

# Elektrisch leitfähige Kunststoffrohrleitungen für den Einsatz in explosionsgefährdeten Bereichen

## Electrically conductive plastic pipelines for utilisation in explosion hazard areas

Dipl.-Ing. Torben Knöß, Frank GmbH, Mörfelden-Walldorf

### Zusammenfassung

Für die in explosionsgefährdeten Bereichen eingesetzten Rohrleitungen gibt es festgelegte Vorgaben an die elektrischen Eigenschaften der Werkstoffe. Durch Beigabe von Ruß modifizierte elektrisch leitfähige Kunststoff-Formmassen erfüllen diese Anforderungen. Basis für diese Werkstoffe sind standardisierte PE- und PP-Typen, wie sie in großem Umfang im Kunststoff-Rohrleitungsbau eingesetzt werden. Damit ist gewährleistet, dass die von den Polyolefinen bekannten Vorteile wie die chemische Widerstandsfähigkeit sowie die einfache Verarbeitung und Verlegung in diesen Anwendungen zum tragen kommen können. Dennoch sollten ein paar wichtige Punkte bei der Planung und Ausführung von solchen Rohrssystemen berücksichtigt werden, damit die Vorzüge bei deren Einsatz in explosionsgefährdeten Bereichen gegenüber den metallischen Werkstoffen voll ausgeschöpft werden können.

### 1. Einleitung

An moderne Industrieanlagen werden seit Jahren extreme Anforderungen an Sicherheit und Schutz für Mensch und Umwelt gestellt. Durch ständig neue Prozesse und Verfahren kommen dabei immer weiterentwickelte Werkstoffe zum Einsatz. Aus diesem Grund ist seit Jahren ein Anstieg bei der Verwendung von Kunststoffen im Rohrleitungsbau zu verzeichnen, da diese metallischen Werkstoffe in vielen Anwendungen substituieren können. Im Anlagenbau gibt es jedoch Bereiche in denen neben den üblichen Anforderungen wie chemische Widerstandsfähigkeit, Druckbeständigkeit und einfache Verlegungsmöglichkeiten weitere zusätzliche Kriterien erfüllt werden müssen. Dazu gehören auch die explosionsgefährdeten Bereiche, da dort nur Werkstoffe eingesetzt werden dürfen, die die Auflagen der elektrischen Leitfähigkeit erfüllen. Diese Anforderungen konnten von den im Kunststoffrohrleitungsbau standardmäßig eingesetzten Kunststoffen nicht erfüllt werden und demzufolge durften sie auch nicht in explosionsgefährdeten Bereichen eingesetzt werden. Für diesen Einsatzzweck wurden durch die Kombination von anorganischer und organischer



Dipl.-Ing. Torben Knöß  
Profil: [www.fuegen-von-kunststoffen.de/?id=202545](http://www.fuegen-von-kunststoffen.de/?id=202545)  
profile: [www.joining-plastics.info/?id=202545](http://www.joining-plastics.info/?id=202545)  
t.knoess@frank-gmbh.de

Chemie Kunststoffe entwickelt, welche elektrische Ladungen abführen können. Seit den 90-er-Jahren gibt es die Möglichkeit, metallische Rohrleitungen auch in explosionsgefährdeten Bereichen mittels elektrisch leitfähiger Kunststoffe kostengünstig zu ersetzen.

Obwohl sich elektrisch leitfähige Kunststoffe seit etwa 15 Jahren im Anlagenbau bewährt haben, gibt es auch heutzutage noch viele Planer und Anlagenbetreiber die diese Werkstoffe nicht kennen oder Vorurteile und Bedenken bei deren Einsatz haben. Dabei können diese modifizierten Formmassen ebenfalls die Vorteile der Standardkunststoffe wie chemische Widerstandsfähigkeit und einfache Verarbeitung bieten und so eine kostengünstige Alternative darstellen. Der nachfolgende Beitrag soll einen Überblick über die Eigenschaften und Besonderheiten, sowie den Vorteilen beim Einsatz der elektrisch leitfähigen Kunststoffe zeigen.

### Summary

For the pipelines utilised in explosion hazard areas, there are stipulated specifications for the electric properties of the materials. These requirements are satisfied by adding electrically conductive plastic moulding compounds modified with carbon black. These materials are based on standardised PE and PP types, as are utilised on a large scale in plastic pipeline construction. It is thus guaranteed that the advantages well-known from the polyolefins (such as the chemical resistance) as well as the easy processing and laying can be brought to bear in these applications. Nevertheless, a few important points should be taken into consideration during the planning and execution of such pipe systems so that the advantages over the metallic materials can be exploited to the full when they are utilised in explosion hazard areas.

the plastics used as standard in plastic pipeline construction and, consequently, it was not allowed to utilise them in explosion hazard areas either. For this intended application, plastics which can dissipate electric charges were developed by combining inorganic and organic chemistry. Since the 90s, there has been the possibility of replacing metallic pipelines with electrically conductive plastics in a cost-favourable form in explosion hazard areas too.

Although electrically conductive plastics have been proving their worth in plant engineering for about 15 years, there are, even nowadays, still many planners and plant operators who are not familiar with these materials or have prejudices and reservations with regard to their utilisation. In this respect, these modified moulding compounds can also offer the advantages of the standard plastics such as chemical resistance and easy processing and thus constitute a cost-favourable alternative. The following article is intended to show an overview of the properties and peculiarities as well as of the advantages when the electrically conductive plastics are utilised.

