

Korrosionsschutz von Betonrohren durch noppenbesetzte PEHD-Inliner

Dipl.-Ing. T. Frank, Mörfelden

Korrosionsschutz von Betonrohren durch noppenbesetzte PEHD-Inliner

1 Einleitung

Weltweit sind Rohrleitungen durch Alterung und Korrosion gefährdet. Undichte Muffen, Risse und dergleichen bedeuten eine Gefahr für die Umwelt und erfordern eine dringende Sanierung oder Erneuerung der Rohrleitung. Milliarden Kubikmeter teils hochbelasteter Abwässer exfiltrieren jährlich in das Grundwasser. Die derzeit bekannten Sanierungsverfahren bieten entweder nur eine vorübergehende Lösung oder sind sehr kostenintensiv und müssen sich deshalb auch in technischer Hinsicht mit einer vollständigen Erneuerung vergleichen lassen. Sinnvoller als eine aufwendige Sanierung ist daher von vornherein eine Erhöhung der zu erwartenden Lebensdauer durch geeignete Maßnahmen. Bei Betonrohren, die für Freispiegelleitungen großer Nennweiten häufig eingesetzt werden, haben sich aus diesen Gründen Kunststoffauskleidungen einen bemerkenswerten Marktanteil gesichert. Bei – im Verhältnis zur gesamten Baumaßnahme – nur geringen Mehrkosten können durch diese Auskleidungen Kanalsysteme geschaffen werden, deren Lebenserwartung zum Teil um ein Vielfaches verbessert wird.

Der Einsatz von thermoplastischen Linern für die Auskleidung von Betonrohren, die als Abwassersammler oder Stauraumkanal dienen, kann heute als Stand der Technik angesehen werden. Bewährt haben sich dabei Systeme, die lediglich die Funktionen chemische Beständigkeit, Verringerung des Abflußwiderstandes und Abrasionsbeständigkeit übernehmen. Die statische Tragfähigkeit wird also weiterhin alleine durch das Betonrohr gewährleistet. Die Verbindung zwischen Inliner und Beton wird dabei über am Inliner angebrachte Noppen oder Stege gewährleistet.

Die ersten Auskleidungen von Betonrohren wurden bereits Anfang der 80er Jahre (damals mit Inlinern aus PVC) durchgeführt. Viele dieser Auskleidungen wurden nicht als Vollauskleidung, sondern als Teilauskleidung – entweder im Solbereich (häufig bei Eiprofilen zur Verbesserung des Trockenwetterabflusses) oder im Scheitelbereich – als Korrosionsschutz ausgeführt. Aufgrund der immer höher werdenden Anforderungen sind heute 360°-Auskleidungen von Betonrohren auch bei Sonderformen (z.B. Ei- oder Drachenprofil) Stand der Technik. Dabei werden zu Ringen verschweißte Betonschutzplatten auf den Schalkern aufgezogen und durch den Betoniervorgang mit dem Beton verbunden.

Das umweltfreundliche Auskleidungsmaterial Polyethylen (PE-HD) besitzt eine hohe chemische und mechanische Beständigkeit sowie hervorragende hydraulische Eigenschaften. Bei einer vollständigen Auskleidung werden die im Betonwerk eingebrachten Inliner bauseits im Extrusionsschweißverfahren nach DVS 2225 Teil 1 verschweißt. Zusätzliche Dichtungselemente sind aufgrund der verschweißten Muffenverbindungen nicht notwendig.

2 Der Werkstoff PE-HD

Die heute gebräuchlichen Inliner werden aus dem Werkstoff Polyethylen (PE-HD) hergestellt. PE-HD ist ein in seiner chemischen Grundstruktur einfach aufgebauter Werkstoff mit einem spezifischen Gewicht von 0,93 bis 0,96 g/cm³, der den Wachsen und Paraffinen anverwandt ist. Er wurde bereits 1933 entwickelt, kam aber erst Mitte der fünfziger Jahre mit der Herstellung im Niederdruckverfahren (Ziegler) in die großtechnische An-

