

Schweißen von Rohren mit großem Durchmesser

Welding of pipes with large diameters

Dipl.-Ing. Thomas Frank, Mörfelden-Walldorf

Zusammenfassung

Rohrsysteme aus polymeren Werkstoffen in großen Dimensionen werden immer häufiger besonders in der Wasserversorgung und Abwasserentsorgung eingesetzt. Neben der Werkstoffauswahl ist die Verbindungstechnik und daraus resultierend, die Festigkeit der Verbindung ein wichtiger Faktor bei der Realisierung solcher Projekte, da die Gesamtlebensdauer des Rohrsystems davon maßgeblich beeinflusst wird.

In verschiedenen Untersuchungen wurden für die Heizelementstumpfschweißtechnik bei Großrohren mit hohen Wanddicken verschiedene Schweißparameter und die Festigkeit dieser Schweißnähte getestet. Die Versuchsergebnisse zeigen eindeutig die Eignung des Heizelementstumpfschweißens für große Wanddicken.

Neben der Heizelementstumpfschweißung wird auch die Heizwendelschweißung bei Großrohren immer mehr angewendet. Prinzipbedingt kann bei diesem Schweißverfahren kein Schweißfaktor ermittelt werden. Zur Überprüfung der Nahtqualität hat sich hier der Zeitstandzugversuch nach DVS 2203-4 Beiblatt 1 bewährt. Das Warmgasextrusionsschweißen gilt bei Rohrverbindungen als Sonderverfahren und wird bei Sonderbauwerken und Abmessungen > 2.400 mm bevorzugt im drucklosen Bereich eingesetzt.

Ergänzend zum Stand der Technik, der derzeit in Normen und Richtlinien noch nicht hinreichend beschrieben ist, wird in diesem Beitrag anhand von Praxisprojekten gezeigt, was beim Schweißen von Großrohren aus polyolefinen Werkstoffen zu beachten ist, und es werden nützliche Hinweise für den Praktiker gegeben.

Mit der Optimierung der Schweißverfahren für große Rohrdimensionen und Rohrwanddicken und der stetig wachsenden praktischen Erfahrung werden Rohre aus PE und PP bei diesen Anwendungen immer mehr an Bedeutung gewinnen.

1 Einleitung

Für Rohrsysteme aus polyolefinen Werkstoffen wurden in den letzten Jahren immer neue Anwendungsgebiete erschlossen. Der Wunsch, den Anforderungen für diese Anwendungen gerecht zu werden, führte zu einer ständigen Weiterentwicklung des Produktprogramms. Neben der damit verbundenen Verbesserung der Werkstoffe wurde auch der Dimensionsbereich der Rohrsysteme immer weiter nach oben erweitert. So sind heute extrudierte Rohre mit Außendurchmessern von bis zu 2.000 mm und Wanddicken von über 100 mm herstellbar. Noch größere Durchmesser und Wanddicken können im Wickelverfahren hergestellt werden.

Die Verbindung der Rohre sowie der Formteile in diesen Dimensionen ist aber noch immer eine besondere Herausforderung. Häufig finden sich im gängigen Regelwerk (z. B. in den DVS-Richtlinien) für diese Abmessungen keine oder kei-



Dipl.-Ing. Thomas Frank

Autorenprofil: **Author profile:**

www.fuegen-von-kunststoffen.de/?id=201438

www.joining-plastics.info/?id=201438

ne vollständigen Vorgaben, wie zum Beispiel Prozessparameter oder Anforderungen an die Verbindung.

Mit diesem Beitrag soll gezeigt werden, was bei den bekannten Schweißmethoden Heizwendelschweißen, Heizelementstumpfschweißen und Warmgasextrusionsschweißen bei Großrohren zu beachten ist. Anhand von Untersuchungen sowie in der Praxis realisierter Projekte soll darüber hinaus der Stand der Technik dargestellt werden.

2 Beschreibung der Schweißverfahren und des Standes der Technik

Dem Anwender stehen heute verschiedene Schweißverfahren zur Verfügung,

Summary

Pipe systems made of polymer materials in large dimensions are being utilised ever more frequently, particularly in water supply and waste water disposal. In addition to the material selection, the joining technique and, resulting from this, the strength of the joint are important factors during the implementation of such projects since these influence the total service life of the pipe system to a crucial extent.

In various investigations, different welding parameters and the strength of these welds were tested for the heated tool butt welding technique in the case of large-diameter pipes with high wall thicknesses. The test results clearly show the suitability of heated tool butt welding for large wall thicknesses.

In addition to heated tool butt welding, sleeve welding with an incorporated electric heating element is also being applied to large-diameter pipes to an increasing degree. Due to the principle, no welding factor can be determined in the case of this welding process. Here, the tensile creep test according to DVS 2203- 4, Supplement 1 has proven to be suitable for checking the weld quality.

Hot gas extrusion welding is regarded as a special process in the case of pipe joints and is utilised for special structures and dimensions > 2,400 mm preferably in the non-pressurised field.

As a supplement to the state of the art which is not yet described adequately in standards, guidelines and technical codes at the moment, this article shows, on the basis of practical projects, what must taken into account with regard to the welding of large-diameter pipes made of polyolefin materials and makes useful remarks for the practitioner.

With the optimisation of the welding processes for large pipe dimensions and pipe wall thicknesses and with the constantly growing practical experience, ever greater significance will be attached to pipes made of PE and PP in the case of these applications.

However, the joining of the pipes and the fittings in these dimensions is still a particular challenge. Frequently, no or no complete stipulations, e.g. process parameters or requirements on the joint, for these dimensions can be found in the common set of rules (e.g. in the DVS technical codes).

With this article, it is to be shown what must be taken into account with regard to the well-known welding methods of sleeve welding with an incorporated electric heating element, heated tool butt welding and hot gas extrusion welding in the case of large-diameter pipes. Furthermore, the state of the art is to be illustrated on the basis of investigations as well as of projects implemented in practice.

2 Description of the welding processes and of the state of the art

Today, various welding processes are available to the user in order to manu-



Bild 1: Heizelementstumpfschweißmaschine: Baustellengerät für große Durchmesser

Fig. 1: Heated tool butt welding machine: building site device for large diameters

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, Trennwerkzeuge und vieles mehr zur Verfügung.

Im erdverlegten Rohrleitungsbau und im industriellen Anlagenbau kommen bei Rohren aus PP und PE 100 – wie erwähnt – das Heizelementstumpfschweißverfahren und das Heizwendelstumpfschweißverfahren zum Einsatz.

2.1 Das Heizelementstumpfschweißen (HS)

Heizelementstumpfschweißungen müssen mit einer Schweißvorrichtung durchgeführt werden. Die zu schweißenden Rohrleitungsteile werden ohne zusätzliche Formteile stirnseitig unter vorgegebenen Parametern (Druck, Zeit, Temperatur) zusammengefügt. Bei der Heizelementstumpfschweißung werden im Vergleich zu allen anderen Schweißmethoden die Parameter Druck, Temperatur und Zeit exakt definiert und können darüber hinaus permanent überwacht werden.

Mit dem Heizelement-Stumpfschweißverfahren können derzeit Rohre mit einem Außendurchmesser von 20 bis

2.000 mm verbunden werden. Die Verfahrensparameter sind werkstoffabhängig und für Polyolefine in den DVS-Richtlinien 2207-1 (PE) und 2207-11 (PP) für Wanddicken bis 70 mm (PE) bzw. 50 mm (PP) beschrieben. Der Verfahrensablauf ist in Bild 2 schematisch dargestellt. Beim Heizelementstumpfschweißen hat der Schweißer bzw. die Aufsichtsperson immer die Möglichkeit, die Schweißnaht visuell zu kontrollieren. Die Stumpfschweißtechnik stellt aufgrund des exakt definierten Verfahrensablaufes eine reproduzierbare und somit sehr sichere Schweißmethode dar.

2.2 Das Heizwendelschweißen (HM)

Beim Heizwendelschweißen werden Rohre und Formteile mit Hilfe von Widerstandsdrähten (Heizwendel) erwärmt und geschweißt. Die Widerstandsdrähte sind im Muffenteil des Formstückes angeordnet (Bild 3 und Bild 4). Bei diesem Verfahren werden die Verbindungsflächen mit in der Muffe angeordneten Widerstandsdrähten durch elektrischen Strom auf Schweißtemperatur erwärmt und dadurch geschweißt. Die durch die Abkühlung erstarrende Schmelze erzeugt dann den erforderlichen Anpressdruck in der Fügefläche. Die Energiezufuhr erfolgt mit Hilfe eines Schweißtransformators. Das Verfahren zeichnet sich ebenfalls durch einen hohen Automatisierungsgrad aus. Entscheidend bei der Herstellung qualitativ hochwertiger Heizwendelschweißverbindungen ist eine perfekte Schweißvorbereitung. Hierzu gehören zum Beispiel das exakte Ausrichten der Bauteile und das Entfernen der „Oxidschicht“. Eine nicht vollständig bzw. unzureichend entfernte „Oxidschicht“

facture high-quality joints between the pipeline components. National and international standards, guidelines and technical codes (e.g. DVS) describe the individual processes. Thus, the requirements and applied processes in industrial and buried pipeline construction are different from those, for example, in tank construction or in the semiconductor industry. Special knowledge and welding machines are required for each of these

ods, the pressure, temperature and time parameters in the case of heated tool butt welding are defined exactly and can also be monitored permanently. At present, pipes with outside diameters from 20 mm to 2,000 mm can be joined with the heated tool butt welding process. The process parameters are material-dependent and are described for polyolefins in the DVS 2207 1 (PE) and DVS 2207 11 (PP) technical codes

Bild 2: Ablaufschema des Schweißvorganges (HS-Schweißen)

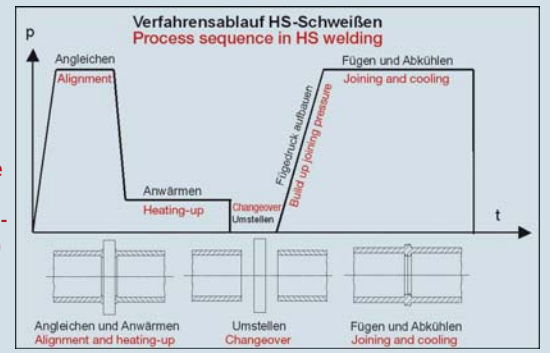


Fig. 2: Sequence diagram of the welding operation (HS welding)

application fields. In addition to devices for the welding of fittings executed by means of sleeve welding with an incorporated electrical heating element and heated tool butt welding, the manufacturers also provide the user with extensive accessories such as pipe peeling devices, cutting tools and much more. In the construction of buried pipelines and in industrial plant engineering, the heated tool butt welding process and the sleeve welding process with an incorporated electric heating element are utilised in the case of pipes made of PP and PE 100 (as mentioned).