### 1. Introduction

For years, extreme requirements in relation to the safety and protection for people and the environment have been set on modern industrial plants. In this respect, constantly new processes and procedures are leading to the utilisation of increasingly refined materials. For this reason, it has been possible to register a rise in the use of plastics in pipeline construction for years since these can be a substitute for metallic materials in many applications. However, plant engineering encompasses areas in which it is necessary to satisfy not only the customary requirements such as chemical resistance, pressure resistance and easy laying possibilities but also other additional criteria. These include the explosion hazard areas as well since only those materials which fulfil the conditions relating to the electric conductivity may be utilised there. These requirements could not be satisfied by

## 2. Einsatzgebiet

Elektrisch leitfähige Kunststoffrohrleitungen werden meist in explosionsgefährdeten Bereichen eingesetzt, da dort die elektrostatische Aufladung von Rohrleitungskomponenten verhindert werden muss. Beim Umgang (Füllen, Entleeren, Rühren, Mischen oder Versprühen) mit leicht entzündlichen Flüssigkeiten, Dämpfen, Gasen oder Schüttgütern kann es in der Rohrleitung zu Aufladungen kommen. Die Höhe der Aufladung hängt dabei von den Eigenschaften des Mediums, der Strömungsgeschwindigkeit, dem Arbeitsverfahren, der Größe der Rohrleitung oder des Behälters sowie dem eingesetzten Werkstoff ab. Werden die Ladungen nicht kontrolliert abgeführt, kann eine Funkenentladung entstehen. Liegt in der Rohrleitung darüber hinaus eine explosionsfähige Atmosphäre vor, kann diese durch die Energie des Funkens zur Explosion gebracht werden und somit verheerende Folgen haben. Hauptwendungsbereiche für elektrisch leitfähige Kunststoffe können sein

- Rohrleitungen für den Chemikalien-transport,
- Abwasserleitungen im industriellen Bereich,
- Feststofftransportleitungen,
- Rohrsysteme in explosionsgefährdeten Bereichen,
- Behälter- und Apparatebau,
- Entlüftungs- und Abgasrohrleitungen,
- Auskleidungen von Behältern und Wannen,
- Entgasungsrohrleitungen für Mülldeponien.

## 3. Richtlinien und Anforderungen

Um den Explosionsschutz zu regeln, gibt es die sogenannten ATEX Richtlinien (ATEX = Atmosphere Explosible, übergeordneter Arbeitstitel für die europäischen Richtlinien zum Explosionsschutz). Hierbei handelt es sich um zwei Richtlinien, die in der Europäischen Gemeinschaft anzuwenden sind. Die Richtlinie 94/9/EG (ATEX 95) enthält unter anderem die Beschaffenheitsanforderungen von "Geräten und Schutzsystemen" in explosionsgefährdeten Bereichen und betrifft die Hersteller von explosionsgeschützten Geräten. Somit dürfen in explosionsgefährdeten Bereichen ausschließlich Geräte eingesetzt



**Bild 1:** An Behältern installierte elektrisch leitfähige Kunststoffrohrleitung

**Fig. 1:** Electrically conductive plastic pipeline installed between tanks

werden, die dieser Richtlinie entsprechen. Dies gilt für elektrische aber auch nichtelektrische Geräte (zum Beispiel pneumatische Antriebe). Rohre und Formteile werden gemäß der Richtlinie 94/9/EG (Artikel 1 Absatz 3c) als „Komponenten“ deklariert, das heißt sie sind erforderlich für den sicheren Betrieb einer Anlage, übernehmen jedoch keine autonome Funktion. Aus diesem Grund können Rohre und Formteile zurzeit, ähnlich wie bei der Druckgeräte-Richtlinie 97/23/EG, nicht mit dem CE Kennzeichen versehen werden und es kann für diese Produkte auch keine Konformitätserklärung ausgestellt werden. Bei den elektrisch leitfähigen Kunststoffrohren und Formteilen kann nur ein Werkzeugezeugnis 2.2 oder Abnahmeprüfzeugnis 3.1 nach DIN EN 10204 erstellt werden, das die notwendigen Produkteigenschaften (zum Beispiel elektrische Leitfähigkeit) bestätigt.

In der Richtlinie 99/92/EG (ATEX 137) werden die Anforderungen für Montage, Installation und Betrieb von Anlagen beschrieben. Sie richtet sich dem-

## 2. Area of application

Electrically conductive plastic pipelines are mostly utilised in explosion hazard areas since electrostatic charges in pipeline components must be prevented there. The handling (filling, emptying, stirring, mixing or spraying) of easily ignitable liquids, vapours, gases or bulk materials can lead to charges in the pipeline. In this respect, the level of the charges depends on the properties of the medium, on the flow rate, on the working procedure, on the size of the pipeline or the tank as well as on the utilised material. If the charges are not dissipated in a controlled way, this can result in a spark discharge. If an explosive atmosphere also exists in the pipeline, this can be caused to explode by the energy of the sparking and can thus have devastating consequences. The main areas of application for electrically conductive plastics can be:

- pipelines for the transport of chemicals
- waste water lines in the industrial sector

- transport lines for solids
- pipe systems in explosion hazard areas
- tank construction and apparatus engineering
- venting and exhaust gas pipelines
- cladding of tanks and basins
- degassing pipelines for refuse dumps

## 3. Directives and requirements

In order to govern the explosion protection, there are the so-called ATEX directives (ATEX = Atmosphere Explosible, higher-level working title for the European directives relating to explosion protection). These are two directives which must be applied in the European Community. The contents of the 94/9/EC (ATEX 95) directive include the requirements on the properties of "devices and protective systems" in explosion hazard areas and the directive relates to the manufacturers of explosion-protected devices. Thus, exclusively those devices which comply with this directive may be utilised in explosion hazard areas. This applies to both electric and non-electric devices (e.g. pneumatic drives). According to the 94/9/EC directive (Article 1, Paragraph 3c), pipes and mouldings are declared as "components", i.e. they are necessary for the safe operation of a plant but do not perform any autonomous function. For this reason, pipes and mouldings, similar to the case of the Pressure Equipment Directive, cannot be provided with the CE symbol at the moment and no declaration of conformity can be issued for these products either. With regard to the electrically conductive plastic pipes and mouldings, it is only possible to draw up a Test Certificate 2.2 or a Test report 3.1 according to DIN EN 10204 which confirms the necessary product properties (e.g. electric conductivity).