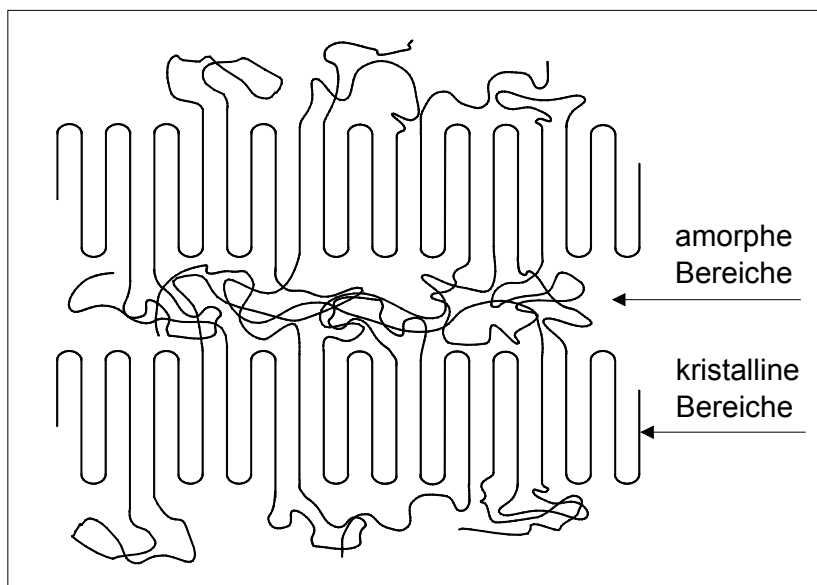
wendung. Seit dieser Zeit wurde dieser thermoplastische Kunststoff stetig weiterentwickelt, um vor allem mit verbesserten mechanischen Eigenschaften neue Perspektiven zu eröffnen.

Mit dem Einsatz des Werkstoffes auf technisch anspruchsvollen Gebieten – wie zum Beispiel dem Rohrleitungsbau – wurden auch die ersten Normen und Richtlinien erarbeitet. Als erste Norm ist die DIN 8075 (1960) veröffentlicht worden. Ebenfalls aus Deutschland stammen die ersten Arbeiten über die Verschweißung von PE-HD (Deutscher Verein für Schweißtechnik), welche Grundlage für die heute weltweit anerkannten DVS-Richtlinien waren. Diese Richtlinien wurden von den meisten europäischen Ländern ganz oder teilweise übernommen und unterliegen einer ständigen Überarbeitung. Die Verschweißung von Betonschutzplatten aus PE-HD ist ein Anwendungsgebiet, für das derzeit vom DVS eine solche Richtlinie erarbeitet wird (DVS 2225 Teil 5).

Aufgrund seiner vielfältigen Einsatzmöglichkeiten erfreut sich PE-HD einer stetig wachsenden Nachfrage. Als Auskleidungsmaterial ist es heute nicht mehr wegzudenken.

2.1 Aufbau und Struktur von PE-HD

PE-HD wird durch Polymerisation von Ethylen hergestellt, d.h., es werden viele kleine Moleküle gleicher oder ähnlicher Bauart zu einem Makromolekül zusammengefügt. Polyethylen hoher Dichte ist ein teilkristalliner Thermoplast, der sich aus Kohlenstoff- und Wasserstoffatomen zusammensetzt. Im Material liegen ohne erkennbare Regelmäßigkeit kristalline und amorphe Bereiche vor (Figur 1). Die amorphen Zonen des Materials geben den teilkristallinen Thermoplasten das zähelastische Verhalten. Das Gefüge von unpolaren, teilkristallinen Thermoplasten besitzt einen unterschiedlichen Verzweigungsgrad und eine davon abhängige Kristallinität von 60 % bis 80 % bei PE-HD.



Figur 1: Molekularstruktur von PE-HD

2.2 Materialeigenschaften von PE-HD

Die wesentlichen Vorteile von PE-HD gegenüber vielen anderen Werkstoffen sind:

- einfache Verschweißbarkeit,
- hervorragende chemische Beständigkeit,
- hoher Abrasionswiderstand,
- Flexibilität des Materials,
- hohe Schlagzähigkeit auch bei tiefen Temperaturen,
- physiologische Unbedenklichkeit,
- Umweltfreundlichkeit des Materials.

