische Armatur. Für die Fälle, bei denen zum Anschluss ein Flansch mit Lochkreis PN 16 benötigt wird, gibt es jedoch Sonderflansche, die das gewünschte Anschlussmaß aufweisen.

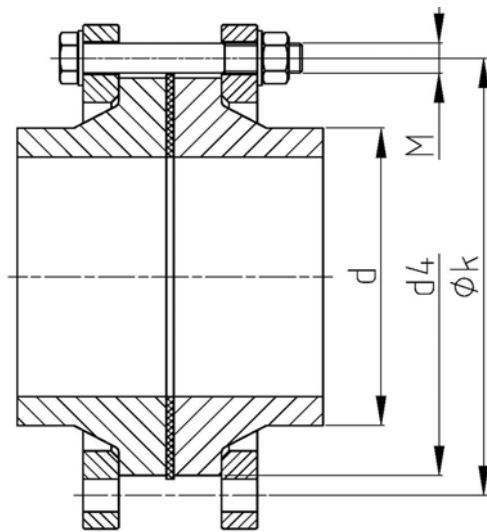


Bild 24: Losflanschverbindung analog zu DIN 16962/63

Für Rohrsysteme in der Wasserversorgung werden auch mit Stahleinlege teil verstärkte Festflansche aus PE eingesetzt (Bild 25). Diese Bauteile sind auf die Druckstufe der Rohrleitung ausgelegt.

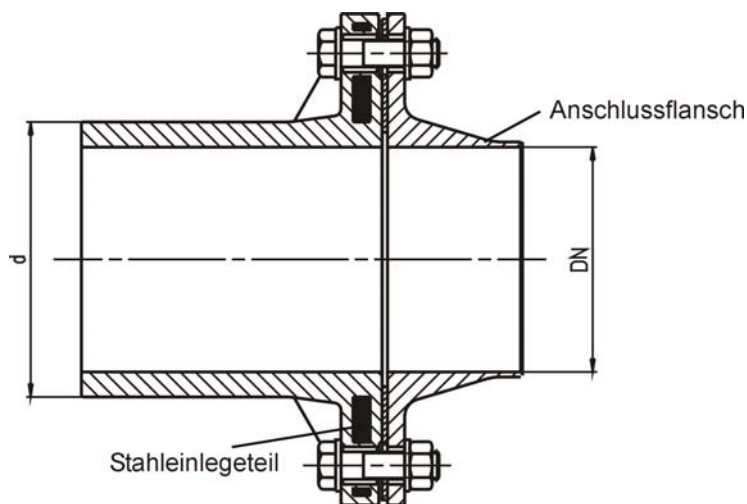


Bild 25: Festflanschverbindung mit Flachdichtung

Für den nennweitengerechten Anschluss an Gussarmaturen sowie den direkten Anschluss von Unterflurhydranten hat sich diese Festflanschverbindung in der Praxis bewährt. Sie wird mit Flachdichtungen sowie alternativ mit O-Ring-Abdichtung angeboten.

### 3. Qualitätssicherung von Rohrsystemen aus PE

Für Rohrleitungssysteme im Versorgungsbereich wurden in den vergangenen Jahren intensive Anstrengungen unternommen, durch Regelwerke auf nationaler, europäischer und internationaler Ebene alle erforderlichen Richtlinien für

- Werkstoffe,
- Verarbeitung,
- Komponentenauslegung und Ausführung,
- Gütesicherung,
- Verbindungstechnik und Verlegung,
- Inbetriebnahme von verlegten Rohrsystemen

festzulegen.

Auch die Gütenachweise für die einzelnen Komponenten des PE-Rohrleitungssystems sind seit vielen Jahren national geregelt und im Zuge der europäischen Harmonisierung zum Teil auch europaweit einheitlich festgelegt. Dennoch geben die nationalen Gütezeichen (z. B. DVGW-Registrierung) nach wie vor einen höheren Standard vor. Dies betrifft sowohl die Anforderungen an das Produkt als auch die wesentlich strengeren Festlegungen hinsichtlich der permanenten Nachweise der Güte der Produkte.

Man begnügt sich also nicht mit der einmaligen Feststellung der Produktqualität von Rohren, Formteilen und Armaturen, sondern verlässt sich bei der Produktzertifizierung im Wesentlichen auf ein 3-Säulen-Modell:

1. Eignungsprüfung im Rahmen der Erstzulassung.
2. Festlegung der Anforderungswerte und Prüfhäufigkeiten im Rahmen der herstellerseitigen Eigenüberwachung.
3. Regelmäßige Fremdüberwachung durch unabhängige Prüfstellen, Werksbesuche und Produktprüfungen.

Selbstverständlich werden dafür die international üblichen Zertifizierungen nach ISO 9001 (für die Hersteller) bzw. EN 45001 und ISO 17025 (für die Prüfstellen) vorgeschrieben. Erst durch diese Zertifizierungen und die Zugrundelegung der Eigenüberwachung des Herstellers ist ein gleich bleibend hoher und vor allem vergleichbarer Qualitätslevel sichergestellt.