2.1 Heated tool butt welding (HS)

Heated tool butt welds must be executed with a welding jig. Without any additional fittings, the pipeline parts to be welded are joined together on the front side with stipulated parameters (pressure, time and temperature). In comparison with all the other welding meth-

for wall thicknesses up to 70 mm (PE) and 50 mm (PP). The process sequence is illustrated schematically on Fig. 2. In the case of heated tool butt welding, the welder or the supervisor always has the possibility of inspecting the weld visually. Because of the exactly defined process sequence, the butt welding technique constitutes a reproducible and thus very reliable welding method.

2.2 Sleeve welding with an incorporated electric heating element (HM)

In the case of sleeve welding with an incorporated electric heating element, pipes and fittings are heated and welded with the aid of resistance wires (heater spirals). The resistance wires are arranged in the sleeve part of the fitting (Fig. 3 and Fig. 4). In the case of this process, the joining faces are heated up to the welding temperature by electric current with resistance wires arranged in the sleeve and are welded

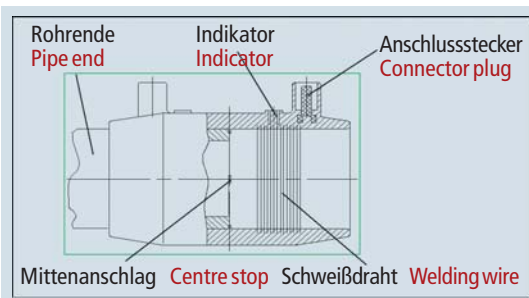


Bild 3: Aufbau einer Heizwendelmuffe

Fig. 3: Structure of a heater spiral sleeve

oder eine verschmutzte Schweißoberfläche führt zu Schweißfehlern.

Der Anwendungsbereich des HM-Schweißens für Druckrohrleitungen erstreckt sich heute in Europa von d 20 bis d 1200 mm Außendurchmesser. Die am Markt angebotenen Heizwendelformteile werden permanent zu größeren Nennweiten hin erweitert. Für diese Dimensionen stehen mittlerweile auch alle erforderlichen Werkzeuge (z. B. Schälgerät) zur Verfügung.

In größeren Abmessungen wird dieses Verfahren in Verbindung mit der Wickelrohrtechnologie bei Freispigelleitungen und Leitungen mit geringen Betriebsdrücken (bis 3 bar) sehr erfolgreich eingesetzt. Besonders der im Vergleich zum HS-Schweißen wesentlich geringere Maschinenaufwand und die Möglichkeit, auch bei großen Durchmessern im Graben zu Schweißen, sind die wesentlichen Vorteile des Verfahrens. Weitere Vorteile des Heizwendelschweißens gegenüber dem Heizelementstumpfschweißen sind der deutlich geringere Energieverbrauch pro Schweißnaht sowie die geringeren Schweißzeiten. Die Arbeitszeit verringert sich gegenüber dem Heizelementstumpfschweißen bei großen Dimensionen um bis zu 40 %. Wird parallel gearbeitet, was beim Heizwendelschweißen aufgrund der geringen Investitionskosten (ein Schweißgerät kostet weniger als 4.000 Euro) möglich ist, reduziert sich die erforderliche Zeit nochmals erheblich, da für das eigentliche Schweißen und Abkühlen kein Personal erforderlich ist. Die Arbeitszeit je Schweißnaht reduziert sich dadurch noch einmal um bis zu 45 %.

Im Gegensatz zum Heizelementstumpfschweißen, bei dem das Heizelement während anderer Arbeitsschritte und Pausen auf Temperatur gehalten werden muss, gibt es beim Heizwendelschweißen keine Verlustleistung. So beträgt der tatsächliche Leistungsbedarf je Schweißnaht beim HM-Schweißen lediglich ca. 10 % dessen, was beim HS-Schweißen benötigt wird.

2.3 Das Warmgasextrusionsschweißen

Im industriellen Bereich ist die Warmgasextrusionsschweißung weit verbreitet. Bei der Herstellung von Behältern und Bauteilen aus Wickelrohren wird meistens das kontinuierliche Extrusions-



Bild 4: PE-Großmuffe Fig. 4: Large-diameter PE sleeve



Bild 5: Heizwendelschweißen an einem Wickelrohr d 1.800 mm
Fig. 5: Sleeve welding with an incorporated electric heating element on a wound pipe, d 1,800 mm

schweißverfahren gemäß DVS 2207-4 angewandt. Selbstverständlich können auch Rohre untereinander mit diesem Verfahren verbunden werden. Zu empfehlen ist diese Verbindungstechnik aus Kostengründen jedoch nur in Verbindung mit Wickelrohren, die über eine Muffen-Spitzenden-Kombination die Schweißnahtvorbereitung deutlich vereinfachen. Hauptvorteil des Verfahrens ist, dass es die Herstellung individueller Konstruktionen ermöglicht.

Bei der Auslegung der Bauteile ist zu beachten, dass nur durch das kontinuierliche Extrusionsschweißverfahren der Mindestzeitstandzug-Schweißfaktor f_s von 0,6 erreicht werden kann.

in this way. The melt solidifying due to the cooling then generates the required pressing-on pressure in the joining face. The energy is supplied with the aid of a welding transformer. The process is also characterised by a high degree of automation.

Perfect welding preparation is decisive for the manufacture of high-quality joints by means of sleeve welding with an incorporated electric heating element. For example, this includes the exact alignment of the components and the removal of the "oxide coat". An incompletely or inadequately removed "oxide coat" or a soiled welding surface leads to welding defects.

In Europe today, the area of application of HM welding for pressure pipelines covers outside diameters from d 20 mm to d 1,200 mm. The heater spiral fittings offered on the market are being permanently extended to larger nominal widths. In the meantime, all the required tools (e.g. peeling device) are also available for these dimensions.

In larger dimensions, this process is utilised very successfully in conjunction with the wound pipe technology in the case of open channels and lines with low operating pressures (up to 3 bar). The essential advantages of the process are, in particular, the considerably lower machine expenditure in comparison with HS welding and the possibility of welding even large diameters in the trench. Further advantages of sleeve welding with an incorporated electric heating element over heated tool butt welding are the substantially lower energy consumption per weld and the shorter welding times. In the case of large dimensions, the working time is decreased by as much as 40 % compared with heated tool butt welding. If the work is carried out in parallel, which is possible in the case of sleeve welding with an incorporated electric heating element because of the low investment costs (one welding device costs less than Euro 4,000), the required time is reduced considerably once again since no personnel is needed for the actual welding and cooling. The working time per weld is thus reduced by as much as 45 % in addition. In contrast with heated tool butt welding in which the heated tool must be kept at the temperature during other work steps and breaks, no power is lost in the case of sleeve welding with an incorporated electric heating element. For example, the actual power required per weld in HM welding is merely approx. 10 % of what is needed in the case of HS welding.

2.3 Hot gas extrusion welding

Hot gas extrusion welding is widespread in the industrial sector. In most cases, the continuous extrusion welding process according to DVS 2207-4 is applied to the manufacture of tanks and components consisting of wound pipes. Of course, pipes can also be joined to each other with this process. However, for cost-related reasons, this joining technique should be recommended only

Für das Schweißen der Dimensionen > 2.400 mm gibt es kaum eine Alternative zum Extrusionsschweißen. Für diese Abmessungen stehen dem Anwender Extrusionsschweißautomaten zum kontinuierlichen Schweißen zur Verfügung. Diese Anlagen zeichnen sich unter anderem durch einen großen Masseausstoß (bis zu 8 kg/h), stufenlos regelbaren Vorschub (Schweißgeschwindigkeit) und gleichmäßigen Fügedruck aus. Der Schweißzusatz wird über einen beheizten Schlauch vom eigentlichen Extruder zum Schweißkopf geführt (Bild 6). Die zu schweißende Wanddicke im Muffenbereich beträgt üblicherweise mindestens 20 mm. Deshalb ist in der Praxis ein zweilagiges Schweißen erforderlich, um eine ausreichende Nahtüberdeckung zu erhalten. Für eine Verbindung DN 3.000 (ca. 9,0 m Schweißnaht) werden ca. 3 Stunden Arbeitszeit benötigt.

2.4 Anforderungen an das Schweißpersonal

Gerade bei großen Durchmessern müssen die Schweißer über einen geeigneten Ausbildungsnachweis bzw. eine Schweißerprüfung für das anzuwendende Schweißverfahren verfügen. Ausbildungsstätten in Deutschland bieten spezielle Kurse für die verschiedenen Schweißverfahren mit abschließenden Prüfungen zum Schweißen von Großrohren an.

2.5 Schweißdatenerfassung und Dokumentation

Genau so wichtig wie eine fachgerechte Ausführung der Schweißung ist die Dokumentation des Schweißprozesses und der verwendeten Bauteile bei der Rohrleitungsverlegung. Dazu werden für durchgeführte Schweißungen Protokolle erstellt, in denen neben den Schweißparametern und Bauteilen auch umfassende Daten zu Verlegefirma, Schweißer, Auftragsnummer, Witterung, Maschinentyp usw. festgehalten werden (z. B. Schweißprotokoll nach DVS 2207-1).

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

2.6 Welches Verfahren ist für welchen Anwendungsfall am besten geeignet?

Jedes der zuvor beschriebenen Schweißverfahren hat seine Berechtigung. Vereinfacht können die Haupteinsatzgebiete wie folgt zusammengefasst werden:

- Das WE-Schweißen wird bei sehr großen Abmessungen und Sonderbauwerken bevorzugt eingesetzt. Aufgrund der geringen Verlegegeschwindigkeit verliert es immer dann an Bedeutung, wenn eines der beiden anderen Verfahren eingesetzt werden kann.
- Das HM-Schweißen ist ein schnelles Verfahren und besonders bei kleineren Baustellen (Einrichtung der Baustelle, Anschaffungskosten der Geräte) sehr praktikabel. Für hohe Betriebsdrücke sind die Durchmesser noch eingeschränkt. Der Preis des Formteils ist in der Kalkulation zu berücksichtigen. Bei Wickelrohren hat sich diese Verbindungstechnik bis 2.400 mm Durchmesser bewährt.
- Das HS-Schweißen wird bis 2.000 mm Rohrdurchmesser eingesetzt. Besonders effizient ist diese Methode im Rahmen von Großprojekten, bei denen lange Abschnitte außerhalb des Rohrbettes vorgefertigt werden können.

3 Einsatz der Verfahren im Großrohrbereich

Durch die Erweiterung der Schweißverfahren zu immer größeren Durchmessern und Wanddicken ist der bisher durch Untersuchungen abgesicherte

in conjunction with wound pipes which considerably simplify the weld preparation using a combination of a sleeve and a pointed end. The main advantage of the process is that it permits the manufacture of individual structures.

With regard to the design of the components, it must be borne in mind that the minimum tensile creep welding factor f_c of 0.6 can only be reached using the continuous extrusion welding process.