The requirements for the assembly, installation and operation of plants are described in the 99/92/EC (ATEX 137) directive. Consequently, it is geared to the operators of plants and is intended to prevent or avoid explosive atmospheres or to reduce the explosion effects to an uncritical degree. The operator thus bears the responsibility. It is necessary to take precautions and to carry out all the work needed in order to be able to draw up an explosion protection document. This document is regarded as proof that the specified criteria

**Tabelle 1: Vergleich der Eigenschaften von Standard- und elektrisch leitfähigen Werkstoffen**  
**Table 1: Comparison of the properties of standard and electrically conductive materials**

Eigenschaft Property		Norm Standard	Einheit Unit	PP-R grau PP-R grey	PPs-el schwarz PPs-el black	PE80 schwarz PE80 black	PE-el schwarz PE-el black
Mechanische Eigenschaften Mechanical properties	Dichte bei 23°C Density at 23°C	DIN 53 479 ISO/R 1183 DIN 53 479 ISO/R 1183	g/cm <sup>3</sup> g/cm <sup>3</sup>	0,91 0.91	1,12 1.12	0,95 0.95	0,989 0.989
	Schmelzrate MFR 190/5 Melt flow rate MFR 190/5	DIN 53 735 ISO 1133 DIN 53 735 ISO 1133	g/10 min g/10 min	0,5 0.5	0,5 (230/5) 0.5 (230/5)	0,45 0.45	0,15 0.15
	Streckspannung Yield stress	DIN 53495 DIN 53495	N/mm <sup>2</sup> N/mm <sup>2</sup>	25 25	24 24	23 23	25 25
	Streckdehnung Elongation at yield	DIN 53495 DIN 53495	% %	12 12	10 10	10 10	7 7
	E-Modul (Zugversuch) Modulus of elasticity (tensile test)	ISO 527 ISO 527	N/mm <sup>2</sup> N/mm <sup>2</sup>	750 750	1000 1,000	940 940	1150 1,150
	Thermische Eigenschaften Thermal properties	Wärmeleitfähigkeit (bei 20°C) Thermal conductivity (at 20°C)	DIN 52 612 DIN 52 612	W/mK W/mK	0,24 0.24	- -	0,40 0.40
thermischer Längenausdehnungskoeffizient Coefficient of linear thermal expansion		DIN 53 752 DIN 53 752	1/°K 1/°K	1,6 x 10 <sup>-4</sup> 1.6 x 10 <sup>-4</sup>	1,6 x 10 <sup>-4</sup> 1.6 x 10 <sup>-4</sup>	2,0 x 10 <sup>-4</sup> 2.0 x 10 <sup>-4</sup>	2,0 x 10 <sup>-4</sup> 2.0 x 10 <sup>-4</sup>
Brandverhalten Fire behaviour		DIN 4102 UL94 DIN 4102 UL94	- -	B2 HB B2 HB	- V0 - V0	B2 HB B2 HB	B2 HB B2 HB
Elektrische Eigenschaften Electric properties		spez. Widerstand Specific resistance	DIN IEC 60093 DIN IEC 60167 DIN IEC 60093 DIN IEC 60167	Ωhm cm Ωhm cm	> 10 <sup>16</sup> > 10 <sup>16</sup>	≤ 10 <sup>6</sup> ≤ 10 <sup>6</sup>	> 10 <sup>16</sup> > 10 <sup>16</sup>
	Oberflächenwiderstand Surface resistance	DIN IEC 60093 DIN IEC 60167 DIN IEC 60093 DIN IEC 60167	Ωhm Ωhm	> 10 <sup>13</sup> > 10 <sup>13</sup>	≤ 10 <sup>6</sup> ≤ 10 <sup>6</sup>	> 10 <sup>14</sup> > 10 <sup>14</sup>	≤ 10 <sup>6</sup> ≤ 10 <sup>6</sup>

zufolge an die Betreiber von Anlagen und soll explosionsfähige Atmosphären verhindern oder vermeiden, bzw. die Explosionsauswirkungen auf ein unkritisches Maß reduzieren. Der Betreiber trägt somit die Verantwortung. Er muss Vorkehrungen treffen und alle notwendigen Arbeiten durchführen um ein Explosionsschutzdokument erstellen zu können. Dieses Dokument gilt als Nachweis für die Einhaltung der genannten Kriterien und den sicheren Betrieb der Anlage. Somit hat der Betreiber die Aufgabe im explosionsgefährdeten Bereich seiner Anlage den Einsatz von Rohrleitungen vorzuschreiben, welche die elektrischen Ladungen abführen können und keine Gefahr für die Sicherheit von Mensch und Umwelt darstellen.

Die nationale Umsetzung der Richtlinie 99/92/EG in Deutschland ist durch die Betriebs-Sicherheits-Verordnung (BetrSichV) geregelt. Unterstützt wird diese unter anderem durch die berufsgenossenschaftliche Regel (BGR) 132 „Vermeidung von Zündgefahren infolge elektrostatischer Aufladung“ (ehemals ZH 1/200). Dort werden konkrete Vorgehensweisen und Maßnahmen dargestellt, die der Betreiber ergreifen muss. Die BGR 132 unterscheidet zwischen drei unterschiedlichen Stoffeigenschaften:

1. leitfähig (Oberflächenwiderstand  $R_0 < 10^4 \Omega$ )
2. ableitfähig ( $10^4 \Omega < R_0 < 10^9 \Omega$ , bei 23 °C und 50 % relative Feuchte)
3. isolierend (weder leit- noch ableitfähig)