Der Werkstoff PE-HD ist heute in vielen Variationen für die unterschiedlichen Anwendungsfälle erhältlich. Die wesentlichen Unterscheidungsmerkmale sind die Dichte der Formmasse (hohe Dichte bedeutet in der Regel höhere Kristallinität und somit höherer Elastizitätsmodul sowie geringere Flexibilität) und der Schmelzindex (MFR oder Melt Flow Rate) nach ISO 1133 (DIN 53735), der Rückschlüsse auf die Verschweißbarkeit des Werkstoffes zuläßt. Dabei bedeutet ein höherer MFR eine geringere Schmelzviskosität, also problemlosere Verarbeitung.

Die verschiedenen mechanischen Werkstoffeigenschaften lassen sich normalerweise von diesen Kriterien ableiten und sind in der nachfolgenden Tabelle kurz zusammengefaßt.

Eigenschaft	Prüfnorm	Einheit	Wert		
			schwarz	weiß	gelb
Dichte*	DIN 53479	g/cm ³	0,942	0,933	0,933
MFR 190/2,16*	ISO 1133	g/10min	0,5	0,5	0,5
Streckspannung*	DIN 53455	N/mm ²	18	18	18
Streckdehnung*	DIN 53455	%	12	12	12
Reißspannung*	DIN 53455	N/mm ²	30	30	30
Reißdehnung*	DIN 53455	%	> 700	> 700	> 700
Kerbschlagzähigkeit nach Charpy / -50 °C	ISO 179 Prüfstab 2	kJ/m ²	ohne Bruch	ohne Bruch	ohne Bruch
E-Modul*	DIN 53455	N/mm ²	~ 650	~ 650	~ 650
Ruß/Farbanteil	-	%	2,0	1,0	1,0
Längenausdehnungs- koeffizient*	DIN 53752	1/°K 10 ⁻³	0,16	0,16	0,16
UV-Beständigkeit	-	-	beständ.	bed.best.* *	bed.best.* *
Auszugsfestigkeit aus dem Beton***	DIBt- Richtlinie "BPG-KDBs"	t/m ²	> 30	> 30	> 30
Scherfestigkeit***	"	N/Noppe	> 1800	> 1800	1800
Festigkeit gegenüber Außendruck***	"	bar	> 2,5	> 2,5	> 2,5

* gemessen an der Formmasse

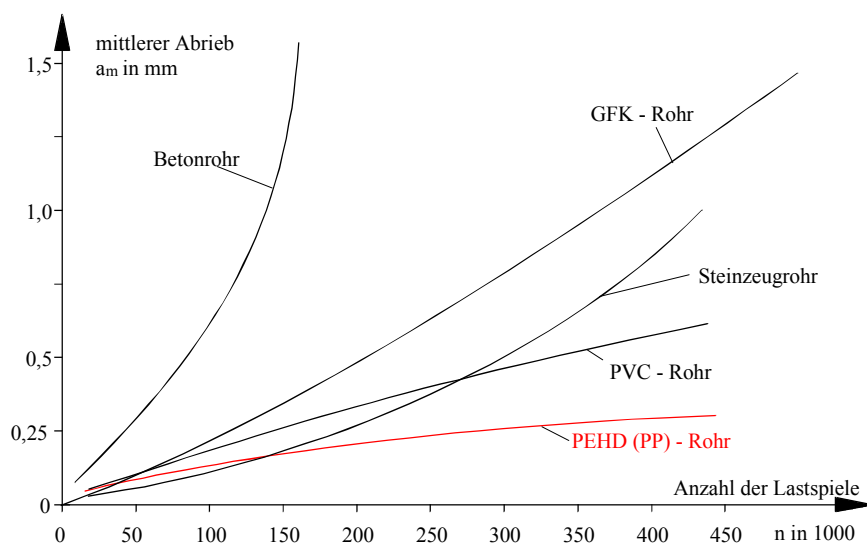
** UV-Beständigkeit muß über zusätzlichen Stabilisator eingestellt werden

*** gemessen an der Betonschutzplatte

Tabelle 1: Physikalische Eigenschaften von PE-HD am Beispiel einer gebräuchlichen Formmasse (Vestolen A 3512)

Die Inliner für Auskleidungsmaßnahmen werden normalerweise aus PE-HD der MFR-Gruppe 010 (früher auch PE-MD) hergestellt. Bei großen Rohrdurchmessern sind auch steifere PE-HD-Formmassen oder wahlweise Polypropylen Typ 3 (PP-R) als Werkstoff einsetzbar. Aufgrund der hervorragenden Verarbeitbarkeit haben sich in der Praxis aber die Rohstoffe mit geringerer Schmelzviskosität durchgesetzt (MFR 010). Die Inliner werden in der Regel mit einer Wanddicke von 5 mm ausgeführt, dadurch wird eine bei zu geringen Wanddicken mögliche Beulenbildung des Liners infolge Ausdehnung während des Betoniervorgangs vermieden.