For the welding of dimensions > 2,400 mm, there is hardly any alternative to extrusion welding. For these dimensions, automatic extrusion welding installations for continuous welding are available to the user. The characteristics of these installations include a high material output (up to 8 kg/h), an infinitely adjustable advance (welding speed) and a uniform joining pressure. The welding filler material is guided from the actual extruder via a heated hose to the welding head (Fig. 6). The wall thickness to be welded in the sleeve area is usually min. 20 mm. Therefore, two-pass welding is required in practice in order to obtain a sufficient weld coverage. A working time of about three hours is needed for a DN 3,000 joint (weld length: approx. 9.0 m).

2.4 Requirements on the welding personnel

Precisely in the case of large diameters, the welders must possess suitable proof of training and a welder qualification test for the welding process to be applied. Training centres in Germany offer special courses for the various welding processes with final qualification tests for the welding of large-diameter pipes.

2.5 Welding data acquisition and documentation

The documentation of the welding process and of the components used for laying the pipeline is just as important as the proper execution of the welding. For this purpose, record sheets in which not only the welding parameters and the components but also comprehensive data about the laying company, the welder, the order number, the weather conditions, the machine type etc. are stated (e.g. welding record sheet according to DVS 2207-1) are elaborated for executed welds.

In practice, butt welding machines and devices for sleeve welding with an incorporated electric heating element and automatic recording are being utilised more often today. These store the applied welding parameters and additional information which can be either printed out or archived.

2.6 What process is most suitable for what application?

Each of the welding processes described above has its justification. The main areas of utilisation may be summarised in simplified terms - as follows:

- WE welding is preferably utilised in the case of very large dimensions and special structures. Because of the low laying speed, it becomes less significant whenever one of the other two processes can be utilised.
- HM welding is a quick process and is very practicable particularly for smaller building sites (setting-up of the building site and procurement costs of the devices). The diameters are still restricted for high operating pressures. The price of the fitting must be taken into consideration in the calculation. In the case of wound pipes, this joining technique has proven to be suitable for diameters up to 2,400 mm.
- HS welding is utilised for pipe diameters up to 2,000 mm. This method is particularly efficient within the framework of large-scale projects in which long sections can be prefabricated outside the pipe bed.

3 Utilisation of the processes in the large-diameter pipe range

That range in the set of rules which has been validated by means of investigations until now has been left because the welding processes have been

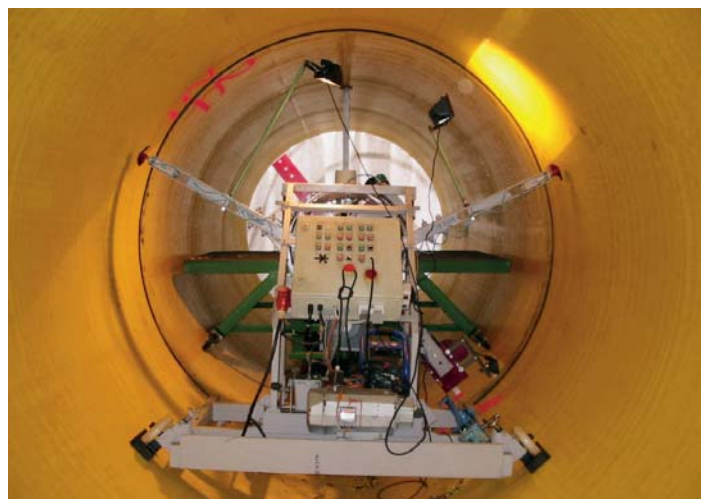


Bild 6: Schweißautomat für Durchmesser bis d 3.000 mm
Fig 6: Automatic welding installation for diameters up to d 3,000 mm

Regelwerksbereich verlassen worden. Nur das Extrusionsschweißen kann durchmesserunabhängig angewandt werden. Will man die anderen beiden Verfahren jedoch auf die Großrohrtechnologie übertragen, muss man zur Erreichung der optimalen Fügequalität die Besonderheiten beim HM- und HS-Schweißen beachten. Dabei soll anhand von drei Projekt-Beispielen gezeigt werden, dass der bisher bekannte Stand der Technik, der auch in den aktuellen Normen und Richtlinien dokumentiert ist, erfolgreich auf größere Dimensionen übertragen werden kann.

4 HS-Schweißen von PE-100-Großrohren

Die HS-Schweißmethode hat sich seit Jahrzehnten bereits bei Kunststoffrohren kleinerer Dimensionen bewährt. Bei Großrohren ist sie, wenn die Maßnahmen eine Verbindung außerhalb der Rohrtrasse erlauben, häufig auch die kostengünstigste Verbindungstechnik (Bild 7).

Diese Technologie wurde bereits in den 70er Jahren für Wanddicken bis 30 mm hinsichtlich Kurzzeit- und Langzeitfestigkeit untersucht. Schon 1970 wurden von Diedrich und Gaube erste Studien durchgeführt.

Darüber hinaus wurde 1980 von Diedrich und Kempe der Einfluss des Schmelzindex des Werkstoffes auf die Schweißnahtqualität untersucht und publiziert. Die Ergebnisse dieser Untersuchungen waren Grundlage für die DVS-Richtlinien DVS 2207-1, DVS 2203-1, DVS 2205-1.

1980 wurde in Deutschland ein Großversuch durchgeführt, mit dem Ziel, Schweißparameter für die Heizelementstumpfschweißung von PEHD-Rohrleitungskomponenten mit Rohrwanddicken bis 45 mm zu optimieren. Damit wurde ein wichtiger Meilenstein für die Ausweitung dieser Schweißtechnik für Großrohre gesetzt. Die Universitäten von Aachen, Paderborn und Kassel sowie Partnerfirmen aus der einschlägigen Industrie (Rohstoffhersteller, Rohrerhersteller, Formteilproduzenten und Schweißmaschinenhersteller) waren damals an diesem Projekt beteiligt.

Interne Forschungen bei der früheren Hoechst AG in Frankfurt, bei denen der Einfluss der Heizelementtemperaturen auf die Langzeitfestigkeit von PEHD-Stumpfschweißnähten untersucht wurden, ergaben, dass die Variation der Heizelementtemperatur zwischen 180°C bis 250°C keine negative Auswirkung auf die Schweißigenschaften bei dem damals verwendeten PE-80-Werkstoff hatten. Die Variation der Fügedrücke von 0,15 N/mm² und 0,45 N/mm² wurde ebenfalls mit durchgehend guten Schweißergebnissen abgeschlossen.

In anderen Ländern Europas, den USA und Japan wurden ähnliche Forschungsprojekte in den vergangenen Jahrzehnten gestartet, um die optimalen Schweißparameter für die Heizelementstumpfschweißung festzulegen. Bei diesen Untersuchungen wurden die damals verfügbaren Werkstofftypen PE 63 bzw. PE 80 verwendet.

Im Folgenden wurden von den einzelnen nationalen Normorganisationen

extended to ever larger diameters and wall thicknesses. Only extrusion welding can be applied independently of the diameter. However, if the intention is to transfer the other two processes to the large-diameter pipe technology, it is necessary to pay attention to the particular characteristics of HM and HS welding in order to achieve the optimum joining quality. In this respect, three project examples should serve to show that the state of the art which has been known until now and is also documented in the current standards, guidelines and technical codes can be successfully transferred to larger dimensions.

4 HS welding of large-diameter PE 100 pipes

For decades already, the HS welding method has proven to be suitable for plastic pipes with smaller dimensions. In the case of large-diameter pipes, it is also frequently the most cost-favourable joining technique if the measures permit a joint outside the pipe route (Fig. 7).

In the 70s, the short-time and long-time strengths of this technology were already investigated for wall thicknesses up to 30 mm. As early as 1970, the first studies were conducted by Diedrich and Gaube.

Furthermore, the influence of the melt index of the material on the weld quality was investigated and publicised by Diedrich and Kempe in 1980. The results of these investigations were the basis for the DVS 2207 1, DVS 2203 1 and DVS 2205 1 technical codes.

In 1980, a large-scale test was performed in Germany with the objective of optimising welding parameters for the heated tool butt welding of PEHD pipeline components with pipe wall thicknesses up to 45 mm. Thus, an important milestone was set for extending this welding technique to large-diameter pipes. The universities in Aachen, Paderborn and Kassel as well as partner companies from the relevant industry (raw material manufacturers, pipe manufacturers, fitting producers and welding machine manufacturers) were involved in this project at that time.

Internal research at the former Hoechst AG in Frankfurt in which the influence of the heated tool temperatures on the long-time strength of PEHD butt welds

was investigated indicated that the variation in the heated tool temperature between 180°C and 250°C did not have any negative effect on the welding properties in the case of the PE 80 material used at that time. The variation in the joining pressures of 0.15 N/mm² and 0.45 N/mm² was always concluded with good welding results as well.

In other countries in Europe, in the USA and in Japan, similar research projects were started in the past decades in order to stipulate the optimum welding parameters for heated tool butt welding. The PE 63 and PE 80 material types available at that time were used during these investigations.

The individual national standards organisations stipulated welding parameters which result in a welding parameter window as summarised below (Fig. 8). Long-time investigations have shown that all the welding parameters within this window fulfil the demanded long-time properties. These guidelines and technical codes are valid for PE 80 material types but are also applied to the PE 100 material types which have been utilised more often for around eight years.

The earlier investigations are primarily based on the PE 80 material generation and on pipe wall thicknesses up to 45 mm. In order to prove the long-time strength of welded PE 100 pipes with wall thicknesses > 45 mm, new research projects were announced and implemented in the past years.

One of these investigations was initiated by Agru Kunststofftechnik GmbH in Austria in order to prove that the various welding methods could also be applied to PE 100 materials for large wall thicknesses. For this purpose, pipes with the dimensions of 500 mm, SDR 11, were joined together according to three different welding guidelines and technical codes. In detail, these were:

- DVS (technical code of the German Welding Society) / (D)
- WIS (water industry guideline) / (UK)
- JIS (Japanese welding guideline)

The tests on the welds included the tensile creep test according to DVS 2203-4. The following findings were obtained in this respect:

In the case of all the tested specimens which were welded according to the DVS technical code and the JIS guideline, the fractures occurred in the notch



Bild 7: Verlegung von Großrohren Fig. 7: Laying of large-diameter pipes

Schweißparameter festgelegt, die zusammengefasst (Bild 8) ein Schweißparameterfenster ergeben. Langzeituntersuchungen haben gezeigt, dass alle Schweißparameter innerhalb dieses Fensters die geforderten Langzeiteigenschaften erfüllen. Diese Richtlinien haben Gültigkeit für PE-80-Werkstofftypen, werden aber auch für die seit ca. 8 Jahren vermehrt eingesetzten PE-100-Werkstofftypen angewendet.

Die früheren Untersuchungen basieren in erster Linie auf der Werkstoffgeneration PE 80 und Rohrwanddicken bis 45 mm. Um die Langzeitfestigkeit von PE-100-geschweißten Rohren mit Wanddicken > 45 mm nachzuweisen, wurden in den vergangenen Jahren neue Forschungsprojekte ausgeschrieben und realisiert.