#### 4. Eigenschaften der Werkstoffe

Die im Rohrleitungsbau üblicherweise verwendeten Thermoplaste haben einen Oberflächenwiderstand  $R_0$  von  $> 10^{13} \Omega$ . Sie sind somit isolierende Werkstoffe und dürfen nicht in explosionsgefährdeten Bereichen eingesetzt werden. Bei den elektrisch leitfähigen Formmassen wird durch Zugabe von Leitruß (ca. 10-12 %) ein spezifischer Widerstand von  $\leq 10^6 \Omega \text{ cm}$  und ein Oberflächenwiderstand  $R_0$  von  $\leq 10^6 \Omega$  erreicht. Infolgedessen werden sie gemäß BGR 132 als ableitfähig eingestuft. Den Polyethylen-(PE) oder Polypropylen-(PP) Formmassen wird so viel Leitruß beigemischt, dass die Rußpartikel sich berühren oder weniger als 10 nm Abstand zueinander haben. Die zwei wesentlichen Faktoren zur Erreichung einer guten Leitfähigkeit sind die Art des Rußes und die Dispersionsqualität. Verwendet man dabei nicht die beste Qualität, muss die Zugabemenge des leitfähigen Rußes erhöht werden, um einen niedrigen elektrischen Widerstand zu erhalten. Aufgrund dieser Zusammensetzung werden die Werkstoffe als PE-el, PP-el, (elektrisch leitfähig) bezeichnet. Darüber hinaus gibt es Formmassen, die neben dem Leitruß halogenhaltige Flammschutzmittel als Additive enthalten und somit unter der Bezeichnung PPs-el (schwer entflammbar und elektrisch leitfähig) geführt werden. Durch den Leitruß sind die elektrisch leitfähigen Formmassen schwarz eingefärbt, weshalb es möglicherweise zu Verwechslungen zwischen dem Standard PE und dem PE-el

are being complied with and that the operation of the plant is safe. In the explosion hazard area of his plant, the operator therefore has the task of stipulating the utilisation of pipelines which can dissipate the electric charges and do not constitute any danger to the safety of people and the environment. The national implementation of the 99/92/EC directive in Germany is governed by the ordinance of industrial Safety and Health (BetrSichV). This is supported, amongst other regulations, by the BGR 132 rules of the employers' liability insurance association entitled "Avoidance of ignition dangers caused by electrostatic charges" (formerly ZH 1/200). Concrete approaches and measures which must be adopted by the operator are described there. BGR 132 distinguishes between three different material properties:

1. conductive (surface resistance  $R_0 < 10^4 \Omega$ )
2. dissipative ( $10^4 \Omega < R_0 < 10^9 \Omega$ , at 23°C and 50 % relative humidity)
3. insulating (neither conductive nor dissipative)

#### 4. Properties of the materials

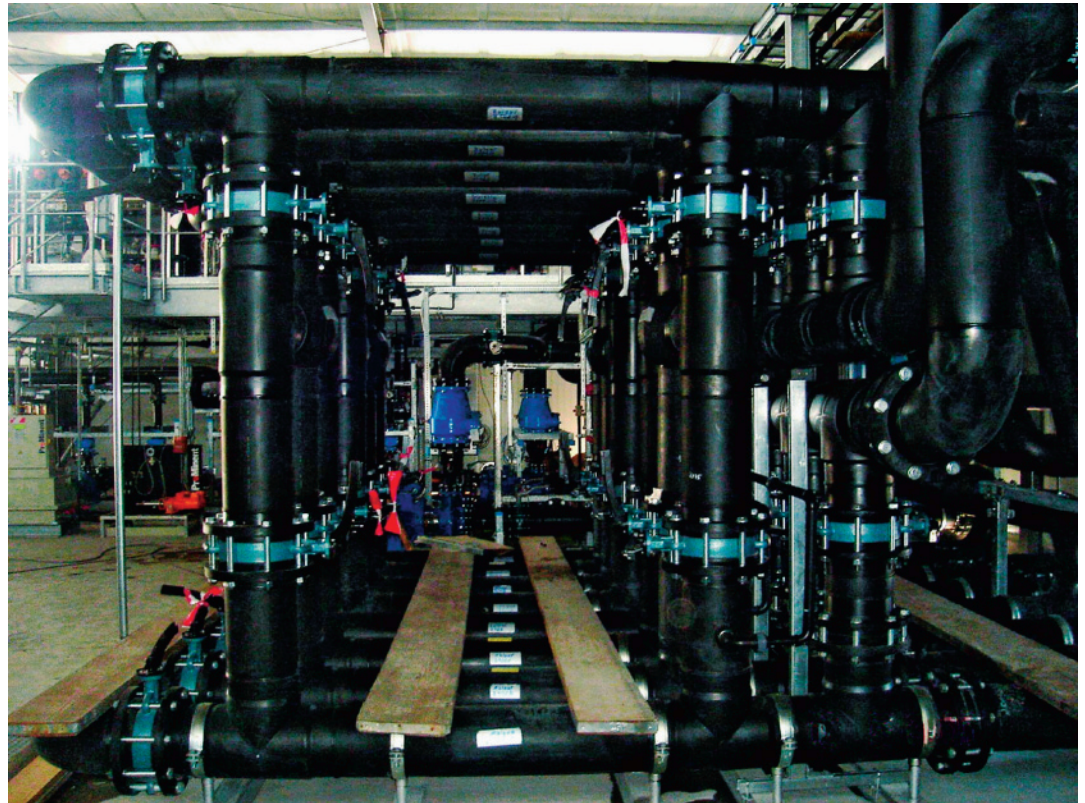
The thermoplastics normally used in pipeline construction have a surface resistance  $R_0$  of  $> 10^{13} \Omega$ . They are thus insulating materials and must not be utilised in explosion hazard areas. In the case of the electrically conductive moulding compounds, a specific resistance of  $\leq 10^6 \Omega \text{ cm}$  and a surface resistance  $R_0$  of  $\leq 10^6 \Omega$  are achieved