Einer der wesentlichen Vorteile von Polyethylen ist – wie bereits erwähnt – seine extreme Abriebfestigkeit (Figur 2), wodurch die Lebensdauer der Rohrleitung entscheidend verlängert und die Bildung von Ablagerungen stark reduziert wird. Die erhöhte Lebensdauer hat dabei gleichzeitig eine Reduktion der Reinvestitionskosten zur Folge.



Figur 2: Abriebverhalten von PE-HD (nach dem "Darmstädter Verfahren") im Vergleich zu anderen Werkstoffen

Durch die verringerte Bildung von Ablagerungen sinkt die Anzahl der notwendigen Wartungsintervalle (Reinigen des Kanals), was eine Minderung der laufenden Betriebskosten bedeutet.

Die im Rahmen der Wartung erforderlichen TV-Inspektionen erfordern für das Auskleidungsmaterial eine möglichst helle Farbgebung, damit eventuelle Fehler und Beschädigungen am Inliner leicht lokalisiert werden können. Aus diesem Grund werden die Inliner standardmäßig in einer hellen Farbe (üblicherweise Weiß oder Gelb) hergestellt.

Verantwortungsbewusste Produzenten fertigen die zum Herstellen der Inliner benötigten Ankerplatten und Profile aus sortenreinen Formmassen. Die einwandfreie Qualität dieser Vorprodukte wird dabei durch ständige Fremd- und Eigenüberwachung sichergestellt und kann mit Abnahmeprüfzeugnissen gemäß DIN 50049 bzw. EN 10204 3.1 B dokumentiert werden. Im Rahmen dieser Eigenüberwachung werden nicht nur die in Tabelle 1 angegebenen mechanischen Kennwerte untersucht, sondern auch optische Eigenschaften wie die Beschriftung, die Farbgebung, die Oberfläche, die Etikettierung und das Verhalten nach Warmlagerung.

3 Betonschutzplatten – Produkt und Eigenschaftsprofil

3.1 Der Inliner

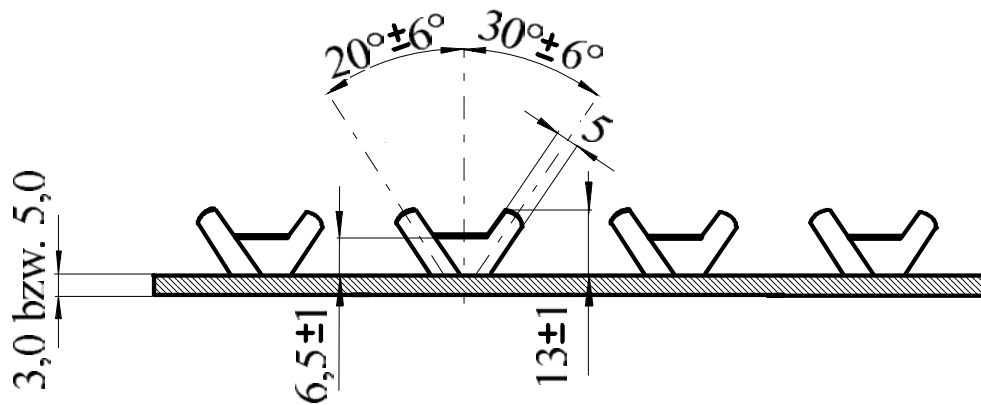
Für die Herstellung der Noppenplatten wurden im Laufe der letzten Jahre verschiedene Produktionsverfahren entwickelt. Bei den ersten Produkten wurden die Befestigungselemente mit unterschiedlichen Verfahren an die Grundplatte geschweißt. Heute haben sich jedoch Herstellungsmethoden durchgesetzt, bei denen die Ankernoppen homogen aus dem Grundmaterial geformt werden, d.h., zwischen Befestigungselement und Auskleidung findet keine zusätzliche Verschweißung statt.