Eine dieser Untersuchungen wurde von der Agru Kunststofftechnik GmbH in Österreich initiiert, um die Anwendbarkeit der verschiedenen Schweißmethoden auch für PE-100-Werkstoffe für große Wanddicken nachzuweisen. Dazu wurden Rohre der Dimension 500 mm SDR 11 nach drei verschiedenen Schweißrichtlinien zusammengefügt. Dies waren im Einzelnen:

- DVS (Richtlinie des deutschen Verbandes für Schweißen und verwandte Verfahren)/(D),
- WIS (Water Industry Richtlinie)/(UK),
- JIS (Japanische Schweißrichtlinie).

Geprüft wurden die Schweißungen unter anderem im Zeitstandzugversuch nach DVS 2203-4. Dabei wurden folgende Erkenntnisse gewonnen:

Bei allen getesteten Proben, die nach DVS- und JIS-Richtlinie verschweißt wurden, traten die Brüche in der Kerbe zwischen Wulst und ursprünglichem Material auf (Bild 9). Das heißt, die Risse wurden an der Außenrohroberfläche im Bereich des Wulstüberganges initiiert. Dieses Bruchverhalten von geschweißten Verbindungen, bei denen der Bruch im ursprünglichen Material (d. h. außerhalb der Schweißnaht) auftritt, beginnend von der Kerbe zwischen dem ursprünglichen Material und dem Schweißwulst, steht in enger Verbindung mit der langsamen Rissfortbildung bzw. der Kerbempfindlichkeit des eingesetzten Werkstoffes.

Dieser Zusammenhang lässt auch die Schlussfolgerung zu, dass die Werkstoffqualität einen beträchtlichen Einfluss auf die erzielbare Langzeitschweißnahtfes-

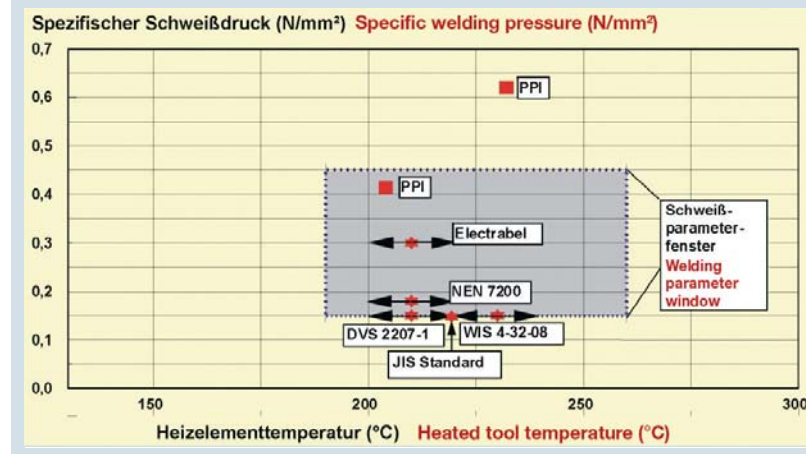


Bild 8: Empfohlene Parameter für die Heizelementstumpfschweißung von Rohren aus PE 80 und PE 100 (gemäß den einschlägig gültigen Schweißrichtlinien)

Fig. 8: Recommended parameters for the heated tool butt welding of pipes made of PE 80 and PE 100 (according to the welding guidelines and technical codes with relevant validity)

tigkeit hat und damit die Lebensdauer des gesamten Rohrsystems beeinflusst. Erfahrungen zeigten auch, dass bei Heizelementstumpfschweißungen zwischen PE 80 und PE 100 im PE-80-Teil der Schweißung Fehler auftreten, wenn das geschweißte Halbzeug isotrope und homogene Eigenschaften über der gesamten Wanddicke aufweist. Ursache für dieses Phänomen ist das schlechtere Verhalten von PE 80 gegenüber langsamem Risswachstum (niedrigere FNCT-Standzeiten). Gerade für Rohrsysteme größerer Nennweiten ist daher der Einsatz von qualitativ hochwertigen PE-Typen in PE 100 mit sehr guten FNCT-Eigenschaften erforderlich und empfohlen.

Mit dieser Untersuchung wurde nachgewiesen, dass die verwendeten Schweißrichtlinien auch für PE-100-Werkstoffe und Großrohre mit erhöhten Wanddicken anwendbar sind. Lediglich bei den nach WIS geschweißten Proben traten teilweise Brüche in der Fügeebene auf. Die Standzeiten lassen aber bei allen untersuchten Verfahren für eine Umgebungstemperatur von 20 °C für das Betriebsmedium Wasser analog zum ungeschweißten Rohr eine Lebensdauer von mindestens 100 Jahren erwarten.

4.1 Projektbeispiel: HS-Schweißen von Großrohren aus PE 100 d 1400 auf Fiji

In diesem Abschnitt soll das Heizelementstumpfschweißen von Großrohren an einem in 2004 durchgeführten Objekt in Suva/Fiji erläutert werden. Bei dieser Rohrleitung handelt es sich um eine Meerauslaufleitung d 1.400 SDR 26 mit einer Gesamtlänge von etwa 2.000 m.

Die Gesamtlänge teilt sich in eine etwa 400 m lange Strecke vom Klärwerk zum

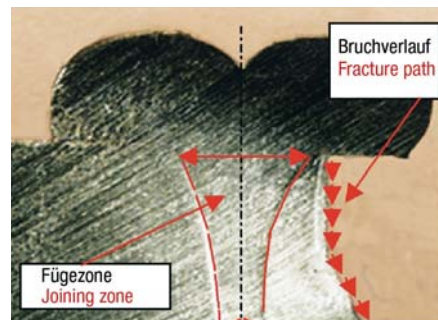


Bild 9: Typische Rissbildung bei guten stumpfgeschweißten PE-Verbindungen

Fig. 9: Typical cracking in the case of PE joints with good butt welding

between the bead and the original material (Fig. 9). This means that the cracks were initiated on the outside pipe surface in the area of the bead interface. This fracture behaviour of welded joints in which the fracture occurs in the original material (i.e. outside the weld), beginning from the notch between the original material and the welding bead, is closely connected with the slow crack propagation and the notch sensitivity of the utilised material.

This connection also permits the conclusion that the material quality has a considerable influence on the attainable long-time weld strength and thus influences the service life of the whole pipe system.

Experience also showed that, in the case of heated tool butt welds between PE 80 and PE 100, defects arise in the PE 80 part of the weld if the welded semi-finished product exhibits isotropic and homogeneous properties across the entire wall thickness.

This phenomenon is caused by the worse behaviour of PE 80 with regard to slow crack growth (lower FNCT creep rupture times). Therefore, the utilisation of high-quality PE types in PE 100 with very good FNCT properties is required and recommended precisely for pipe systems with larger nominal widths. With this investigation, it was proven

that the welding guidelines and technical codes used are also applicable to PE 100 materials and large-diameter pipes with increased wall thicknesses. In part, fractures occurred in the joining plane, but merely in the case of the specimens welded according to WIS. However, the creep rupture times lead to the expectation of a service life of at least 100 years with all the investigated processes for an ambient temperature of 20°C for water as the operating medium in analogy to the unwelded pipe.

4.1 Project example: HS welding of large-diameter pipes made of PE 100, d 1,400 mm, in Fiji

The heated tool butt welding of large-diameter pipes on an object carried out in Suva/Fiji in 2004 is to be explained in this section. This pipeline is a sea discharge line, d 1,400 mm, SDR 26, with a total length of approx. 2,000 m. The total length is divided into an approx. 400 m long section from the sewage treatment plant to the sea and a 1,600 m long section which was sunk in the sea. The individual pipe lengths to be welded had a length of 18 m. In addition to standard pipes, special components (e.g. diffusers) and fittings fabricated from pipe were also installed. With regard to the welding of large pipe dimensions (Fig. 10), the process steps

Meer und eine 1.600 m lange Strecke auf, die im Meer abgesenkt wurde. Die einzelnen zu schweißenden Rohrlängen hatten eine Länge von 18 m. Neben Standardrohren wurden auch Sonderbauteile (z. B. Diffusor) und aus Rohr gefertigte Formteile eingebaut. Beim Schweißen großer Rohrdimensionen (Bild 10) sind die Verfahrensschritte und die Grundregeln die gleichen wie bei kleinen zu schweißenden Rohren.

Aufgrund der Dimensionen, der Gewichte und der benötigten Leistungsaufnahme der Geräte ist aber bereits beim Vorbereiten des Schweißplatzes vor Beginn der Schweißarbeiten neben den jeweils gültigen Normen und Richtlinien besonders auf folgende Punkte zu achten:

- Die einzusetzende Schweißmaschine muss die benötigten Fügedrücke (Bewegungsdrücke beachten!) auf-

bringen können. Auftretende Kräfte bei normaler und sachgerechter Handhabung müssen von der Maschine aufgenommen werden können.

- Die Spaneinrichtung muss ein Runden der Rohre im zulässigen Toleranzbereich gewährleisten.
- Der Untergrund muss bei stationärer Schweißdurchführung ausreichend befestigt sein (Bild 11).
- Gutes Hebwerkzeug (für Rohre, ggf. Heizelement und Planhobel) muss vorhanden sein.
- Für die Dimension ausgelegte und sichere Hilfswerkzeuge wie u. a. Trennwerkzeuge müssen vorhanden sein (z. B. geführte Umlaufkreissägen).
- Stabile Strom- und Spannungsversorgung muss gewährleistet sein.
- Damit die Bewegungsdrücke so gering wie möglich gehalten werden und die

and the basic rules are the same as those when small pipes are to be welded.

However, due to the dimensions, the weights and the required power input of the devices, attention must be paid, already during the preparation of the welding location before the beginning of the welding work, not only to the standards, guidelines and technical codes applicable in each case but also, in particular, to the following points:

- The welding machine to be utilised must be able to apply the required joining pressures (comply with the movement pressures!). The machine must be able to accommodate any forces arising during normal and proper handling.
- The clamping facility must guarantee the rounding of the pipes in the permissible tolerance range.

- The substrate must be stabilised sufficiently if the welding work is carried out in a stationary position (Fig. 11).
- Good hoisting tools (for the pipes and, if necessary, for the heated tool and the plane) must be available.
- Safe auxiliary tools designed for the dimensions, also including cutting tools, must be available (e.g. guided circulating circular saws).
- Stable power and voltage supplies must be guaranteed.
- In order to keep the movement pressures as low as possible and to ensure the good alignment of the pipes to be welded, provision must be made for enough dollies or mobile pipe supports.
- The material and the jigs for the closing of the pipe ends during the welding operation must be provided (chimney effect).



Bild 10: PE-100-Rohr der Dimension d 1.400 SDR 26
Fig. 10: PE 100 pipe in the dimensions of d 1,400 mm, SDR 26



Bild 12: Einlegen der Rohre in die Schweißmaschine
Fig. 12: Insertion of the pipes into the welding machine



Bild 11: Überdachter und befestigter Schweißplatz
Fig. 11: Roofed and stabilised welding location



Bild 13: Blick in das Rohr mit eingesetztem Planhobel
Fig. 13: View into the pipe with an inserted plane

zu schweißenden Rohre gut ausgerichtet werden können, sind ausreichend Rollenböcke bzw. bewegliche Rohraufgaben vorzusehen.