Bild 26: Qualitätszertifikat gemäß EN1555



Bild 27: Qualitätszertifikat gemäß EN 12201

### 3.1 Prüfrichtlinien

Im DVGW-Arbeitsblatt GW 335-B2 sind neben den heute europaweit standardisierten Anforderungen, wie z. B. EN 1555 (Bild 26) und EN 12201 (Bild 27), zusätzliche Festlegungen spezifiziert, die unmittelbar mit den anwendungsspezifischen Anforderungen korrelieren. Aufgrund der Erfahrungen – insbesondere mit Werkstoffprüfungen an verschiedenen Formmassen – konnte die Erkenntnis gewonnen werden, dass die Zeitstandinnendruckprüfung als Nachweis einer Zeitstandkurve nicht immer ausreichend ist, um die Eignung von Werkstoffen in der Praxis sicherzustellen (Tabelle 2).

Die Prüfung des langsamen und schnellen Risswachstums an Rohren sowie die Schweißung von PE-100-Formteilen mit PE-Xa-Rohren tragen dem Trend Rechnung, Materialkombinationen dort einzusetzen, wo sie sinnvoll und anwendungsgerecht sind.

Zusätzlich zu den in den meisten europäischen Ländern üblichen Festlegungen hinsichtlich der Prüffrequenzen von Bauteilen ist im DVGW-Arbeitsblatt GW 335-B2 auch die Gütesicherung der Werkstoffe festgelegt.

Eigenschaften	Prüfung nach Abschnitt	Formstückhersteller		Werkstoffhersteller	
		Häufigkeit/Aufzeichnung Eigenüberwachung	Überprüfung nach Stichprobenplan <sup>2)</sup>	Eigenüberwachung	Fremdüberwachung <sup>3)4)</sup>
		Prüfbescheinigung nach DIN EN 10204 <sup>1)</sup>			
Schmelzindex	5.2.1	Abnahmeprüfzeugnis 3.1 B	x	je Charge	2 x jährlich
Trockenverlust	5.2.2	Abnahmeprüfzeugnis 3.1 B	x	je Charge	–
Homogenität	5.2.3	Werkszeugnis 2.2	x	je Charge	2 x jährlich
Dichte	5.2.4	Abnahmeprüfzeugnis 3.1 B	x	je Charge	2 x jährlich
Farbe	5.2.5	Werksbescheinigung 2.1	–	regelmäßig	–
Witterungsbeständigkeit	schwarz	Werkszeugnis 2.2	–	regelmäßig	–
	blau	5.2.6 Werksbescheinigung 2.1	–	Zulassungsprüfung	
	gelb	Werksbescheinigung 2.1	–	Zulassungsprüfung	
Thermische Stabilität	5.2.7	Abnahmeprüfzeugnis 3.1 B	–	je Charge	2x jährlich
Schweißbeignung	5.2.8	–	–	Zulassungsprüfung	
Langsames Risswachstum	5.2.9	Werksbescheinigung 2.1	–	–	1 x jährlich
Schnelle Rissfortpflanzung	5.2.10	Werksbescheinigung 2.1	–	–	1 x jährlich
Gasbeständigkeit	5.2.11	–	–	Zulassungsprüfung	
Hygiene	5.2.12	Werksbescheinigung 2.1	–	Zulassungsprüfung	
Geruch und Geschmack	5.2.13	Abnahmeprüfzeugnis 3.1 B	–	je Charge	4 x jährlich
Mikrobiologie	5.2.14	–	–	Zulassungsprüfung	

1) Die Werkstoffprüfung erfolgt durch den Werkstoffhersteller, der Formstückhersteller nimmt eine Wareneingangsprüfung vor. Die Werte in der Lieferspezifikation sind zwischen Werkstoffhersteller und Formstückhersteller zu vereinbaren und durch eine Prüfbescheinigung nach DIN EN 10204 zu dokumentieren. Die Prüfbescheinigung nach DIN EN 10204 kann als Nachweis für Prüfungen im Rahmen der Eigenüberwachung gelten. Anlieferungen, die der Lieferspezifikation nicht entsprechen, sind zurückzuweisen.

2) Der Formstückhersteller legt die Stichprobenhäufigkeit nach Bedarf fest.

3) Für die Fremdüberwachung dürfen die Proben durch das für den Werkstoffhersteller zuständige Prüflaboratorium, das ein anderes als das für den Formstückhersteller zuständige Prüflaboratorium sein kann, bei einem Formstück- oder Rohrhersteller entnommen werden.

4) Zulassungsprüfung zur Aufnahme des Werkstoffs in die Werkstoffliste nach 3.1.5. Im Rahmen der Zulassungsprüfung werden alle Eigenschaften geprüft.

Tabelle 2: Auflistung der geforderten Werkstoffprüfungen nach GW 335-B2

### 3.2 Kriterien für die Produktüberwachung und Eignungsprüfung

Im Rahmen der Eignungsprüfungen bei der Produktentwicklung werden neben den klassischen Werkstoff- und Bauteilprüfungen ebenso Verbindungsprüfungen durchgeführt, um eine Verarbeitbarkeit der einzelnen Komponenten auch unter widrigsten Umgebungsbedingungen („worst case“) sicherzustellen.