by adding conductive carbon black (approx. 10 - 12 %). As a consequence of this, they are classified as dissipative according to BGR 132. So much conductive carbon black is admixed to the polyethylene (PE) or polypropylene (PP) moulding compounds that the carbon black particles touch each other or are less than 10 nm away from each other. The two essential factors for achieving a good conductivity are the type of the carbon black and the dispersion quality. If the best quality is not used in this respect, the addition quantity of the conductive carbon black must be increased in order to obtain a low electric resistance. Because of this composition, the materials are designated as PE-el and PP-el (electrically conductive). Furthermore, there are moulding compounds which contain not only the conductive carbon black but also, as an additive, flame retardants with halogen and thus bear the designation PPs-el (hardly inflammable and electrically conductive). Due to the conductive carbon black, the electrically conductive moulding compounds are coloured black. This can possibly lead to mix-ups between the standard PE and the PE-el. In such a case, the products in question should be checked on the basis of the marking. Because of the high additive proportion, not only are the specific properties such as the density and the modulus of elasticity (Table 1) changed by the electrically conductive moulding compounds but the chemical resistance is also preserved to a great extent.

kommen kann. In solch einem Fall sollten die fraglichen Produkte anhand der Kennzeichnung überprüft werden. Bei den elektrisch leitfähigen Formmassen ändern sich aufgrund des hohen Additivanteils die spezifischen Eigenschaften wie die Dichte und der E-Modul (Tabelle 1), aber die chemische Widerstandsfähigkeit bleibt weitgehend erhalten.

**5. Verarbeitung und Verlegung**

Ein besonderes Augenmerk gilt den Betriebsbedingungen und der Auslegung der elektrisch leitfähigen Kunststoffrohrleitungen. Aufgrund der geringeren Zähigkeit sind bei den elektrisch leitfähigen Formmassen auch bei einer Dauertemperatur von 20 °C zusätzliche Abminderungsfaktoren (PE-el=1,4; PPs-el=2,0) für die Berechnung des maximal zulässigen Betriebsüberdrucks zu berücksichtigen. Dadurch beträgt der maximal zulässige Bauteil-Betriebsüberdruck einer PE-el Leitung SDR 11 bei 20 °C, Medium Wasser und einer Lebensdauer von 50 Jahren nicht 12,5 (PE80) sondern 8,9 bar. Für die Auslegung eines PPs-el Rohrleitungssystems muss besonders auf die maximal zulässige Biegespannung geachtet werden. Sie ist bei der Berechnung der Stützweite und eventuell vorhandener Biegeschenkel gegenüber dem Standard PP zu halbieren. Beim Transport und Handling sollten ebenfalls Schlag- und Biegebeanspruchung vermieden werden und bei Temperaturen von unter 5 °C dürfen elektrisch leitfähige Rohre und Formteile nur mit besonderer Vorsicht und speziellen Vorkehrungen transportiert werden. Während der Lagerung sind elektrisch leitfähige Kunststoffe vor Feuchtigkeit zu schützen, da sie durch die hygroskopische Eigenschaft des Rußes zur Aufnahme von Feuchtigkeit neigen. Generell können elektrisch leitfähige Kunststoffe mit den gleichen Schweißparametern wie die Standardwerkstoffe geschweißt werden. Die Standardverbindung für PE-el und PPs-el ist die Stumpfschweißung nach DVS 2207-1 (PE) bzw. 2207-11 (PP). Sofern eine Feuchtigkeitsaufnahme während der Lagerung nicht ausgeschlossen werden kann, empfiehlt es sich die Verwendbarkeit des Materials mittels eines Schweißversuches zu kontrollieren. Sollten in der Fügezone Bläschen zu erkennen sein, ist es notwendig die Fügepartner



**Bild 2:** Heizelementstumpfgeschweißte Rohre und Formteile aus Polyethylen – elektrisch leitfähig

**Fig. 2:** But-welded pipes and fittings made of electrically conductive polyethylene

vorzutrocknen oder einige Stunden in einer trockenen Umgebung zu lagern. Dank der hygroskopischen Eigenschaft des Rußes kann vom Werkstoff die Feuchtigkeit wieder abgegeben und die Schweißung ordnungsgemäß durchgeführt werden. Der Vorteil des Heizelementstumpfschweißens besteht darin, dass die elektrische Leitfähigkeit der Rohrleitung über die Fügeebene hinaus ohne zusätzliche Arbeiten gegeben ist (Bild 2).

Das Heizwendelschweißen von elektrisch leitfähigen Rohren mittels Heizwendelformteilen aus nicht leitfähig ausgerüstetem PE (Standard Heizwendelschweißmuffen) ist grundsätzlich ebenfalls möglich. Hierbei dürfen jedoch nur Heizwendelschweißmuffen mit eingebetteten Heizdrähten verwendet werden, da es bei Muffen mit freiliegenden Heizwendeldrähten zu einem geringen Stromfluss kommen kann. Dieser ist für Menschen aufgrund der vorhandenen Spannung nicht kritisch, kann aber zu spontanen Reaktionen und eventuell indirekt zu Unfällen oder Schäden führen. Lässt der Schweißer beispielsweise durch den Stromschlag ein Werkzeug von der Rohrbrücke fallen, ist dies ein sogenannter Sekundärnfall, der auszuschließen ist.

