

I Extrusionsschweißen von Dichtungsbahnen aus PE-HD

Dr.-Ing. Michael Gehde, Aachen

Dipl.-Ing. Carsten Tüchert, c/o Essen

1 Einleitung

Das Warmgasextrusionsschweißen ist ein ausgereiftes prozesssicheres Fügeverfahren in der Durchführung entsprechend der DVS-Richtlinien. Ingenieurstechnisch ist das Verfahren geprüft hinsichtlich:

- der Verfahrensdurchführung
- der Nahtgestaltung
- des Ausbildungswesens
- der Gerätetechnik und
- - der Prüftechnik.

Durch zunehmenden Kostendruck und Simplifizierung dieser bewährten Technologie ist das Warmgasextrusionsschweißen einer nicht zu unterschätzenden Problematik ausgesetzt. Die Folgen und Konsequenzen dieser „Einsparungen“ werden im folgenden dargestellt.

2 Warmgasextrusionsschweißen

Extrusionsschweißen ist ein überwiegend manuell auszuführendes Schweißverfahren unter Verwendung von kontinuierlich zugeführtem Zusatzwerkstoff. Bauteile mit einer Wandstärke bis zu 30 mm können in einem Arbeitsgang, also mit einer Fülllage gefügt werden. Anwendung findet das Verfahren hauptsächlich im Apparate-, Behälter-, Rohrleitungs-, Tief- und Kanalbau, sowie im Bauwesen und zum Grundwasserschutz bei Mülldeponien. Das Extrusionsschweißverfahren ist durch vier charakteristische Merkmale gekennzeichnet :

- Der Schweißzusatz tritt als Strang aus einer Plastifiziereinheit aus.
- Der Schweißzusatz ist homogen und vollständig plastifiziert.
- Die Fügeflächen sind auf Schweißtemperatur erwärmt und plastifiziert.
- Der Fügevorgang erfolgt unter Druck.

Die Aufbereitung des Schweißzusatzes erfolgt während des Schweißens kontinuierlich durch einen Extruder. Der Zusatzwerkstoff besteht in der Regel aus demselben Werkstoff wie die Füge-teile und wird dem Extruder in Form eines Endlosdrahtes oder als Granulat zugeführt. Der plastifizierte Strang wird dann unter Vermeidung einer Abkühlung mit Druck in den vorgewärmten Schweißstoß eingebracht. Die Erwärmung des Grundwerkstoffes an den Fugenflanken er-

folgt mit Warmgas oder durch Wärmestrahlung. Hierdurch wird an der Oberfläche der Fugenflanken ein Schmelzefilm erzeugt, der ein ineinander fließen von aufgeschmolzenem Grundwerkstoff und plastifiziertem Zusatzwerkstoff ermöglicht. In der anschließend stattfindenden drucklosen Abkühlphase entsteht eine stoffschlüssige Verbindung.

Bild 1 zeigt schematisch die Einzelheiten des Schweißkopfes mit Warmgasdüse und Schweißschuh bei einer einlagig hergestellten Verbindung. Der Schweißschuh ist der Fugengeometrie angepasst und ermöglicht den Aufbau eines hydrostatischen Druckes in Überlappnaht Schweißnahtfuge, indem er das Extrudat in Form einer vorn und oben geschlossenen Kammer einschließt und gleichzeitig die Oberseite der Naht formt. Aus dem Massestrom des Zusatzwerkstoffes und dem Nahtfüllvolumen ergibt sich als abhängige Größe die Schweißgeschwindigkeit. Dadurch bietet das Extrusionsschweißverfahren trotz der handwerklichen Ausführung die Möglichkeit, vorgegebene Prozessparameter in engen Grenzen einzuhalten.

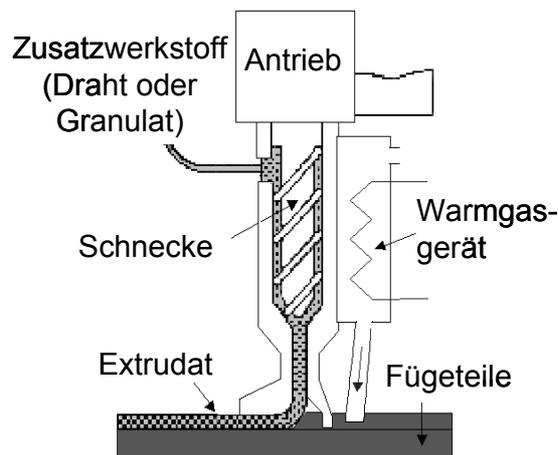


Bild 1: Extrusionsschweißen, schematisch. Fugenteile, Warmgasdüse Schweißschuh, Nahteinlauf

2.1 Einflussgrößen beim Extrusionsschweißen

Die prozessbeeinflussenden Größen beim Extrusionsschweißen können für die beiden zeitlich aufeinander folgenden Prozessschritte **Nahtvorwärmung** und **Einbringen des Zusatzwerkstoffes** getrennt betrachtet werden.