- Material/Vorrichtungen zum Verschieben der Rohrenden während des Schweißvorgangs sind vorzuhalten (Kamineffekt).
- Der Schweißbereich ist vor ungünstigen Witterungseinflüssen zu schützen (Bild 11).
- Das Schweißpersonal muss für die zu verarbeitenden Nennweiten ausreichend Erfahrung mitbringen.
- Grundsätzlich ist zu empfehlen, Schweißproben vor Beginn der eigentlichen Ausführung zu erstellen.

Unter Beachtungen dieser Punkte konnte bei der Verlegung der Seeauslaufleitung ein schneller und unproblematischer Baustellenablauf gewährleistet werden.

Die zu schweißenden Rohrleitungsteile wurden zunächst auf ausgerichtete Fahrwagen aufgelegt und in die Maschine eingespannt. Dadurch konnte der Bewegungsdruck sehr gering gehalten werden. Bild 12 zeigt das Einlegen der Rohre in die Schweißmaschine und das Vorreinigen der Rohrenden.

Nach dem Planhobeln (Bild 13) und der Versatzkontrolle beginnt der eigentliche Schweißvorgang.

Der ermittelte Bewegungsdruck der Maschine lag bei 3 bis 5 bar bei einem 18 m langen Rohrstück (entspricht ca. 4.000 kg). Die Umstellzeiten (Öffnen der Maschine, Heizelemententfernen und Rohrenden wieder auf Berührung zusammenfahren) konnten sehr kurz (unter den Vorgaben des DVS) gehalten werden. Ausschlaggebend dafür war vor allem die gute Vorbereitung vor Beginn der Schweißarbeiten.

Die reine Schweißzeit inklusive Angleich-, Anwärm- (Bild 14), Umstell- und Abkühlzeit beträgt bei dieser Rohrdimension nach DVS-Schweißparametern ca. 75 Minuten.

Die vorgefertigten Rohrstränge hatten Längen von bis zu 400 m. Diese wurden an Land mit Betongewichten beschwert und über ein Schienensystem ins Meer ausgebracht. Das Absenken der Einzelstränge erfolgte durch Befüllen mit Wasser. Die Verbindung der einzelnen Rohrstränge wurde unter Wasser mit Losflaschen realisiert, die bereits vor dem Einschwimmen der Leitung an Land montiert wurden.

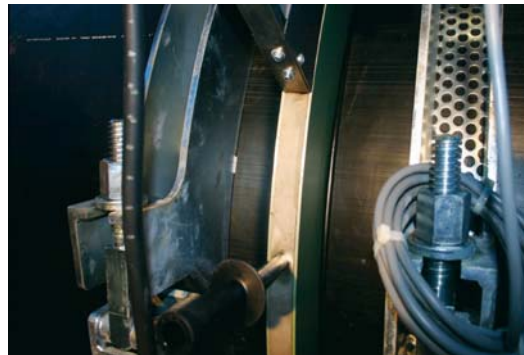


Bild 14: Angleichen und Anwärmen

Fig. 14: Alignment and heating-up



Bild 15: Fertig gestellte Schweißnaht

Fig. 15: Completed weld



Bild 16: Fertig gestellte Seeauslaufleitung

Fig. 16: Completed sea discharge line

Nach einer Bauzeit von 6 Monaten war die gesamte Verlegung erfolgreich abgeschlossen.

5 HS-Schweißen von Großrohren aus PP

Das zweite Praxisprojekt ist die Verrohrung der Sprühebene des Rauchgasreinigung des Braunkohlekraftwerks Grevenbroich-Neurath. Zum Einsatz kommen dort Bauteile aus Polypropylen, die Wanddicken bis 100 mm aufweisen. Für derartige Wanddicken gibt es bis dato ebenfalls keine gültigen Richtlinien. Deshalb waren die am Projekt beteiligten Firmen aufgefordert, die Schweißbarkeit der Rohre und Rohrleitungskomponenten für die geforderten Dimensionen nachzuweisen.

Dazu wurden auf Basis des DVS-Regelwerkes Schweißparameter und Prüfanforderungen abgeleitet, mit denen Probeschweißungen mit Wanddicken von 25, 50, 75 und 100 mm ausgeführt wur-

- The welding area must be protected from unfavourable weather influences (Fig. 11).
- The welding personnel must possess enough experience for the nominal widths to be processed.
- In principle, it must be recommended to manufacture welded specimens before the beginning of the actual execution.

By paying attention to these points, it was possible to guarantee a quick and unproblematical building site sequence during the laying of the sea discharge line.

The pipeline parts to be welded were firstly placed on aligned travelling carriages and were clamped in the machine. It was thus possible to keep the movement pressure very low. Fig. 12 shows the insertion of the pipes into the welding machine and the preliminary cleaning of the pipe ends.

The actual welding operation begins

after the planing (Fig. 13) and the checking of the misalignment.

The determined movement pressure of the machine was around 3-5 bar in the case of an 18 m long pipe piece (corresponds to approx. 4,000 kg). It was possible to keep the changeover times (open the machine, remove the heated tool and move the pipe ends together once again until they touch) very short (subject to the stipulations of DVS). It was primarily the good preparation before the beginning of the welding work which was decisive for this.

In the case of these pipe dimensions, the pure welding time including the alignment, heating-up (Fig. 14), changeover and cooling times is approx. 75 minutes according to the DVS welding parameters.

The prefabricated pipe trains had lengths of up to 400 m. These were weighed down with concrete weights on land and were moved out into the sea via a rail system. The individual trains were sunk by filling them with water. The individual pipe trains were joined under water with loose flanges which had already been assembled on land before the line was floated into position.

The entire laying was completed successfully after a construction time of six months.

5 HS welding of large-diameter pipes made of PP

The second practical project is the piping of the spraying levels of the flue gas cleaning installation at the lignite power station in Grevenbroich-Neurath. Components which are made of polypropylene and have wall thicknesses up to 100 mm are utilised there. Until now, there have been no guidelines or technical codes applicable to such wall thicknesses either. Therefore, the companies involved in the project were requested to prove the weldability of the pipes and pipeline components for the demanded dimensions.

For this purpose, welding parameters and testing requirements with which trial welds with wall thicknesses of 25 mm, 50 mm, 75 mm and 100 mm were executed were derived on the basis of the DVS set of rules. These trial welds were subsequently examined in the technological bending test.

The heated tool butt (Fig. 17) and extrusion welding processes were

den. Diese wurden anschließend im technologischen Biegeversuch überprüft. Als Schweißverfahren wurden für die Haupt- und Verteilerrohre sowie für die Formteile das Heizelementstumpf- (Bild 17) und Extrusionsschweißverfahren angewendet.

Dazu haben sich die Firmen Steuler Industrieller Korrosionsschutz GmbH, Reinert-Ritz GmbH, Frank & Krah Wickelrohr GmbH, Basell Polyolefine GmbH, Borealis Deutschland GmbH sowie die Hessel Ingenieurtechnik GmbH in einem industriellen Gemeinschaftsprojekt zusammengefunden.

In der Richtlinie DVS 2207-11 sind derzeit Schweißparameter für das Heizelementstumpfschweißen von PP-Rohren mit Wanddicken bis 50 mm angegeben. Das Prüfen von Schweißverbindungen an Tafeln und Rohren aus thermoplastischen Kunststoffen ist in den Richtlinien der DVS 2203 beschrieben. Zu den dort genannten zerstörenden Prüfverfahren zählen unter anderem der technologische Biegeversuch und der Zeitstandzugversuch.

Anforderungen an die Verbindungen in den Prüfverfahren sind in den Beiblättern der Richtlinie DVS 2203-1 genannt. Beiblatt 3 definiert unter anderem die geforderten Mindestbiegewege im technologischen Biegeversuch für geschweißte Probekörper aus PP mit Wanddicken bis 30 mm.

Ziel der Untersuchungen war, die Schweißparameter für die im Projekt auszuführenden Heizelementstumpfschweißverbindungen mit Wanddicken > 50 mm zu ermitteln. Dazu wurden auf Basis der in der Richtlinie DVS 2207-11 angegebenen Größen Schweißparameter für Wanddicken bis 100 mm erarbeitet (Bild 18).

Mit den gewählten Parametern sind Probenschweißungen von Rohren aus PP-H und PP-R mit Wanddicken von 75 und 100 mm hergestellt worden. Damit ein Vergleich mit dem DVS-Regelwerk hergestellt werden konnte, wurden ergänzend Rohre mit Wanddicken von 25 und 50 mm mit den in der Richtlinie DVS 2207-11 angegebenen Schweißparameter stumpfgeschweißt.



Bild 17: Heizelementstumpfschweißen von zwei PP-Wickelrohren in Anlehnung an DVS 2207-11

Fig. 17: Heated tool butt welding of two wound PP pipes with reference to DVS 2207-11

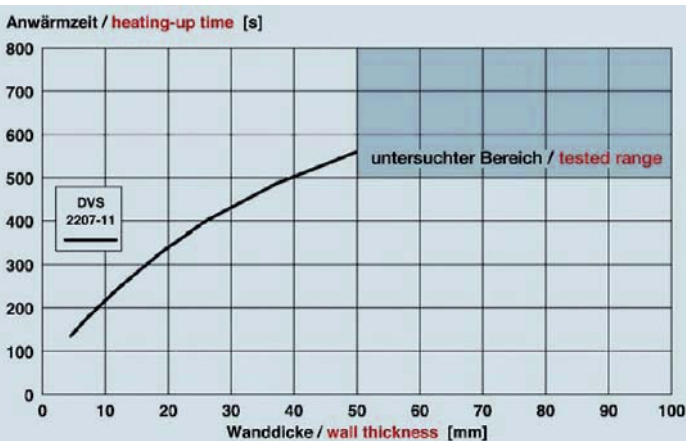


Bild 18: Anwärmzeiten für PP nach DVS 2207-1 für Wanddicken bis 50 mm und Extrapolationsbereich für Wanddicken bis 100 mm [Quelle: Grieser]

Fig. 18: Heating-up times for PP according to DVS 2207 1 for wall thicknesses up to 50 mm and extrapolation range for wall thicknesses up to 100 mm [source: Grieser]

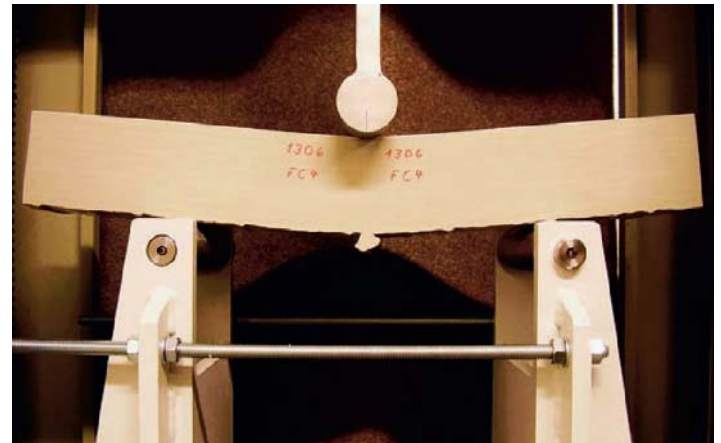


Bild 19: Technologischer Biegeversuch an einem geschweißten Probekörper mit einer Wanddicke von 100 mm [Quelle: Hessel Ingenieurtechnik GmbH]
Fig. 19: Technological bending test on a welded test specimen with a wall thickness of 100 mm [source: Hessel Ingenieurtechnik GmbH]