Es sind dies im Wesentlichen

- Prüfung der Schweißverbindungen bei  $-10/+23/+45^{\circ}\text{C}$ ,
- Schweißungen mit kleinst- und größtmöglichem Außendurchmesser der Rohre,
- Schweißungen mit kleinst- und größtmöglichem Innendurchmesser der Heizwendelformteile,
- Schweißungen mit kleinst- und größtmöglicher Versorgungsspannung des Schweißgerätes,
- Schweißung mit doppelter Schweißzeit gemäß Verlegeanleitung.

Diese Proben werden dann denselben Prüfkriterien z. B. bei der Zeitstandinnendruckprüfung ( $80^{\circ}\text{C}/5,4 \text{ MPa}/> 165 \text{ Std.}$  bei PE 100) unterzogen. Damit ist sichergestellt, dass auch bei extremen Einsatzbedingungen und ungünstigsten Rahmenbedingungen eine ausreichende Betriebssicherheit der Rohrleitung gegeben ist.

Bei der Heizwendelschweißung hat sich jedoch in Untersuchungen herausgestellt, dass beim Zeitstandinnendruckversuch infolge der zu geringen Belastung (Schub) der Schweißverbindung keine Aussage über die langzeitige Bindefestigkeit der Fügeebene möglich ist.

Der Zeitstandzugversuch mit einer Belastung senkrecht zur Fügeebene (gemäß DVS 2203 Beiblatt 1) ergibt jedoch eindeutige Ergebnisse zur Langzeitfestigkeit von Heizwendelschweißverbindungen (Bild 28). Bei fachgerecht ausgeführten Heizwendelschweißverbindungen findet der Bruch erfahrungsgemäß nicht in der Fügeebene, sondern in der Heizwendelebene statt (Bild 30). Die Standzeit einer derartigen Verbindung wird bei dieser Prüfung beeinflusst durch den verschweißten Flächenanteil und die Geometrie der Heizwendeldrähte.

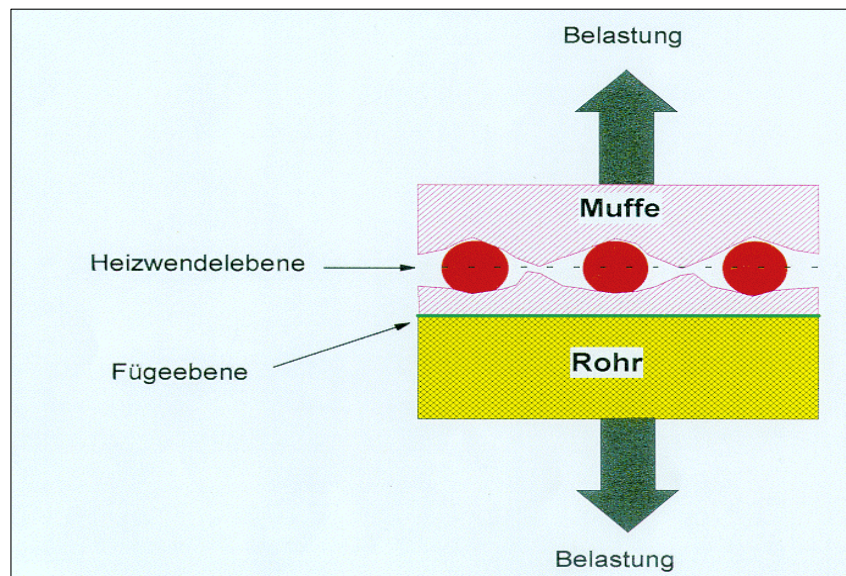


Bild 28: Zeitstandzugversuch gemäß DVS 2203 Beiblatt 1 von Heizwendelverbindungen



Bild 29: Typisches Bruchbild einer fachgerecht hergestellten Heizwendelschweißung (Bruch in der Heizwendelebene)

Bei den auf dem Markt befindlichen Systemen ergeben sich bei Heizwendelverbindungen infolge ihrer konstruktiven Gestaltung und der verwendeten Werkstofftypen große Unterschiede in der Langzeitfestigkeit. Die Mindestanforderungen (z. B. für PE-100-Formteile eine Mindeststandzeit von 120 h) der Richtlinien werden zwar von allen Systemen erfüllt, dennoch gibt es gravierende Qualitätsunterschiede. So sind am Markt Systeme erhältlich, bei denen die Mindestanforderungen um mehr als das 20fache übertroffen werden (Bild 30). Durch den Einsatz derartiger Heizwendelsysteme in der Gas- und Wasserversorgung ergeben sich wesentlich höhere Sicherheiten bzw. höhere Schweißnahtqualitäten.