**5. Processing and laying**

Particular attention is paid to the operating conditions and design of the electrically conductive plastic pipelines. Because of the lower toughness, additional reduction factors (PE-el = 1.4; PPs-el = 2.0) must be taken into account for the calculation of the maximum permissible operating overpressure in the case of the electrically conductive moulding compounds even at a continuous temperature of 20°C. Therefore, the maximum permissible operating overpressure of a component in an SDR 11 PE-el line at 20°C, with water as the medium and with a service life of 50 years, is not 12.5 bar (PE80) but instead 8.9 bar. For the design of a PPs-el pipeline system, particular consideration must be given to the maximum permissible bending stress. Compared with the standard PP, it must be halved for the calculation of the distance between the supports and of any bending legs which may exist. Impact and bending stresses should also be avoided during the transport and the handling and, at temperatures below 5°C, electrically conductive pipes and mouldings may only be transported with particular care and special precautions. During

the storage, electrically conductive plastics must be protected from moisture since they tend to absorb moisture due to the hygroscopic property of the carbon black.

In general, electrically conductive plastics can be welded with the same welding parameters as the standard materials. The standard joint for PE-el and PPs-el is the butt welding according to DVS 2207-1 (PE) and DVS 2207-11 (PP) respectively. If it is not possible to totally exclude the absorption of moisture during the storage, it is recommended to check the usability of the material by means of a welding test. If any bubbles can be recognised in the joining zone, it is necessary to predry the joining members or to store them in a dry environment for a few hours. Thanks to the hygroscopic property of the carbon black, the material can release the moisture once again and the welding can be carried out properly. The advantage of heated tool butt welding relates to the fact that the electric conductivity of the pipeline is ensured beyond the joining plane without any additional work (Fig. 2).

The electrofusion welding with an electrofusion fitting element of electrically



**Bild 3: Frei verlegte PE-el Leitung für lösemittelhaltige Abwässer**

**Fig. 3: Exposed PE-el pipeline for waste waters containing solvents**

Sofern Heizwendelschweißmuffen aus Standard PE verarbeitet werden ist die Leitfähigkeit der Rohrleitung unterbrochen. Demzufolge müssen diese Verbindungen durch Schellen überbrückt werden, um die Leitfähigkeit der Rohrleitung sicherzustellen. Darüber hinaus ist noch zu beachten, dass die Abmessungen der nicht ableitfähigen Oberfläche eines Formteils (z. B. Heizwendelschweißmuffe) die Werte aus der BGR 132 Abs. 3.1.2.1 (zum Beispiel 100 cm<sup>2</sup> bei Ex-Zone 1 und Explosionsgruppe I) nicht überschritten werden dürfen, sofern sich der explosionsgefährdete Bereich auf der Außenseite der Rohrleitung befindet. Andernfalls sind zusätz-

liche Maßnahmen wie leitfähige Netze zu installieren, die ebenso aus einem elektrisch leitfähigen Schweißdraht hergestellt werden können. Im Lüftungs- oder Behälterbau wird häufig das Warmgasziehschweißverfahren nach DVS 2207-3 angewendet. Die Verarbeitung der elektrisch leitfähigen Werkstoffe erfolgt hier genau wie bei den Standardwerkstoffen. Dabei sollte zusätzlich ein besonderes Augenmerk auf den elektrisch leitfähigen Schweißdraht gelegt werden. Er ist ebenfalls trocken zu lagern um beim Schweißen eine Bläschenbildung zu vermeiden. Unter Umständen kann eine bessere Verarbeitung des Schweißdrahtes im oberen Temperaturbereich erreicht werden. Das Gleich-

conductive pipes using electrofusion coupler made of PE without any conductive additives (standard standard PE 100 electrofusion fittings) is also possible in principle. However, only electrofusion fittings with embedded heating wires may be used in this respect since sleeves with exposed heater spiral wires can lead to a low current flow. This is not critical for people because of the existing voltage but can lead to spontaneous reactions and perhaps indirectly to accidents or damage. If the welder drops a tool from the pipe bridge (for example) due to the electric shock, this is a so-called secondary accident which must be excluded.

In so far as electrofusion fittings made of standard PE are processed, the conductivity of the pipeline is interrupted. Consequently, these joints must be bridged using clips or the joining members must each be earthed individually in order to ensure the conductivity of the pipeline. Furthermore, it must also be borne in mind that the dimensions of the non-dissipative surface of a fitting (e.g. electrofusion coupler) must not exceed the values from BGR 132, Paragraph 3.1.2.1 (e.g. 100 cm<sup>2</sup> in the case of Explosion Zone 1 and Explosion Group I) in so far as the explosion hazard area is located on the outside of the pipeline. Otherwise, it is necessary to install additional measures such as conductive nets which can also be manufactured from an electrically conductive welding wire.

The hot gas welding process according to DVS 2207-3 is applied in ventilation engineering or tank construction. Here, the electrically conductive materials are processed in precisely the same way as the standard materials. In this respect, particular attention should additionally be paid to the electrically conductive welding wire. It must also be stored in dry conditions in order to avoid the formation of any bubbles during the weld-

ing. In certain circumstances, the processing of the welding wire can be improved in the upper temperature range. The same applies to the extrusion welding of electrically conductive moulding compounds according to DVS 2207-4. In tank construction, a PE-el or PPs-el welding rod which ensures the conductivity of both the components should definitely be used for the root weld. According to this, a welding rod made of an electrically conductive material or a standard material can be used depending on the size of the area for the extrusion weld. In general, the electrically conductive moulding compounds can be welded with the respective standard moulding compounds.

The processing parameters for the laying of the electrically conductive pipelines are the same as those in the case of the standard materials. Since the materials exhibit a lower toughness, greater care is advisable during the cutting. When PPs-el pipelines are assembled, attention must be paid to the reduced distance between the supports. The correct assembly of the earthing strips which serve to dissipate the charges which may arise is particularly significant for the functional capacity of the system. When the grounding or interfacial clips are attached, it must therefore be ensured that the pipe surface has been cleaned well and conductive silver paint is used for the good coupling of the pipeline components. Loose or steel flanges which are electrically conductive should be used for flanged joints as well. In this respect, it is recommended to check the conductivity of the flanged joints separately.