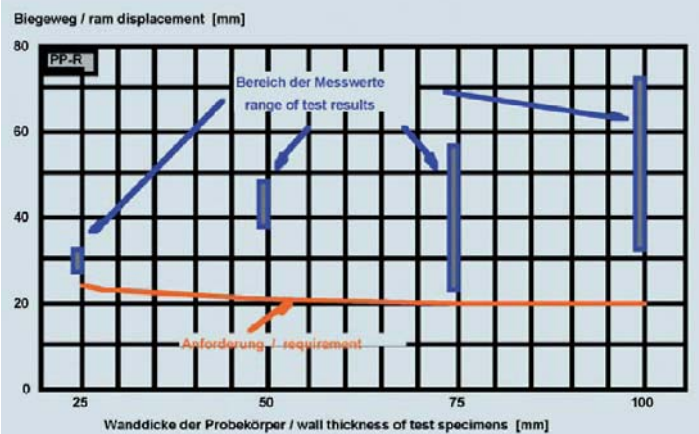


Bild 20: Biegeweg von Probekörpern aus PP-R im technologischen Biegeversuch [Quelle: Grieser]
Fig. 20: Bending path of test specimens made of PP R in the technological bending test [source: Grieser]

applied as the welding processes for the main and header pipes as well as for the fittings.

To this end, Steuler Industrieller Korrosionsschutz GmbH, Reinert-Ritz GmbH, Frank & Krah Wickelrohr GmbH, Basell Polyolefine GmbH, Borealis Deutschland GmbH and Hessel Ingenieurtechnik

GmbH came together in a joint industrial project.

At present, welding parameters for the heated tool butt welding of PP pipes with wall thicknesses up to 50 mm are indicated in the DVS 2207-11 technical code. The testing of welded joints between panels and pipes made of thermoplastics is described in the DVS 2203 technical codes. The destructive test procedures specified there include the technological bending test and the tensile creep test.

Requirements on the joints in the test procedures are specified in the supplements to the DVS 2203-1 technical code. Amongst other parameters, Supplement 3 defines the demanded minimum bending paths in the technological bending test for welded test specimens made of PP with wall thicknesses up to 30 mm. The objective of the investigations was to determine the welding parameters

Beim HS-Schweißen von Wickelrohren ist zu beachten, dass aufgrund ihres unterschiedlichen Außendurchmessers nicht die Standardspannbacken der Schweißgeräte verwendet werden können. Gerade für Dimensionen > DN 600 empfiehlt es sich daher, Schweißbacken einzusetzen, die sich dem jeweiligen Außendurchmesser anpassen können. Zur Bewertung der ausgeführten Probenschweißungen wurde zunächst der technologische Biegeversuch (Bild 19) ausgewählt.

Dieser Test liefert ein schnelles Ergebnis zur Qualität der Schweißnaht und Verformbarkeit der Schweißverbindung.

Auf Basis der Anforderungen der DVS-Richtlinie 2203-1 wurden die erforderlichen Mindestbiegewege für geschweißte Probekörper mit Wanddicken von 50, 75 und 100 mm abgeleitet.

Im Rahmen des Gemeinschaftsprojekts wurden mehr als 80 geschweißte Probekörper mit Wanddicken von 25, 50, 75 und 100 mm im technologischen Biegeversuch untersucht. Dabei lagen die erreichten Biegewege über den aus dem DVS-Regelwerk abgeleiteten Mindestanforderungen, wie am Beispiel der Probekörper aus PP-R in Bild 20 dargestellt.

Die Ergebnisse aus dem technologischen Biegeversuch belegen, dass die gewählten Schweißparameter geeignet sind, Bauteile aus Polypropylen mit Wanddicken bis 100 mm im Heizelementstumpfschweißverfahren in ausreichender Qualität zu fügen.

Zukünftig ist geplant, die Ergebnisse durch Untersuchungen mittels Zeitstandzugversuch abzusichern.

Mit diesen Erkenntnissen konnten anschließend von den beteiligten Firmen Baugruppen vorgefertigt werden, die den Belastungen in der Praxis standhalten.

6 HM-Schweißverbindungen von Wickelrohren aus PE 100 am Beispiel der Kläranlage Steinhäule

Das dritte Projekt, die Wasserführung und Wasserverteilung der Kläranlage des Zweckverbandes Steinhäule (Ulm/Neu-Ulm) soll neben der Verbindungstechnik mittels Heizwendelmuffen die ingenieurtechnische Betrachtung zur statischen Auslegung einer Abwasseranlage mit Betrachtung der konstruktiven Ausführung veranschaulichen.

Bei dieser Kläranlage waren frei verlegte Leitungen mit einem Innendurchmesser von DN 1.000 bis DN 1.400 für eine flexible Wasserführung und -verteilung vorgesehen. Die Rohre sollten mit Sonderbauteilen wie Abzweigungen, Schiebern, Wandeinbindungen und Reduktionen gefertigt und eingebaut werden. Dies erforderte eine detaillierte technische Vorplanung hinsichtlich der statischen Auslegungen und der konstruktiven Gestaltung der Rohrleitungen unter Berücksichtigung der Freiverlegung.

Im Gegensatz zu erdverlegten Rohren, die nach ATV-DVWKA 127 in Bezug auf Erdüberdeckung, Verdichtungsgrad, Verkehrslasten und Grundwasserdruck ausgelegt werden, sind bei frei verlegten Rohren andere Kriterien zu berücksichtigen. Hier sind insbesondere die Belastung aus möglichem Innendruck, thermischer Ausdehnung mit notwendigen Festpunktstrukturen sowie Stützweitenabstände zu betrachten.

Die Wärmeausdehnung wiederum ist relevant für die Wahl des Auflagers und die feste Einbindung der Rohre bei Wanddurchführungen. Ein Lasteintrag in die Armaturen durch Ausdehnung der Rohre musste bei dieser Maßnahme verhindert werden, da die konstruktive Betrachtung ergeben hatte, dass die gehäuselosen Plattenschieber keine Axial-

kräfte übertragen könnten. Für die Verbindungen, die in der Ausführung durch geschweißte Verbindungen ersetzt werden sollten, wurden die Parameter für die Ausführung der Verbindungen für die statische Auslegung der Abwasseranlage mit Betrachtung der konstruktiven Ausführung veranschaulicht.

Die dritte Projekt, die Wasserführung und Wasserverteilung der Kläranlage des Zweckverbandes Steinhäule (Ulm/Neu-Ulm) soll neben der Verbindungstechnik mittels Heizwendelmuffen die ingenieurtechnische Betrachtung zur statischen Auslegung einer Abwasseranlage mit Betrachtung der konstruktiven Ausführung veranschaulichen.

Im Rahmen des Gemeinschaftsprojekts wurden mehr als 80 geschweißte Probekörper mit Wanddicken von 25, 50, 75 und 100 mm im technologischen Biegeversuch untersucht. Dabei lagen die erreichten Biegewege über den aus dem DVS-Regelwerk abgeleiteten Mindestanforderungen, wie am Beispiel der Probekörper aus PP-R in Bild 20 dargestellt.

Die Ergebnisse aus dem technologischen Biegeversuch belegen, dass die gewählten Schweißparameter geeignet sind, Bauteile aus Polypropylen mit Wanddicken bis 100 mm im Heizelementstumpfschweißverfahren in ausreichender Qualität zu fügen.

Zukünftig ist geplant, die Ergebnisse durch Untersuchungen mittels Zeitstandzugversuch abzusichern.

Mit diesen Erkenntnissen konnten anschließend von den beteiligten Firmen Baugruppen vorgefertigt werden, die den Belastungen in der Praxis standhalten.

Die Ergebnisse aus dem technologischen Biegeversuch belegen, dass die gewählten Schweißparameter geeignet sind, Bauteile aus Polypropylen mit Wanddicken bis 100 mm im Heizelementstumpfschweißverfahren in ausreichender Qualität zu fügen.

Zukünftig ist geplant, die Ergebnisse durch Untersuchungen mittels Zeitstandzugversuch abzusichern.

Mit diesen Erkenntnissen konnten anschließend von den beteiligten Firmen Baugruppen vorgefertigt werden, die den Belastungen in der Praxis standhalten.

With these findings, the companies involved were subsequently able to pre-fabricate sub-assemblies which withstood the loads in practice.

6 HM-welded joints between wound pipes made of PE 100 using the example of the sewage treatment plant in Steinhäule

The third project, the water guidance and water distribution at the sewage treatment plant of Zweckverband Steinhäule (Ulm/Neu-Ulm), should illustrate not only the joining technique using heater spiral sleeves but also the engineering consideration of the static design of a waste water plant with consideration of the structural execution.

In the case of this sewage treatment plant, provision was made for exposed lines with an inside diameter from DN 1,000 to DN 1,400 for flexible water guidance and distribution. The pipes should be fabricated and installed with special components such as branches, slide gate valves, wall incorporation parts and reducers. This required detailed preliminary technical planning with regard to the static designs and the structural designing of the pipelines taking account of the exposed laying.

In contrast with buried pipes which are designed according to ATV DVWKA 127 in relation to the earth coverage, the degree of compaction, the moving loads and the ground water pressure, other criteria must be taken into account in the case of exposed pipes. Here, particular consideration must be given to the loading from any possible internal pressure, thermal expansion with necessary fixed-point structures as well as span distances.

In turn, the thermal expansion is relevant to the choice of the support and to the solid incorporation of the pipes in the case of wall bushings. The introduction of any load into the fittings due to the expansion of the pipes had to be prevented during this measure since the structural consideration had indicated that the parallel slide gate valves without a housing must not accommodate any axial forces from the pipelines.

The original planning for the construction of the new sewage treatment plant made provision for high-grade steel as the pipe material. For economic reasons, the planning engineering office investigated

the possibility of using polypropylene pipes. The results from the technological bending test prove that the chosen welding parameters are suitable for joining components made of polypropylene with wall thicknesses up to 100 mm in an adequate quality in the heated tool butt welding process.



alkräfte aus den Rohrleitungen aufnehmen dürfen.

Die ursprüngliche Planung für den Neubau der Kläranlage sah als Rohrwerkstoff Edelstahl vor. Aus wirtschaftlichen Gründen untersuchte das planende Ingenieurbüro die Variante mit PE 100 als Rohrleitungswerkstoff. Es zeigte sich ein deutliches Einsparpotenzial gegenüber der Edelstahlvariante.