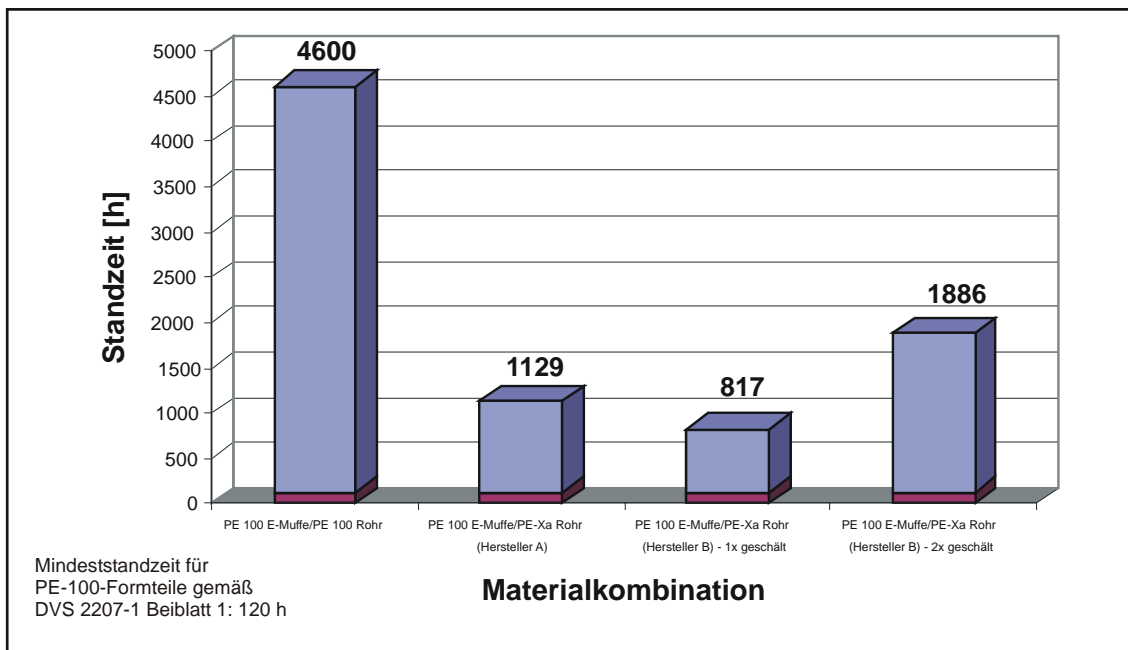


Bild 30: Zeitstandzugversuche an Heizwendelschweißverbindungen mit Muffen Fabrikat AGRU nach DVS 2203-4 Beiblatt 1

Festgelegt durch die einschlägigen Regelwerke, ist sichergestellt, dass eine kontinuierliche Qualitätssicherung – beginnend von der Rohstofffertigung bis zur Abnahme der verlegten Rohrsysteme – stattfindet. Eine durchgängige Dokumentation aller relevanten Prüf- und Produktdaten sowie von verlegetechnischen Details garantiert eine 100%-Rückverfolgbarkeit.

#### 4. Wirtschaftlichkeit

Die Baukosten werden in nicht unerheblichem Maße von der Art der Verlegung beeinflusst. Laut Fleckner [7] liegt der Anteil der Kosten, die in den Bereich der Herstellung der Leitungsgräben sowie das Wiederherstellen der Oberflächen zu verbuchen sind, bei ca. 80 % der Gesamtkosten.

Bezüglich der Bewertung der realisierbaren Einsparpotentiale (Tabelle 5) bei der Anwendung grabenloser Verlegetechniken gehen die Einschätzungen je nach den vorliegenden Bodenverhältnissen und nach verlegter Nennweite deutlich auseinander. In einer Pressemitteilung des Bayerischen Staatsministeriums vom 11.09.1996 [8] wurde

das Einsparpotential mit bis zu 50 % beziffert. Unter optimalen Bedingungen sind nach Aussagen von Energieversorgern und Rohrleitungsbauunternehmen die Kosten für die Verlegung in einem offenen Graben ähnlich niedrig wie bei einer grabenlosen Verlegung (z. B. Horizontalspülbohrverfahren, Fräs- und Pflugverfahren).

Da nicht alle am Markt vorhandenen Rohrsysteme das für diese Verlegetechniken notwendige Eigenschaftsprofil aufweisen (längskraftschlüssige Verbindung, Flexibilität u. a.), scheiden einzelne Systeme für bestimmte Verfahren aus. Besteht der Wunsch, Einsparpotentiale unter Verwendung der grabenlosen Verlegetechniken zu nutzen, können deshalb nur ausgewählte Rohrsysteme eingesetzt werden.

#### 4.1 Kosteneinsparpotentiale durch die Verwendung geeigneter Rohrsysteme

Je nach Anforderung oder Anwendungsfall stehen heute dem Planer verschiedene Rohrsysteme (Kunststoff, Guss, Stahl etc.) zur Verfügung. Innerhalb dieser verschiedenen Werkstoffgruppen existiert z. T. eine größere Anzahl an Varianten, die mitunter unterschiedliche Eigenschaftsprofile aufweisen. So können z. B. aus der Gruppe der Kunststoffe Rohrsysteme aus PE längskraftschlüssig mittels Heizelementstumpfschweißung verbunden werden, während dies bei Rohrsystemen aus PVC nicht möglich ist. Entsprechend eingeschränkt sind damit die anwendbaren Verlegeverfahren sowie die erzielbaren Kosteneinsparungen (Tabelle 3).