Die in verschiedenen Abmessungen herstellbaren Noppenplatten werden zum Inliner vorkonfektioniert. Der Verschweißung der Inliner im Produktionsbetrieb zum vorgefertigten Schlauch und den Verbindungsstellen auf der Baustelle kommt dabei besondere Bedeutung zu, da von der Qualität der Schweißnähte die Dichtheit und die dauerhafte Funktionsfähigkeit der Auskleidung abhängig ist. Die Verschweißung zum schlauchförmigen Inliner erfolgt bei den Plattenherstellern oder von ihnen zertifizierten Fachbetrieben mittels Heizelementstumpfschweißung nach DVS 2207 Teil 1 (Bild 1). Dabei werden sämtliche Schweißparameter automatisch erfaßt und protokolliert. Nur durch diese Maßnahmen und einen kontrollierten sowie reproduzierbaren Verfahrensablauf ist es möglich, den Liner exakt auf den erforderlichen Rohrdurchmesser abzustimmen. Der vorgefertigte Inliner wird beim Betonrohrhersteller vor dem Betoniervorgang über den Schalkern gezogen (Bild 2).

3.2 Die Befestigungselemente

Die Verbindung zwischen den PE-HD- Inlinern und den Betonrohren kann über Noppen oder Stege (bei Stegen ist eine Kraftübertragung nur in einer Richtung möglich), die sich im Beton verankern, sichergestellt werden. Die entweder im Extrusionsprozeß ausgeformten oder nachträglich angeschweißten Befestigungselemente verankern sich dabei über konstruktive Hinterschneidungen im Beton (Figur 3). Wichtig für eine dauerhafte Verbindung zwischen Auskleidungsmaterial und Beton ist dabei die Anzahl der Befestigungselemente und deren Höhe.

Neben den standardmäßigen produktionsbegleitenden Prüfungen am Halbzeug (Platte) wird seitens der Hersteller auch die Verbindung zwischen Auskleidung und Beton überprüft. Die Prüfergebnisse werden in gesonderten Prüfzeugnissen erfaßt, die dem Kunden jederzeit zur Verfügung gestellt werden können.



Figur 3: Inliner mit homogen, aus Grundmaterial ausgeformten Ankernoppen

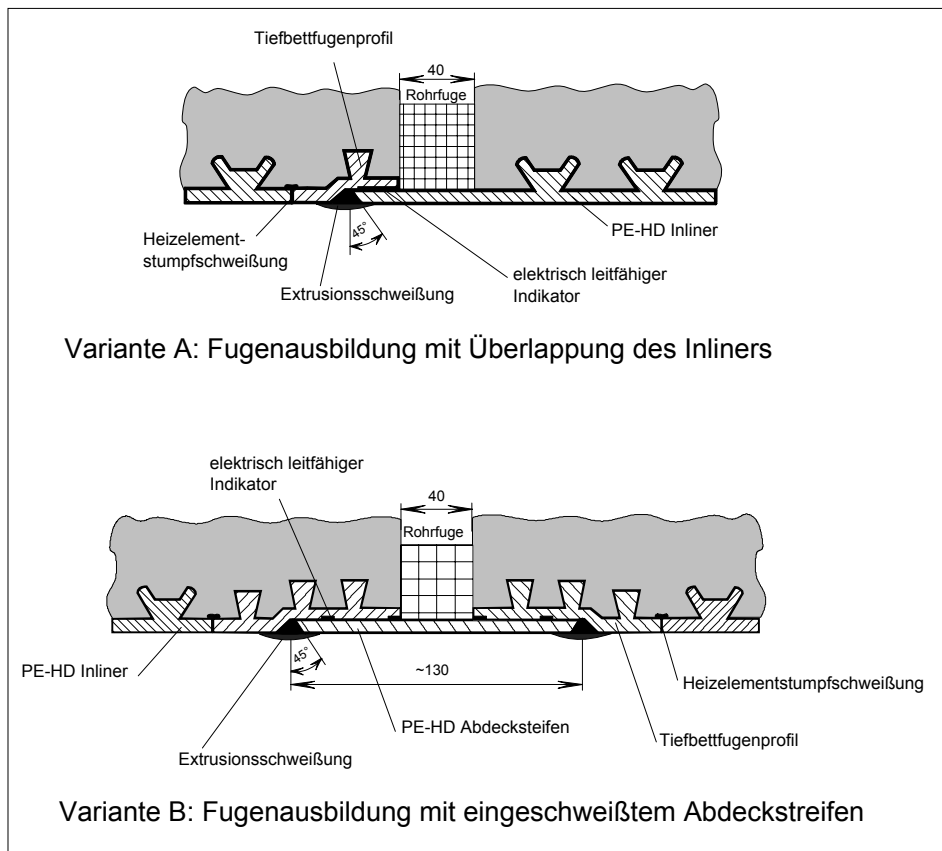
Die in Figur 3 dargestellten Befestigungselemente zeigen aufgrund der Noppenanordnung und deren extrem hohen Auszugs- (bis zu 900 N/Noppe) und Scherfestigkeit (1800 N/Noppe) eine hervorragende Verankerung im Beton.