Im Kunststoffbereich gibt es für solche Anwendungen zwei gängige Rohrtypen mit den dazugehörigen Herstellungsverfahren, zum einen strangextrudierte Rohre (Druckrohre) nach DIN 8074/75 und zum anderen gewickelte Rohre nach DIN 16961, die hauptsächlich im großdimensionierten Nennweitenbereich eingesetzt werden. Wickelrohre werden mit einem auf Schienen fahrbaren Extruder gefertigt. Das PE-Granulat wird als fortlaufendes, überlappendes Band in schmelzförmigem Zustand spiralförmig aufgewickelt.

Mit einem Coextruder kann bei diesem Herstellverfahren eine funktionale Innenschicht mit dem PE-Band im schmelzförmigen Zustand und unter hohem Druck vor dem Verlassen der Düse zusammengeführt werden. Dadurch ist beispielsweise die Herstellung einer hellen, inspektionsfreundlichen Innenfarbe möglich.

Beim HM-Schweißen ist der Zeitstandzugversuch, wie er beim HM-Schweißen zur Beurteilung der Schweißnahtqualität eingesetzt wird, nicht aussagekräftig, da die Fügeebene parallel zur Beanspruchung liegt. Der Test liefert also nie ein Versagen in der Fügeebene und kann somit nicht für die Beurteilung der Schweißnahtqualität herangezogen werden. Deshalb wurde die Prüfung dahingehend modifiziert, dass die Hauptbeanspruchungsrichtung im rechten Winkel zur Fügeebene liegt. Dazu wird der aus der Verbindung Rohr/Muffe hergestellte Probekörper mittels HS-Schweißung verlängert. Der Test ist unter anderem in der DVS-Richtlinie 2203-4 Beiblatt 1 ausführlich beschrieben.

Bild 22 zeigt schematisch den Versuchsablauf. Geprüft wird üblicherweise bei 80°C unter Netzmitteleinfluss. Neben dem Testergebnis (Standzeit bis zum Versagen der Probekörper) ist dabei auch der Bruchverlauf ein wesentliches Kriterium für die Qualität der Fügeverbindung (Forderung: Sprödbrechanteil

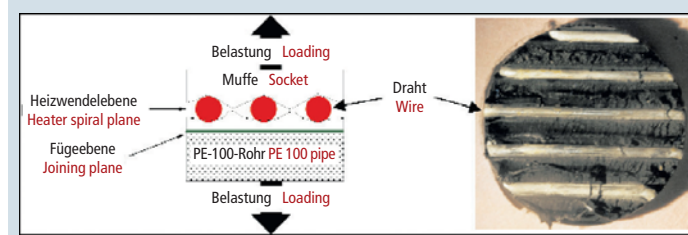
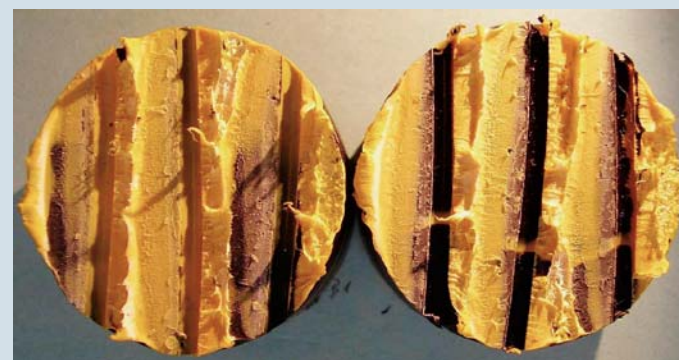


Bild 22: Schematische Darstellung zum Bruchverlauf an Heizwendelschweißverbindungen und typisches Bruchbild einer im Zeitstandzugversuch geprüften Probe (Rohrseite) [Quelle: Hessel Ingenieurtechnik GmbH]

Fig. 22: Schematic illustration of the fracture path in joints executed by means of sleeve welding with an incorporated electric heating element and typical fracture pattern of a specimen tested in the tensile creep test (pipe side) [source: Hessel Ingenieurtechnik GmbH]



**Bild 23: Bruchfläche einer Probeschweißung eines Wickelrohres DN 1.200
Fig. 23: Fracture face of a trial weld on a wound pipe, DN 1,200**

mindestens 30 %, optimal ist ein Bruchverlauf außerhalb der Fügeebene). Die mittels HM-Schweißung verbundenen Wickelrohre weisen Standzeiten auf, die im Bereich üblicher Muffen für kleine Durchmesser liegen. Die Bruchflächen (Bild 23) liegen dabei in der Heizwendelebene (also außerhalb der Fügeebene), was für eine hohe Qualität der Verbindung spricht.

Die statische Berechnung und Auslegung des Rohrleitungssystems waren bei diesem Projekt sehr aufwändig. Mit den üblichen numerischen Verfahren nach DVS 2210-1 konnten die Bereiche der Rohrleitung ohne Formteile nachgewiesen werden. Insbesondere die Nachweise für Innendruckbelastung, Festpunktkräfte infolge temperaturabhängiger Längenausdehnung sowie die Stützweiten konnten so berechnet werden. Die Ergebnisse dieser Nachweise führten dann zur konstruktiven Gestaltung der geraden Rohre zwischen den Formteilen. Es zeigte sich, dass die Rohrleitung aus PE 100 mit den gleichen Stützabständen verlegt werden kann, wie eine Edelstahlleitung. Ein deutlich erhöhter Rechenaufwand musste allerdings aufgrund der hohen Wärmeausdehnung

titigiert die variant mit PE 100 als the pipeline material. A substantial potential for saving was shown compared with the high-grade steel variant.

In the plastics field, there are two common pipe types with the relevant manufacturing processes for such applications: on the one hand, extruded pipes (pressure pipes) according to DIN 8074/75 and, on the other hand, wound pipes according to DIN 16961 which are mainly utilised in the nominal width range with large dimensions. Wound pipes are fabricated with an extruder travelling on rails. In the molten state, the PE granules are wound on helically as a continuous, overlapping strip. With a coextruder, a functional internal layer can, in the case of this manufacturing process, be combined with the PE strip in the molten state and subjected to a high pressure before they leave the nozzle. For example, this permits the manufacture of a light, inspection-friendly inside colour.

With regard to HM welding, the tensile creep test, as is utilised for the evaluation of the weld quality in the case of HM welding, is not meaningful since the joining plane is located parallel to the stress-

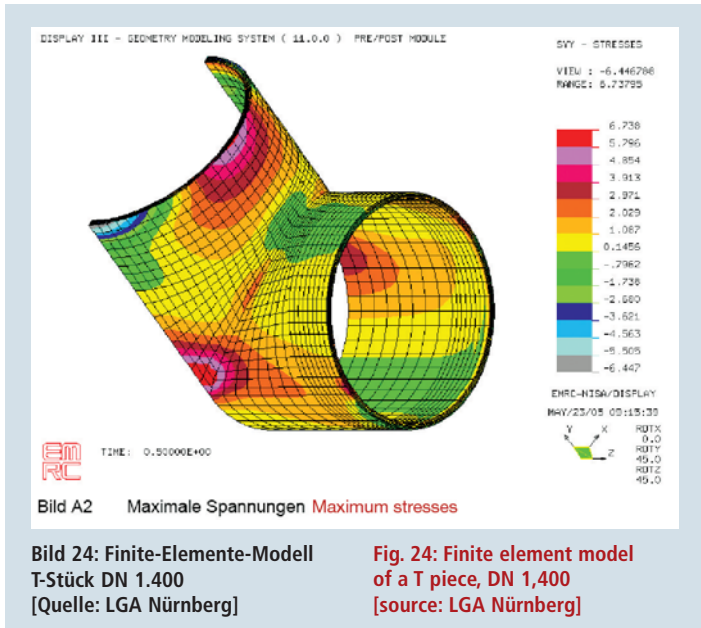
es. For this reason, the test never supplies a failure in the joining plane and thus cannot be used for the evaluation of the weld quality. Therefore, the test was modified to the effect that the main stress direction is located at a right angle to the joining plane. For this purpose, the test specimen manufactured from the joint between the pipe and the sleeve is extended by means of HS welding. The test is described in detail in the DVS 2203 4 technical code, Supplement 1 (amongst other guidelines and technical codes).

Fig. 22 shows the testing sequence schematically. The test is usually performed at 80°C under the influence of a wetting agent. In this case, not only the test result (creep rupture time until the failure of the test specimens) but also the fracture path are essential criteria for the quality of the joint (demand: brittle fracture proportion of min. 30 %, a fracture path outside the joining plane is optimum).

The wound pipes joined by means of HM welding exhibit creep rupture times which are in the same range as those of customary sleeves for small diameters. In this respect, the fracture faces (Fig. 23) are located in the heater spiral plane (i.e. outside the joining plane) which indicates a high quality of the joint.

The static calculation and design of the pipeline system were very complicated in the case of this project. The usual numerical procedures according to DVS 2210-1 could be used in order to prove the areas of the pipeline without any fittings. In this way, it was possible to calculate, in particular, the proof for the internal compression loading, the fixed-point forces due to temperature-dependent length extension as well as the spans. The results of this proof then led to the structural designing of the straight pipes between the fittings. It was shown that the pipeline made of PE 100 can be laid with the same spans as a high-grade steel line. However, a substantially increased scope of computation had to be carried out because of the high thermal expansion of PE ($\alpha = 0.18 \text{ mm/m} \cdot \text{K}$). As already described, the proof then also led to the designing of the fixed points in the area of the slide gate valves with force diversion and the stress-free installation of the slide gate valves.

The fittings such as T pieces, bends, reducers and fixed flanges had to be considered separately. These fittings were



all manufactured from a solid-walled wound pipe so that the required wall thickness could be produced exactly. The proof was provided with the aid of the finite element (FE) method (Fig. 24). In the case of the 90° branches, the subjects of the investigations using the FE model included the deformation and the maximum stresses. All in all, very high stresses arise. However, these act

to be executed with a considerably greater wall thickness (solid wall thickness of 42 mm) than that of the straight pipe. As a result of these deliberations, a pipeline system which was made of PE 100 and had been considered and calculated according to engineering aspects was then assembled in the installation passage.