	PE / PE-X	PVC	Guss	Stahl
<b>Ungesteuerte Erd-raketen</b>	X	X	-	-
<b>Fräsverfahren</b>	X	-	O	-
<b>Pflugverfahren</b>	X	-	O	-
<b>Horizontalspül-bohrverfahren</b>	X	-	X	X
<b>Rohrvortriebs-Rammverfahren</b>	-	-	O	X
<b>Berstlining</b>	X*	-	-	O

Tabelle 3: Geeignete Verlegeverfahren für verschiedene Rohrsysteme

X = geeignet, O = bedingt geeignet,

\* = Einsatz von Rohren mit Schutzeigenschaften empfohlen

Einen weiteren Aspekt stellt das Handling auf der Baustelle dar. Gerade metallische Rohrsysteme haben bedingt durch das höhere spezifische Gewicht Nachteile bei der Verlegung auf der Baustelle. Werden die Gewichte von Rohren DN 150 aus unterschiedlichen Werkstoffen verglichen, ergibt sich folgendes Bild:

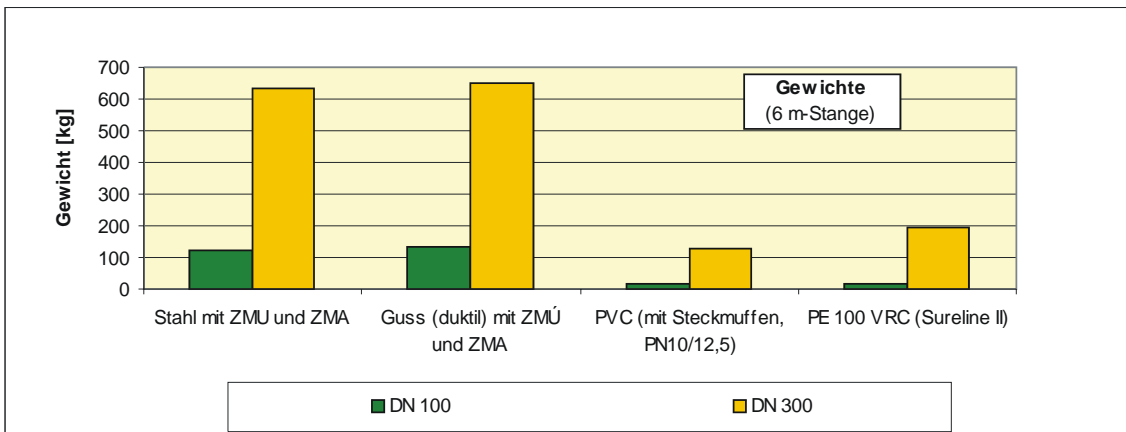


Bild 31: Übersicht verschiedener Rohrgewichte (Stahl, Guss, PVC, PE 100)

Die entstehenden Kosten für eine Schweißnahtverbindung sollten bei der Planung einer Leitung ebenfalls nicht außer Acht gelassen werden. So ist bei der Schweißung z. B. einer Stahlleitung auch die Nachisolierung der Schweißnaht zu beachten, die sich letztendlich auch in den Kosten niederschlägt. In Tabelle 4 sind empirisch ermittelte Kosten für eine Schweißnahtverbindung von Stahl und PE 100 gegenüber gestellt worden.

Dimension [mm]	Schweißnahtkosten ca. Euro/St.	
	Stahl (inkl. Isolierung)	PE 100
<b>DN 100</b>	62,50	10,60
<b>DN 150</b>	75,00	14,30
<b>DN 200</b>	92,00	28,50
<b>DN 300</b>	140,00	42,90

Tabelle 4: Durchschnittliche Schweißnahtkosten verschiedener Firmen für Stahl und PE 100 [6]

Speziell im Versorgungsbereich werden besondere Anforderungen an die Rohrsysteme hinsichtlich der Qualität gestellt. Hierbei sollen vor allem die Gesamtkosten bei gleichbleibender Qualität möglichst gering gehalten werden. Einen wichtigen Punkt bei der Auswahl des Rohrsystems spielen hierbei die Umgebungsbedingungen der zu verlegenden Rohrleitung. PE und PE-Xa haben sich in den letzten Jahren als Rohrwerkstoffe für den Versorgungsbereich bewährt. Wie bei allen polymeren Rohrsystemen kann der Planer auf einen materialinhärenten Korrosionsschutz vertrauen und deshalb auf aufwändige Maßnahmen verzichten.

#### 4.2 Kosteneinsparpotentiale durch den Einsatz alternativer Verlegeverfahren

Die altbewährte Verlegung einer Rohrleitung ist die Verlegung im offenen Graben. Hier werden die Einbaubedingungen künstlich geschaffen und somit definierte Aussagen über das Bettungsmaterial, die Bedingungen in der Leitungszone und die Belastung der Leitung möglich. Die Kosten der Tiefbauarbeiten bei dieser Verlegung hängen von der zu verlegenden Rohrleitung, der Grabentiefe und -breite sowie den örtlichen Gegebenheiten (z. B. Stadtgebiet, Straßen, Bodenverhältnisse usw.) ab.