4 Die Fugenausbildung

Die Tatsache, daß bei Freispiegelleitungen Absätze oder Versprünge in der Rohrwand unerwünscht sind, hat zur Folge, daß bei der Verschweißung der einzelnen Rohrstöße Sonderlösungen entwickelt wurden, mit denen glattflächige Auskleidungen hergestellt werden können. Die am häufigsten angewandte Verbindungstechnik ist das sogenannte Tiefbettfugenprofil, bei dem entweder durch eine Überlappung des Inliners (Variante A) oder das nachträgliche Einbringen eines Abdeckstreifens (Variante B) eine Warmgasextrusionsschweißung gemäß DVS 2225 Teil 1 ermöglicht wird.

Vorteil der Variante A ist, daß lediglich eine Schweißnaht benötigt wird. Nachteilig ist jedoch, daß Versprünge aufgrund der Verlegung und unterschiedliche Fugenbreiten (z.B. bei Verlegung der Rohre in Kurvenradien) nicht problemlos ausgeglichen werden können.

Beim Transport und Händling derartig ausgekleideter Rohre muß zudem mit besonderer Sorgfalt gearbeitet werden. Deshalb hat sich die Variante B gerade bei Vortriebsrohren durchgesetzt.



Figur 4: Fugenausbildung mit angeschweißtem Tiefbettprofil

4.1 Verschweißung der Stoßfugen

Die Verschweißung der Stoßfugen erfolgt nach DVS 2225 Teil 1 mit Auftragnähten, die mit einer Schweißwulstüberhöhung von 2 bis 3 mm ausgeführt werden. Für das Schweißen sind ausschließlich nach DVS 2212 Teil 2 (Warmgasextrusionsschweißen) ausgebildete und geprüfte Kunststoffschweißer zugelassen.

Für eine optimale Verschweißung ist es notwendig, daß die Verbindungsflächen trocken, frei von Verunreinigungen und Oxidschichten sind. Deshalb wird unmittelbar vor dem eigentlichen Verschweißen der Schweißbereich gesäubert, durch Luftsauerstoff oxidierte Flächen werden spanabhebend bearbeitet, feuchte Oberflächen getrocknet und ausschließlich trocken gelagerter Schweißdraht eingesetzt. Die Umgebungsbedingungen und der Zustand der zu verschweißenden Platten beeinflussen wesentlich die Nahtqualität. Deshalb kann die Verschweißung nur bei Plattentemperaturen von mindestens 5 °C und einer relativen Luftfeuchtigkeit < 80 % ausgeführt werden. Beim Verschweißen großer Rohrstränge bedeutet dies in der Regel, daß die Rohrleitung zu belüften ist.

Nachdem die Fügeflächen für die Verschweißung vorbereitet sind, werden die zu verschweißenden Platten mittels Warmgasziehschweißen nach DVS 2207 Teil 3 zueinander

fixiert. Die dauerhafte Verschweißung erfolgt dann durch das Warmgasextrusionsschweißen, bei dem die Fügeflächen durch Warmgas (Luft) erwärmt und in einen plastischen Zustand überführt werden. Geschweißt wird durch die Aufbringung eines Schweißzusatzes (in der Regel Draht), der aus artgleichem Grundmaterial besteht, in einem Extruder plastifiziert und als endloser Strang über den Schweißschuh in die Schweißfuge eingebracht wird. Der Schweißschuh bringt dabei den notwendigen Fügedruck über den Schweißzusatz auf.