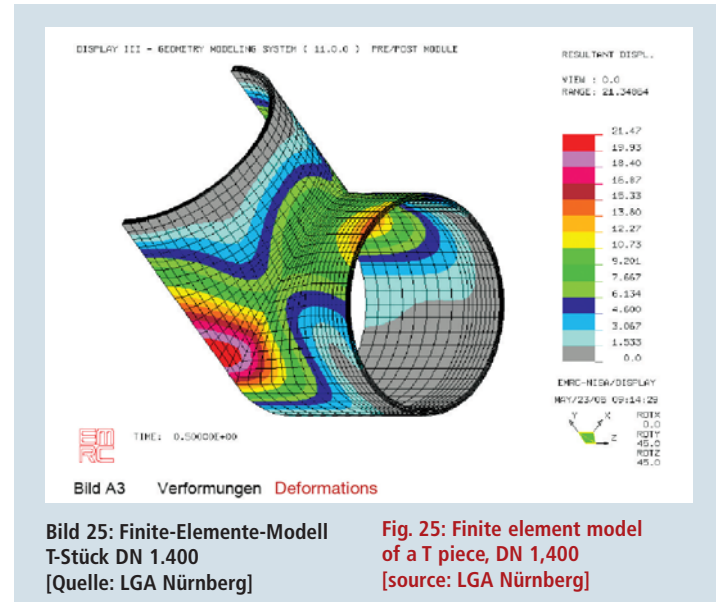


Bild 25: Finite-Elemente-Modell T-Stück DN 1.400
 [Quelle: LGA Nürnberg]

Fig. 25: Finite element model of a T piece, DN 1,400
 [source: LGA Nürnberg]

von PE ($\alpha = 0,18 \text{ mm/m} \cdot \text{K}$) geführt werden. Wie bereits beschrieben, führte dann auch dieser Nachweis zu der Gestaltung der Festpunkte im Bereich der Schieber mit Kraftumleitung und spannungsfreiem Einbau der Schieber. Die Formteile wie T-Stücke, Bögen, Reduktionen und Festflansche mussten gesondert betrachtet werden. Diese Formteile wurden alle aus vollwandigem Wickelrohr (VW) hergestellt, so dass die erforderliche Wanddicke genau produziert werden konnte. Der Nachweis wurde mit Hilfe der Finite-Elemente-Methode (FE-Methode) geführt (Bild 24). Untersucht wurden bei den 90°-Abzweigen unter anderem die Verformung und maximalen Spannungen über das FE-Modell. Insgesamt treten sehr hohe Spannungen auf, am stärksten greifen diese jedoch an den Außenseiten der Abwinkelung an. Die Verformung der fest einbetonierten Abzweige in Folge der Wärmeausdehnung wurde ebenfalls überprüft (Bild 25). Die stärksten Verformungskräfte wirken ebenfalls an den Außenseiten der Abwinkelung. Aus diesen Gründen mussten die 90°-Abzweige mit deutlich größerer Wanddicke (Vollwanddicke von 42 mm) ausgeführt werden als das gerade Rohr. Als Ergebnis dieser Überlegungen wurde dann ein ingenieurmäßig betrachtetes und berechnetes Rohrleitungssystem aus PE 100 im Installationsgang montiert. Die Röhre wurden offen in einem Installationsgang zwischen den acht Kaskaden des Beckens verlegt. Ursprünglich

sollte die Rohrleitung zwischen den Bauwerkswänden als fest eingespanntes System hergestellt werden. Dies hätte eine einfache Montage durch Schweißen der Rohrverbindungen und Ausführung mit Loslagern zwischen den Festpunkten bedeutet. Die Aufnahme der Längenänderungen war mittels Edelstahlkupplungen geplant. Das Hauptproblem war die erforderliche konstruktiv bedingte Auslösekraft der Kupplung (ca. 1,5 t). Die dadurch in der Rohrleitung auftretenden Kräfte konnten von den Plattenschiebern nicht aufgenommen werden. Zudem konnte keine der angefragten Hersteller die Dichtigkeit der Verbindung PE-Rohr zu

on the outside of the bend most strongly. The deformation of the permanently concreted-in branches due to the thermal expansion was examined as well (Fig. 25). The strongest deformation forces also take effect on the outside of the bend. For these reasons, the 90° branches had

The pipes were laid in an open position in an installation passage between the eight cascades of the basin. Originally, the pipeline between the walls of the structure were to be manufactured as a tightly clamped system. This would have entailed easy assembly by means of the welding of the pipe joints and the execution with loose bearings between the fixed points. It was planned to accommodate the changes in the length using couplings made of high-grade steel. The main problem was the required structurally induced triggering force of the coupling (approx. 1.5 t). The forces arising in the pipeline as a result of this could not be accommodated by the parallel slide gate valves. Moreover, none of the manufacturers asked were able to guarantee the leak tightness of the joint between the PE pipe and the coupling. This led to the change in the structure with a fixed point and an extension piece (FF pieces made of high-grade steel) which were required on each slide gate valve in order to achieve the load-free bearing of the slide gate valves (Fig. 26). The pipe ends were provided with a milled groove and were firmly assem-



Bild 26: Geflanshtes Rohr mit FF-Stück aus Edelstahl und Kraftumleitung um den Plattenschieber (Bild entstand in der Montagephase)

Fig. 26: Flanged pipe with an FF piece made of high-grade steel and force diversion around the parallel slide gate valve (the photograph was taken in the assembly phase)

Kupplung gewährleisten. Dies führte zur Änderung der Konstruktion mit Festpunkt und Ausbaustück (FF-Stücke aus Edelstahl), die an jedem Schieber erforderlich waren, um eine lastfreie Lagerung der Schieber zu erreichen (Bild 26). Die Rohrenden wurden mit einer gefrästen Nut versehen und fest auf ein Auflager montiert. Durch diese Festpunkt-konstruktion konnten die Kräfte aus der temperaturabhängigen Längenausdehnung aufgenommen und um den angeflanschten Plattenschieber herumgeleitet werden.

Dieses Projektbeispiel zeigt, wie eine ingenieurmäßige Vorbereitung und Planung in Verbindung mit einer fachgerechten Verlegung den Großrohren aus PE 100 neue Anwendungsgebiete erschließen kann. Die gewonnenen Erfahrungen können für Folgeprojekte verwendet werden und zeigen, dass PE 100 im Anlagenbau mehr als nur eine Alternative zu Edelstahl ist.

7 Fazit

Anhand von Untersuchungsergebnissen und Praxisbeispielen wurde gezeigt, dass die Heizelementstumpfschweißtechnik bei Großrohren aus Polyethylen und Polypropylen mit hohen Wanddicken eine hervorragend geeignete Verbindungstechnik ist.

Neben der Heizelementstumpfschweißung kommt auch die Heizwendelschweißung von PE 100 bei großen Dimensionen immer mehr zum Einsatz. Beide Verfahren werden in ihrer Anwendbarkeit ständig zu immer größeren Durchmessern erweitert. Das Warmgasextrusionsschweißen gilt bei Rohrverbindungen als Sonderverfahren und wird bei Abmessungen > 2.400 mm bevorzugt im drucklosen Bereich eingesetzt.

Der hohe Automatisierungsgrad und der geringe Zeitaufwand beim Heizwendelschweißen und Heizelementstumpfschweißen sind neben der vollen Druckbelastbarkeit der Verbindungen die Gründe dafür, dass diese Verfahren im großen Dimensionsbereich immer mehr an Bedeutung gewinnen.



Bild 27: Unterbau-konstruktion für ein Sonderbauteil (T-Stück DN 1.400 mit Reduktion auf DN 1.200)

Fig. 27: Substructure design for a special component (T piece, DN 1,400, with a reducer to DN 1,200)



Bild 28: Überblick in den Installationsgang mit den verlegten Leitungen DN 1.400, DN 1.200 und DN 1.000

Fig. 28: Overview of the installation passage with the laid lines, DN 1,400, DN 1,200 and DN 1,000

Literatur References

- [1] Diedrich, G., Kempe B.: Schweißen von Rohren und Fittings unterschiedlicher Polyethylen (HDPE)-Typen; Kunststoffe, Vol. 70 (1980) 2, pp. 87/89.
- [2] Frank, T.: Profilierte Kanalrohre aus PE – Heizwendelschweißverbindungen bis DN 1800, Plastics Pipes Conference, München, 2001.
- [3] Frank, T., Lueghamer, A.: Vom Rohr zum Komplettsystem, Wiesbadener Kunststoffrohrtage, 2007.
- [4] Grieser, J.: Schweiß- und Prüfparameter für Rohre aus Polypropylen (PP) mit Wanddicken bis 100 mm, Joining Plastics, 01/2008.
- [5] Haese, M., Sigges, C.: Ingenieurtechnische Betrachtungen zu frei verlegten Großrohren aus PE 100, 2007.
- [6] Hess, J., Böhm, T.: Gewinkelte Großrohre aus Polyethylen erschließen neue Einsatzmöglichkeiten, 3R international (43), Heft 4-5, 2004.
- [7] Hessel, J., John P.: Langzeitfestigkeit von HDPE-Schweißverbindungen, Kunststoffe, Vol. 74 (1984), pp. 385/388.
- [8] Hessel, J., Frank, T., Lueghamer, A.: Langzeitverhalten infrarotgeschweißter Rohrleitungssysteme aus PVDF und PP - Teil 2, 3R international, Heft 5, 2003, S. 282 - 287.
- [9] Hessel, J.: Das Langzeitverhalten von Schweißverbindungen an Halbzeugen aus Polyethylen – Eine Frage der Kerbempfindlichkeit, Joining Plastics, 02/2007.
- [10] John, P.: Heizelement-Stumpfschweißen von HDPE-Rohren bei tiefen Umgebungstemperaturen, Kunststoffe, Vol. 72 (1982), pp. 713/715.
- [11] John, P., Hessel J.: Heizelementschweißen von HDPE-Rohren und Platten; Einfluss des Versatzes auf die Qualität der Schweißverbindung, Kunststoffe, Vol. 75 (1985) 10, pp. 770/772.
- [12] Lenk, R.: Heizelementstumpf- und Extrusionsschweißen von PE-Rohren > 1000 mm, IRO Oldenburg, 2005.
- [13] Lueghamer, A.: Verbindungstechnik bei Großrohren, 18. Leobener Kunststoffkolloquium, 2004.
- [14] Michel, P.: Parameteroptimierung beim Heizelement-Stumpfschweißen am Beispiel von HDPE, Diplomarbeit, Universität Paderborn, 1987.
- [15] Taschenbuch DVS-Merkblätter und Richtlinien/ Fügen von Kunststoffen, Richtlinien des deutschen Verbands für Schweißen und verwandte Verfahren, 2008.

bled on a support. Due to this fixed-point structure, it was possible to accommodate the forces from the temperature-dependent length extension and to divert them around the flanged-on parallel slide gate valve.

This project example shows how engineering preparation and planning can, in conjunction with proper laying, open up new areas of application for the large-diameter pipes made of PE 100. The gathered experience can be used for follow-up projects and shows that PE 100 is more than just an alternative to high-grade steel in installation engineering.

7 Conclusion

On the basis of investigation results and practical examples, it was shown that the heated tool butt welding technique is an outstandingly suitable joining technique in the case of large-diameter pipes made of polyethylene and polypropylene with high wall thicknesses.

Not only heated tool butt welding but also sleeve welding with an incorporated electric heating element are being utilised increasingly for PE 100 in the case of large dimensions. The applicability of both processes is constantly being extended to ever larger diameters. Hot gas extrusion welding is regarded as a special process in the case of pipes joints and is utilised with dimensions > 2,400 mm preferably in the non-pressurised field.

In addition to the full compression load-bearing capacity of the joints, the high degree of automation and the short time required in the case of sleeve welding with an incorporated electric heating element and heated tool butt welding are the reasons why ever greater significance is being attached to these processes in the large dimension range.