Durch den Einsatz bestimmter Verlegeverfahren können Kostensenkungspotentiale in verschiedenen Bereichen der Verlegung erschlossen werden. Diese sollen exemplarisch anhand der alternativen Verfahren „Fräsverfahren“ und „Horizontalspülbohrverfahren“ (siehe auch Bild 32) im Vergleich zur Verlegung im „offenen Graben“ verdeutlicht werden.

	offener Graben	Fräsverfahren	Horizontalspülbohrverfahren
<b>Erdbewegungen</b>	-	X	XX
<b>Deponierung von Aushub</b>	-	X	XX
<b>Wasserhaltung</b>	-	-	XX
<b>Baustelleneinrichtung und -sicherung</b>	-	X(X)	XX
<b>Oberflächenwiederherstellung</b>	-	X	XX
<b>Zeitbedarf</b>	-	X	X

Tabelle 5: Einsparpotentiale

X: Ersparnis gegenüber der Verlegung im offenen Graben

XX: Erhebliche Ersparnis gegenüber der Verlegung im offenen Graben



Bild 32: Spülbohren mit einem PE-100-Rohr mit besonderen Schutzzeigenschaften

Durch den immer dichter werdenden Verkehrsraum, die schnelle Entwicklung der Maschinenteknik sowie die neuen Entwicklungen auf dem Rohrleitungsmarkt gewinnt die grabenlose Verlegung immer mehr an Bedeutung für den Anwender. Für beide Verfahrensvarianten ergeben sich die in der Tabelle 6 aufgeführten Argumente.

Grabenlos	Offener Graben
<ul style="list-style-type: none"> <li>– Sandeinsparung,</li> <li>– keine Wiederherstellung der Oberfläche bzw. Erdarbeiten (Verfüllung, Verdichtung) notwendig,</li> <li>– geringere Belastung durch Baustelleneinrichtung und –betrieb, Verkehrsbelastung,</li> <li>– geringere Zeit und Aufwand für Baustellensicherung,</li> <li>– schnellerer Baufortschritt,</li> <li>– Manipulationssicherheit,</li> <li>– geringerer Eingriff in die Natur,</li> <li>– keine größeren Störungen der Bodenverhältnisse im Trassenverlauf.</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>– bekannte Verhältnisse in der Rohrleitungszone,</li> <li>– visuelle Kontrolle der Rohrqualität nach Verlegung möglich,</li> <li>– genauer Verlauf der Rohrleitung bestimmbar,</li> <li>– einfachere Nacharbeit nach Entdeckung von Mängeln,</li> <li>– auch nicht kraftschlüssige Rohrsysteme verlegbar,</li> <li>– gleichzeitige Installation von Abzweigen usw. leicht möglich.</li> </ul>

Tabelle 6: Argumente für die grabenlose Verlegung und die Verlegung im offenen Graben

Nach Feststellung der Rahmenbedingungen der Baumaßnahme sowie der Bewertung der in Tabelle 6 genannten Argumente kann die Festlegung auf die anzuwendenden Verlegeverfahren erfolgen. Aus dieser Bewertung ergibt sich ein Anforderungsprofil, das anschließend mit dem unterschiedlichen Leistungsvermögen der verschiedenen Rohrsysteme verglichen werden muss.

In vielen Fällen ergeben sich durch die Anforderung seitens der Leistungsbeschreibung der Rohrleitung (Volumenstrom, Fließgeschwindigkeit, Druckbelastung usw.), der Ansprüche an die Verlegung (schneller Baufortschritt, einfaches Handling usw.) sowie betriebswirtschaftliche Vorgaben (geringe Schadensraten [9], hohe Lebensdauererwartungen [10] usw.) Vorteile für Rohrsysteme aus PE oder PE-Xa.

Die Anwendung grabenloser Verlegetechniken, z. B. Horizontalspülbohrverfahren, kann dem Versorger Kosteneinsparungen im Bereich der Sandbettung und der Erdarbeiten gegenüber der Verlegung in offener Bauweise ermöglichen. Die nachfolgende Grafik (Bild 33) zeigt die allgemeine Kostenverteilung für Material, Rohrlegung, Erdarbeiten (z. B. Sandbettung) und Oberflächen einer DN-100-Versorgungsleitung bei verschiedenen Versorgungsunternehmen auf.