## 6. Supply programme

There is a comprehensive supply programme for the electrically conductive materials in plastic pipeline construction and tank construction. In addition

**Tabelle 2: Lieferprogramm der elektrisch leitfähigen Rohre und Formteile**  
**Table 2: Supply programme of the electrically conductive pipes and mouldings**

Material	Druckstufen	Rohr da [mm]	Bogen da [mm]	T-Stück da [mm]	Reduktion da [mm]	V-Bund da [mm]	Losflansch da [mm]
Material	Pressure stages	Pipe da [mm]	Bend da [mm]	T-piece da [mm]	Reducer da [mm]	V-collar da [mm]	Loose flange da [mm]
PE-el	SDR 33	110-400	110-400*	110-400*	110-400*	110-400	32-315
	SDR 17	90-315	110-315	110-315	160/110-315/225	110-315	32-315
	SDR 11	32-315	32-315	32-315	63/16-315/225		32-315
PPs-el	Lüftung Ventilation	110-500	110-500*	110-500*	110-500*	110-500*	32-315
	SDR 33	90-225	110-315	110-315	160/110-315/225	110-315	32-315
	SDR 17	110-200	110-200	110-200	160/110-225/160	110-200	32-315
	SDR 11	32-110	32-110	32-110	63/16-110/63	32-110	32-315

\* Diese Formteile können in segmentierter Bauweise hergestellt werden.

\* These mouldings can be manufactured in a segmented construction.

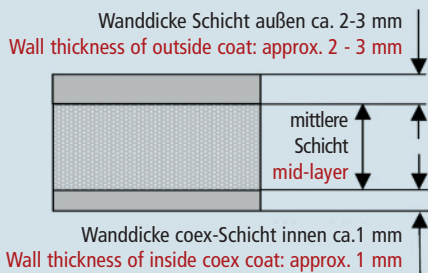
che gilt für das Extrusionsschweißen nach DVS 2207-4 von elektrisch leitfähigen Formmassen. Im Behälterbau sollte für die Wurzelnaht in jedem Fall ein PE-el oder PPs-el-Schweißdraht verwendet werden, der die Leitfähigkeit der beiden Bauteile untereinander herstellt. Danach kann je nach Größe der Fläche für die Extrusionsnaht ein Schweißdraht aus elektrisch leitfähigem Material oder aus einem Standardmaterial verwendet werden. Generell sind die elektrisch leitfähigen Formmassen mit den jeweiligen Standardformmassen schweißbar.

Für die Verlegung der elektrisch leitfähigen Rohrleitungen gelten die gleichen Verarbeitungsparameter wie bei den Standardwerkstoffen. Da die Werkstoffe eine geringere Zähigkeit aufweisen, ist beim Schneiden erhöhte Vorsicht geboten. Bei der Montage von PPs-el Rohrleitungen ist die reduzierte Stützweite zu beachten. Die fachgerechte Montage der Erdungsbänder, die zur Ableitung der eventuell auftretenden Aufladung dienen, ist für die Funktionstüchtigkeit des Systems von besonderer Bedeutung. Daher muss beim Anbringen der Erdungs- oder Übergangsschellen darauf geachtet werden, dass die Rohroberfläche gut gereinigt und Silberleitlack für eine gute Ankopplung der Rohrleitungskomponenten verwendet wird. Bei Flanschverbindungen sind ebenfalls elektrisch leitfähige Losflansche oder Stahlflansche zu verwenden. Es empfiehlt sich hierbei die Leitfähigkeit der Flanschverbindungen gesondert zu prüfen.

**6. Lieferprogramm**

Bei den elektrisch leitfähigen Werkstoffen im Kunststoffrohrleitungs- und Behälterbau gibt es ein umfangreiches Lieferprogramm. Neben den Standardformteilen in PE-el und PPs-el, die lagerhaltig zur Verfügung stehen, können auch segmentierte oder Sonderformteile gefertigt werden.

Neben den in Tabelle 2 gezeigten Rohrleitungskomponenten gibt es auch Platten, Schweißdraht und Wickelrohre aus PE-el und PPs-el. Gerade bei größeren Rohrdimensionen ab da 400 mm können Wickelrohre durch die spezielle Herstellung zu einem erheblich günstigeren Rohr führen als die axial extrudierten Rohre. Je nachdem ob sich der explosionsgefährdete Bereich innerhalb, außerhalb oder auf beiden Seiten der Rohrwand befindet kann dort eine Funktionsschicht aus



**Bild 4:** Wanddickenaufbau bei Wickelrohren mit elektrisch leitfähiger Innen- und Außenschicht.

PE-el	PP-el /PPs-el	PPs-el	<b>Außen Outside</b>
PE	PP (schwarz) PP (black)	PPs	<b>Mitte Centre</b>
PE-el	PP-el /PPs-el	PPs-el	<b>Innen Inside</b>

**Fig. 4:** Wall thickness structure in the case of spiral pipes with electrically conductive inside and outside coats



**Bild 5:** PPs-el Abluftleitung aus Wickelrohren und segmentierten Formteilen

**Fig. 5:** PPs-el exhaust air line consisting of spiral pipes and segmented fittings

elektrisch leitfähigem Material produziert werden. Das Bild 4 zeigt den unterschiedlichen Aufbau der Wickelrohrwand. Da der größte Teil der Wanddicke aus den Standardformmassen gefertigt wird, können bei diesem Wandaufbau von elektrisch leitfähigen Wickelrohren zum Teil erhebliche Einsparungen erzielt werden. Die dazugehörigen Formteile werden ebenfalls aus den Wickelrohren in segmentierter Bauweise hergestellt (Bild 5). Sofern die Rohrleitung eine elektrisch leitfähige Innenschicht hat, ist zu beachten, dass diese an einer Stelle im Rohr an die Außenseite geführt werden muss. Nur so kann auch die innere Schicht geerdet und die möglicherweise entstehende Aufladung abgeführt werden.

to the standard mouldings in PE-el and PPs-el which are available in stock, segmented or special mouldings can be fabricated too.