Durch die Wahl eines nicht eingefärbten transluzenten Schweißzusatzes besteht die Möglichkeit, die Naht nicht nur äußerlich, sondern auch bis in den Bereich der Fügeflächen nachträglich optisch zu beurteilen.

4.2 Geräte für das Verschweißen der Stoßfugen

Die Warmgasschweißgeräte, die für die Inlinerverschweißung eingesetzt werden, arbeiten nach der kontinuierlichen Verfahrensvariante gemäß DVS 2209 Teil 1. In der Praxis werden aufgrund der hohen Anforderungen, die an die Nahtqualität gestellt werden, nur Geräte mit digitaler Regelung von Warmluft- und Massetemperatur eingesetzt. Damit eine gleichbleibend hohe Nahtqualität sichergestellt werden kann, wird besonders bei großen Rohrdurchmessern mit Hilfsvorrichtungen geschweißt. Diese Hilfsvorrichtungen bestehen aus einem Antriebssystem (elektrisch) zum Vortrieb des Schweißgerätes, einer Führungseinheit, die das Schweißgerät im vorgegebenen Winkel zentrisch zur Nahtfuge führt, und einer Andrückeinheit (pneumatisch), die den notwendigen Schweißdruck aufbringt (Bild 3).

In Verbindung mit einem digital regelbaren Schweißextruder bieten die neuesten Entwicklungen dieser Schweißautomaten die Möglichkeit, sämtliche für die Verschweißung relevanten Parameter wie Temperatur, Druck und Schweißgeschwindigkeit zu erfassen und in einem transportablen Speichermedium abzulegen (Bild 4). Von dort können die Daten anschließend direkt zur Dokumentation ausgedruckt oder zur grafischen Aufbereitung an einen Personalcomputer weitergeleitet werden. Diese Protokolle enthalten neben den Schweißparametern alle zur Rückverfolgbarkeit notwendigen Informationen, wie zum Beispiel die Nummer der Schweißnaht und der Name des Schweißers.

4.3 Verschweißung der Injektionsstutzen

In vielen Fällen werden die ausgekleideten Stahlbetonrohre im Vortriebsverfahren verlegt. Dazu wird bei einem Teil der Rohre ein Gleitmittel durch die Rohrwand in den Untergrund gepreßt. Für diese Verpressung müssen auf der Rohrinnenseite Injektionsstutzen angebracht, d.h. die Auskleidung unterbrochen werden. Diese Löcher sind nach Beendigung der Vortriebsarbeiten wieder zu verschließen. Dazu werden entweder PE-HD-Scheiben durch Warmgasextrusionsschweißungen angebracht oder (rationeller) mechanisch vorgefertigte Deckel mit speziell für diesen Anwendungsfall entwickelten Schweißgeräten im Heizelementstumpfschweißverfahren nach DVS 2207 Teil 1 angeschweißt.

5 Prüfung der Baustellennähte

Grundlage für eine funktionsfähige Auskleidung ist die Dichtheit der Verbindungsnahte. Um dies zu gewährleisten, werden alle Nähte durchgehend auf äußere Beschaffenheit und Dichtheit geprüft. Zusätzlich erfolgt eine Überprüfung der Nahtabmessungen und der Festigkeit an unter Baustellenbedingungen angefertigten Probeschweißungen. Die Prüfung der Baustellennähte erfolgt nach der DVS Richtlinie 2225 Teil 2. Sämtliche Ergebnisse werden in Prüfprotokollen schriftlich festgehalten.

Die Dichtheitsprüfungen werden in der Regel mit elektrischer Hochspannung durchgeführt. Dieses Prüfverfahren beruht auf dem Prinzip der Gasentladung beim Anlegen einer Hochspannung an eine Entladungsstrecke. Die Prüfeinrichtung besteht aus einer Spannungsquelle und einer Bürstenelektrode, die mit ca. 2 bis 3 m/min über die Naht geführt wird. Um im Falle einer Undichtheit einen Funkenüberschlag zu gewährleisten, werden die Verbindungsprofile mit einem elektrisch leitfähigen Indikator als Gegenelektrode ausgeführt (Figur 4).