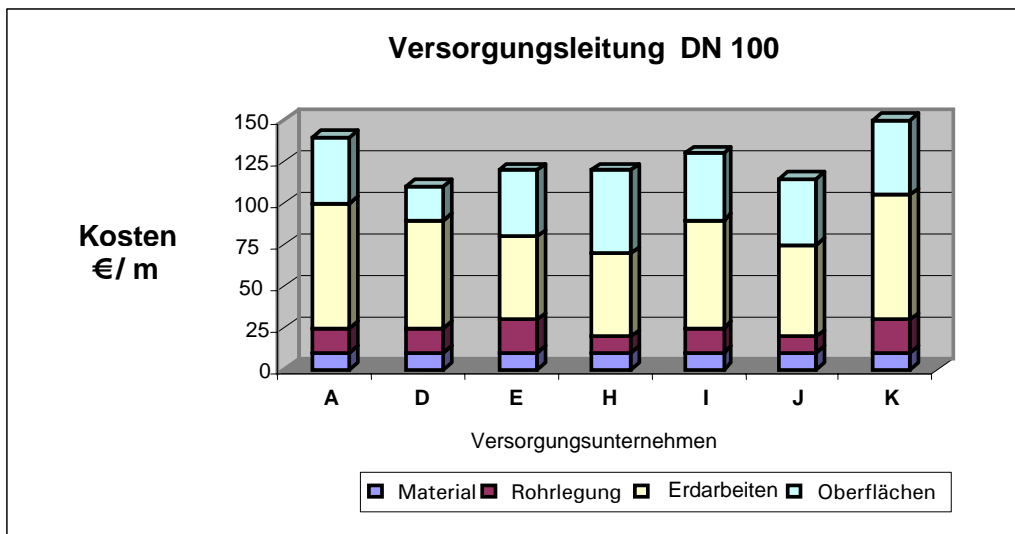


Bild 33: Kosten für die Errichtung einer Versorgungsleitung DN 100 [11]

Im Bereich der Material- und Rohrlegungskosten ist aus Versorgersicht nur ein geringer Teil der Kosten einzusparen. Das größte Einsparungspotential ist im Bereich der Erd- und Oberflächenarbeiten zu sehen.

Die Wiederverwendung des Bodenaushubs bzw. der Verzicht auf die Sandbettung erfordert Rohrsysteme, die bei den auftretenden Lasten ausreichende Sicherheitsreserven aufweisen. Die Verlegung einer Leitung ohne Sandbett kann dazu führen, dass die Oberfläche zerkratzt wird. Als maximale Eindringtiefe solcher Kratzer sind nach DVGW-Arbeitsblatt G 472 und DVS-Richtlinie 2202-1 max. 10 % der Wanddicke zulässig.

Neben den Betriebslasten wie hydrostatischer Innendruck, Druckstöße, Verkehrs- und Erdlast, können bei grabenlos verlegten Rohren zusätzliche Belastungen durch Krafteinwirkung von außen (Punktlasten – Bild 34) auftreten. Die nachfolgende Grafik verdeutlicht diese Problematik.

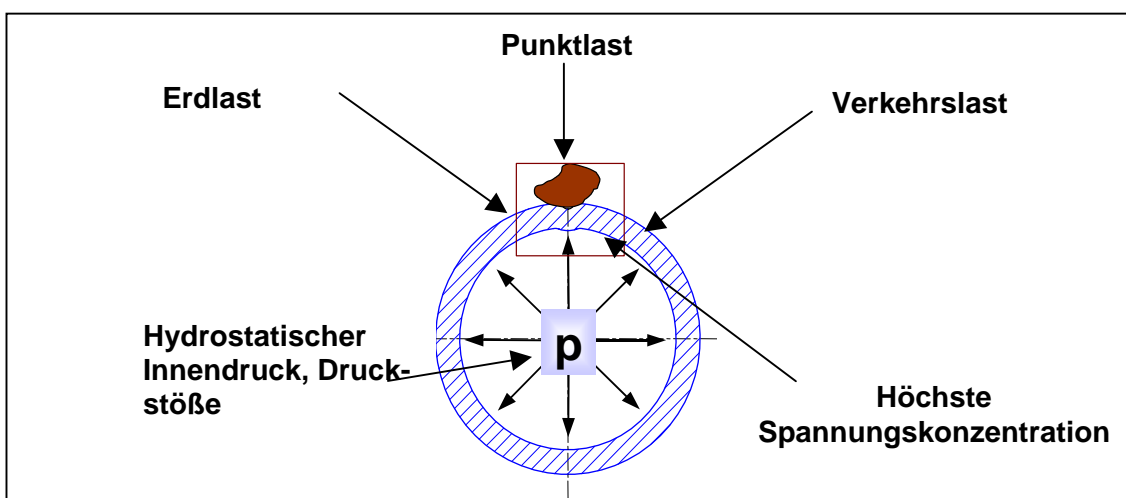


Bild 34: Darstellung einer am Rohr wirkenden Punktlast

Bei einer auf das Rohr wirkenden Punktlast konzentriert sich die Spannung an der Rohrrinnenwand. Dadurch können bei hoher Lastkonzentration und unzureichender Materialqualität Spannungsrisse entstehen, die zum vorzeitigen Versagen der Rohrleitung führen. Aus diesem Grund sollten nur Rohre, die über eine besonders gute Spannungsrissbeständigkeit verfügen (z. B. Sureline<sup>®</sup>II oder PE-Xa), in solchen Anwendungen eingesetzt werden.

Mit Hilfe praxiserprobter und qualitativ hochwertiger Rohrleitungssysteme aus Polyethylen und vernetztem Polyethylen ist es möglich, die komplexen Anforderungen, die heute bei der Verlegung mit alternativen Verlegeverfahren hinsichtlich Verlegesicherheit, Langlebigkeit und Wirtschaftlichkeit gestellt werden, zu erfüllen (siehe auch Abschnitt 2). Im Zusammenspiel mit den am Markt seit vielen Jahren angewandten Verbindungstechniken können heute Bauvorhaben unter Verwendung moderner Rohrkonstruktionen außerordentlich wirtschaftlich und sicher abgewickelt werden.