In addition to the pipeline components shown in Table 2, there are also plates, welding wire and roller-wrapped pipes made of PE-el and PPs-el. Precisely in the case of larger pipe dimensions as from da 400 mm, spiral pipes can, due to the special manufacturing process, lead to a considerably more favourable pipe than the axially extruded pipes. Depending on whether the explosion hazard area is located inside, outside or on both sides of the pipe wall, a functional coat made of electrically conductive material can be produced

there. Fig. 4 shows the different structure of the wall of the spiral pipe. Since the largest proportion of the wall thickness is fabricated from the standard moulding compounds, substantial savings can, in part, be achieved with this wall structure of electrically conductive spiral pipes. The relevant mouldings are also manufactured from the spiral pipes in a segmented construction (Fig. 5). In so far as the pipeline has an electrically conductive inside coat, it must be ensured that this is guided to the outside at one position in the pipe. Only in this way is it possible to earth the inside coat as well and to dissipate the charges which may arise.



### Kunststoff-Behälterschweißanlage KBS 4002

Extrusionsschweißautomat für höchste Anforderungen an Schweißnahtpräzision und Automatisierungsgrad

### Circular Welding Device KBS 4002

Extrusion welding automat meeting highest requirements of welding seam precision and level of automation

#### Extrusionsschweißgeräte

Bestes Gewichts- / Leistungsverhältnis

#### Extrusion Welders

The best weight to output ratio

EXWELD alpha2 EC



EXWELD sigma SC



#### Stumpfschweißmaschinen

Ein Verfahren – viele Einsätze

#### Butt Welding Machine

One technology – many applications

WEGENER International GmbH

Vaalse Straße 81 · D-52074 Aachen

Phone +49 - (0) 241 - 70 522 - 0 · Fax +49 - (0) 241 - 70 522 - 99

www.wegenerwelding.de · info@wegenerwelding.de

### 7. Fazit

Anhand der dargestellten Punkte wird deutlich, dass elektrisch leitfähige Kunststoffrohrleitungen in vielen Anwendungen eingesetzt werden können. Seit rund 15 Jahren werden Industrieanlagen mit elektrisch leitfähigen Kunststoffen aus PE-el und PPs-el in den verschiedensten Bereichen mit unterschiedlichsten Anforderungen installiert und erfolgreich betrieben, da sie eine kostengünstige und qualitativ hochwertige Alternative zu den sonst eingesetzten metallischen Werkstoffen bieten. Sofern ein paar Besonderheiten beachtet werden, kann die Planung, das Schweißen und das Verlegen der elektrisch leitfähigen Rohrleitungen genauso durchgeführt werden, wie bei den Standardwerkstoffen. Somit kann man in explosionsgefährdeten Bereichen auf die bereits bekannten Werkstoffe aus dem Kunststoffrohrleitungsbau in modifizierter Form zurückgreifen um eine größtmögliche Sicherheit und lange Lebensdauer zu erreichen.

### 7. Conclusion

The described points illustrate that electrically conductive plastic pipelines can be utilised in many applications. For around 15 years, industrial plants with electrically conductive plastics made of PE-el and PPs-el have been installed and successfully operated in the widest possible variety of fields with the most different requirements since they offer a cost-favourable and high-quality alternative to the metallic materials utilised otherwise. In so far as attention is paid to a few peculiarities, the electrically conductive pipelines can be planned, welded and laid in exactly the same way as in the case of the standard materials. In explosion hazard areas, the materials which are already well-known from plastic pipeline construction can be used in a modified form in order to achieve the greatest possible safety and a long service life.

### Literatur References

- [1] DIN 8074 Rohre aus Polyethylen (PE) – PE 63, PE 80, PE 100, PE-HD -Maße, Ausgabe 1999-08.
- [2] DVS 2207-1 Schweißen von thermoplastischen Kunststoffen – Heizelementschweißen von Rohren, Rohrleitungsteilen und Tafeln aus PE-HD, Ausgabe 2005-09.
- [3] DVS 2207-3 Schweißen von thermoplastischen Kunststoffen – Warmgaszieh- und Warmgasfächelschweißen von Rohren, Rohrleitungsteilen und Tafeln – Verfahren, Anforderungen, Ausgabe 2005-04.
- [4] DVS 2207-4 Schweißen von thermoplastischen Kunststoffen – Extrusionsschweißen von Rohren, Rohrleitungsteilen und Tafeln – Verfahren, Anforderungen, Ausgabe 2005-04.
- [5] DVS 2207-11 Schweißen von thermoplastischen Kunststoffen – Heizelementschweißen von Rohren, Rohrleitungsteilen und Tafeln aus PP, Ausgabe 2008-08.
- [6] DVS 2210-1 Industrierohrleitungen aus thermoplastischen Kunststoffen – Projektierung und Ausführung Oberirdischer Rohrsysteme, Ausgabe 1997-04.
- [7] Richtlinie 94/9/EG des Europäischen Parlaments und des Rates vom 23. März 1994 zur Angleichung der Rechtsvorschriften der Mitgliedsstaaten für Geräte und Schutzsysteme zur bestimmungsgemäßen Verwendung in explosionsgefährdeten Bereichen.
- [8] Richtlinie 1999/92/EG des Europäischen Parlaments und des Rates vom 16. Dezember 1999 über Mindestvorschriften zur Verbesserung des Gesundheitsschutzes und der Sicherheit der Arbeitnehmer, die durch explosionsfähige Atmosphären gefährdet werden können.
- [9] BGR 132 Vermeidung von Zündgefahren infolge elektrostatischer Aufladungen, Ausgabe vom März 2003.
- [10] Firmenbroschüre Cabot Corporation, M.A., USA, Verarbeitungsrichtlinie von CABELECC® Compounds, Ausgabe 2006.