Zusätzlich zur Hochspannungsprüfung kann eine Prüfung mit Vakuum durchgeführt werden. Bei dieser Prüfmethode wird eine Prüfglocke, die mit einer Vakuumpumpe verbunden ist, auf die zu prüfende Stelle gesetzt (zum Beispiel verschlossene Injektionsstutzen) und ein Unterdruck erzeugt. Durch das Aufbringen einer blasenbildenden Flüssigkeit werden Undichtheiten leicht sichtbar. Zusätzlich muß der Prüfdruck über einen vorgegebenen Zeitraum konstant bleiben, damit ein positives Prüfergebnis bescheinigt wird.

6 Anbindung an Schächte und Seitenzuläufe

In der Regel werden bei derartigen Bauvorhaben die Schächte auch mit Betonschutzplatten aus PE-HD ausgekleidet. Die Anbindung der Rohre erfolgt dann analog zu Abschnitt 4.1 mit einer Extrusionsschweißung. Es gibt jedoch Sonderfälle, bei denen dies nur unter erheblichem Aufwand möglich ist (z.B. gemauerte Schächte). In diesen Fällen und auch bei der Anbindung von Seitenzuläufen aus artfremden Werkstoffen können die PE-HD-Platten rückseitig mit eingearbeitetem Gewebe (zum Beispiel aus Polyamid) hergestellt werden. Über dieses Gewebe besteht dann die Möglichkeit, mit handelsüblichen Klebstoffen eine extrem belastbare Verbindung zwischen der PE-HD-Auskleidung und dem anzuschließenden Werkstoff herzustellen.

7 Einsatz bei anstehendem Grundwasserdruck

Bei den meisten Anwendungen muß nur mit zeitweise auftretenden geringen Grundwasserüberdrücken gerechnet werden. Selbst bei einem Versagen der Rohrfugendichtung ist dann der Inliner in der Lage, diesem Druck standzuhalten. In einigen Einsatzfällen jedoch (z.B. Dükerleitungen) muß bei einem Versagen der Rohrdichtung mit dauerhaften Beanspruchungen von außen gerechnet werden. Bei solchen Baumaßnahmen hat sich das Anbringen von Entlastungsbohrungen im Solbereich des Inliners bewährt. Durch die dann entstehende Druckdifferenz zwischen Umgebung und Rohrinneenseite wird selbst bei einem Versagen der Rohrdichtungen eine Verschmutzung des anstehenden Bodens vermieden, da im Schadensfall Grundwasser von außen in das Rohr eindringt.

8 Anwendungsgrenzen

Bei großen Nennweiten und Sonderprofilen wurden PE-HD-Inliner schon häufig mit Erfolg eingebaut. Die Grenzen für dieses Verfahren liegen vorwiegend im Bereich kleiner Rohrdimensionen (nicht begehbare Bereich), da zur fachgerechten Verschweißung der Stoßfugen und der anschließenden Prüfung ausgebildetes Personal an der Schweißnaht tätig sein muß. Sofern eine Verschweißung der Rohrstöße nicht notwendig ist (der Inliner wird z.B. nur zur Verbesserung der Abflußleistung vorgesehen), können auch nicht begehbare Betonrohre mit PE-HD-Auskleidungen vorgesehen werden. In der Regel empfiehlt sich bei Nennweiten bis DN 1000 aus technischen und Kostengründen der Einsatz von extrudierten oder im Wickelverfahren hergestellten Rohren aus PE-HD.

9 Literaturverzeichnis

- [1] Meldt, R.: Feststofftransporte in Kunststoff-Rohrleitungen, Frankfurt/ Hoechst (1978)
- [2] DVS-Taschenbuch Fügen von Kunststoffen 1997, Teil 1 Apparatebau
- [3] Domininghaus, H.: Die Kunststoffe und ihre Eigenschaften, VDI Verlag GmbH (1992)
- [4] Untersuchungen des L.R.E.P. (Laboratoire Régional de l'Est Parisien) Frankreich
- [5] Hüls AG: Dichtungsbahnen VESTOLEN A 3512 R schwarz (1989)
- [6] Frank GmbH: Katalog Kunststoff-Rohrsysteme (1995)
- [7] AGRU Alois Gruber GmbH: SURE GRIP® Lining, Auskleidung für Neurohre, Spezifikation und technische Information (1995)