## **5. Zusammenfassung**

50 Jahre Praxiserfahrung mit immerwährender Weiterentwicklung der Werkstoffe, der Produkte und der Verbindungstechnik haben dazu geführt, dass dem Anwender Systeme aus Polyethylen zur Verfügung stehen, die bei einem Höchstmaß an Qualität, ausgezeichneter Performance, herausragenden Eigenschaften und Sicherheit vor allem unter wirtschaftlichen Gesichtspunkten von Vorteil für den Anwender sind.

Unter Einbeziehung aller Aspekte (Baustellenhandling, Verbindungstechnik, Formteilprogramm, Wirtschaftlichkeit in Bezug auf Produkt und Verlegung usw.) gibt es wohl kein anderes Rohrleitungssystem, das ein derart vorteilhaftes Eigenschaftsprofil aufweist.

Wichtig für ein schlüssiges Gesamtkonzept ist eine abgestimmte Systemtechnik, bei der alle Komponenten höchste Anforderungen erfüllen. Diese Voraussetzungen sind heute gegeben. Die herausragenden Eigenschaften der Werkstoffe, der Bauteile und jeder einzelnen Systemkomponente ermöglichen einen dauerhaften, störungsfreien Betrieb während einer realistischen Betriebsdauer von 100 Jahren.

## **6. Ausblick**

Die letzten 50 Jahre Erfolgsgeschichte werden sicher fortgeschrieben. In vielen Bereichen ist die Entwicklung auch heute noch nicht abgeschlossen. So zeigt sich in der Trinkwasserversorgung in den letzten Jahren ein immer stärker werdender Trend zum Einsatz von PE auch bei großen Nennweiten (Bild 35 und Bild 36). Dieser wird noch verstärkt durch die Möglichkeit, immer größere Wanddicken im Extrusions- oder Spritzgussverfahren herzustellen. Dadurch können auch für Nennweiten, die bisher den metallischen Werkstoffen vorbehalten waren, druckklassengerechte Rohrsysteme aus PE angeboten werden.

Die heute noch bei PE-Rohren vorhandene Einschränkung für den Einsatz unter sehr hohen Betriebsdrücken hat und wird weiterhin viele Entwicklungen, wie z. B. Rohre mit faserverstärkten tragenden Zusatzschichten, indizieren. Es kann davon ausgegangen werden, dass dadurch eine weitere Substitution von metallischen Werkstoffen stattfin-

den wird und die derzeit in der Praxis auftretenden Probleme durch den Einsatz von PE eliminiert werden.



Bild 35: PE-100-Trinkwasserrohr d 710



Bild 36: PE-100-Trinkwasserrohr d 1400

Diese und viele andere Entwicklungen, die noch zu erwarten sind, werden immer auch neue Produkte (z. B. für die Verbindungstechnik) zur Folge haben, die auch in Zukunft aus einem einfachen Rohr ein System werden lassen.

Polyethylen, ob vernetzt oder unernetzt, ist der Werkstoff der Zukunft – nicht zuletzt wegen der heute schon als selbstverständlich angesehenen Eigenschaften wie Recyclbarkeit und der günstigen Energiebilanz, sondern auch wegen der möglichen extrem hohen Einsatzdauer von über 100 Jahren.

## 7. Literatur

- [1] Lecht, R. und Schulte U.: Was nützt der FNCT dem Praktiker?, Sonderdruck aus der Zeitschrift Kunststoffe 10/97
- [2] Frank, T.: Der Rohrwerkstoff PE 100, 1999
- [3] DVGW Information Nr. 17 Einsatz von PE 80, PE 100 und PE-Xa in der Gas- und Wasserverteilung, 2003
- [4] Frank, T.: Erfahrungen mit der Bauteilrückverfolgbarkeit aus Sicht der Rohr- und Formteilhersteller. Wiesbadener Kunststoffrohrtage 2001
- [5] Brömstrup (Hrsg.): Rohrsysteme aus PE 100, 2. Auflage, 2004
- [6] Barnstein, N.: PE-Rohre mit besonderen Schutzeigenschaften, 3R International 5 (2005), S. 272 ff
- [7] Fleckner, H.: Abstandsregelung – Mindestabstände-Verlegetiefen und ihre wirtschaftlichen Folgen, Bregenzer Rohrleitungstage 1996 mit Fachausstellung
- [8] Bayerisches Staatsministerium für Landesentwicklung und Umweltfragen; Pressemitteilung Nr. 750/96 vom 11.09.1996
- [9] Girsberger, W.: Rohrbruchschäden, Bregenzer Rohrleitungstage 2001
- [10] Schulte, U.: 100 Jahre Lebensdauer-Langzeitfestigkeit von Druckrohren aus bimodalem PE-HD nach ISO TR 9080 bestätigt, Kunststoffe 87 (1997) Nr. 2
- [11] DVGW Wasser-Information Nr. 58, 09/1999
- [12] Hessel, J.: 50 Jahre Rohre aus Polyethylen, 3 R International (45), Heft 3-4/2006, S. 128 ff