2.2 Nahtvorwärmung

Von den möglichen Prinzipien zum Erwärmen der Fugenflanken, Warmgasstrahl, Kontaktwärmung durch Heizelement und Lichtstrahl ist heute hauptsächlich die Erwärmung mittels Warmgasstrahl von Bedeutung. Neben den Schweißparametern Warmgastemperatur und Warmgasvolumenstrom beeinflussen Geometrie und Position der Düse als technologische Komponenten die Vorwärmung in hohem Maße. Insbesondere eine gleichmäßig dicken Schmelzeschicht an den Nahtfugenflanken wird durch eine spezielle, mittig eingezogene Düse und deren richtige Position erreicht, wie in Bild 1 schematisch gezeigt. Die Erwärmung der Nahtfuge basiert auf Strahlung und Konvektion für den Wärmeübergang und innere Wärmeleitung im Füge teil. Die Warmgasdüse wird als Teil des Schweißkopfes mit Schweißgeschwindigkeit über die Nahtfuge bewegt. Die Einwirkzeit des Warmgasstrahls ist umgekehrt proportional zur Schweißgeschwindigkeit.

2.3 Einbringen des Zusatzwerkstoffes

Der Zusatzwerkstoff wird vom Extruder mit konstantem Massestrom geliefert und durch den Schweißschuh der Naht zugeführt. Hierdurch wird Extrudateinlauf, Extrudatdruck in der Fuge und die Nahtformung erreicht. Aus dem Massestrom des Zusatzwerkstoffes und dem nötigen Nahtfüllvolumen ergibt sich als abhängige Größe die Schweißgeschwindigkeit. Dadurch bietet das Extrusionsschweißverfahren trotz der handwerklichen Ausführung die Möglichkeit, vorgegebene Prozessparameter in engen Grenzen einzuhalten. Die späteren Nahteigenschaften werden dominiert durch die Fließvorgänge, die sich zwischen dem einströmenden Zusatzwerkstoff und der Schmelzeschicht an der Fugenflanke einstellen.

2.4 Abkühlverhalten

Die Abkühlung der Naht erfolgt aufgrund der langen Abkühlzeit drucklos. Thermische Kontraktion und Rekristallisation des Werkstoffes führen zu Volumenschwindungen bis zu 8 %. Durch eine ebene Nahtoberseite (Schweißschuhform) wird ein Einfallen der Naht ermöglicht, dennoch sind bei großen Nahtvolumina und hoch kristallinen Werkstoffen Hohlraumbildungen im Nahtzentrum möglich und verfahrenstechnisch bedingt.

3 Kostenoptimierung

Eine Kostenoptimierung ist ganz allgemein gesehen beim Extrusionsschweißen zum einen möglich durch den Werkstoff. Durch den Einsatz höherwertiger Werkstoffe („Technologie“) können Einsparungen erreicht werden. Natürlich führen aber auch „billige“ Werkstoffe oder der Verzicht auf einzelne Komponenten oder „dünnere“ Einzelschichten zu einer Kostenreduzierung. Inwieweit sich diese Maßnahmen „auszahlen“ wird im folgenden noch weiter behandelt. Die Personalkosten können zwar in Abhängigkeit der Qualifikation und Ausbildung reduziert werden. Und auch sind „billige“, meist „schlecht“ ausgebildete Arbeitskräfte kostengünstiger, jedoch sinkt in der Regel die effektive Ausnutzung (m^2/h) und Qualitätssicherungs- und Ausbesserungsmaßnahmen nehmen zu. Durch eine Verkürzung der Projektlaufzeit (effektive Organisation des Projektes, geringe Ausbesserungsmaßnahmen...) kann der „Return of Investment“ (ROI) kurzfristig erreicht werden.

In Bild 2 sind die Kostenanteile der Materialien und der Lohnkosten dargestellt. Es wird deutlich, dass eine Einsparung bzgl. der „dünnen“ PEHD-Kunststoffdichtungsmaßbahn sich kaum in den Gesamtkosten auswirkt. Eine dünnere Kunststoffdichtungsbahn führt lediglich zu Kostenreduzierung bezogen auf die Gesamtkosten von max. 6%.

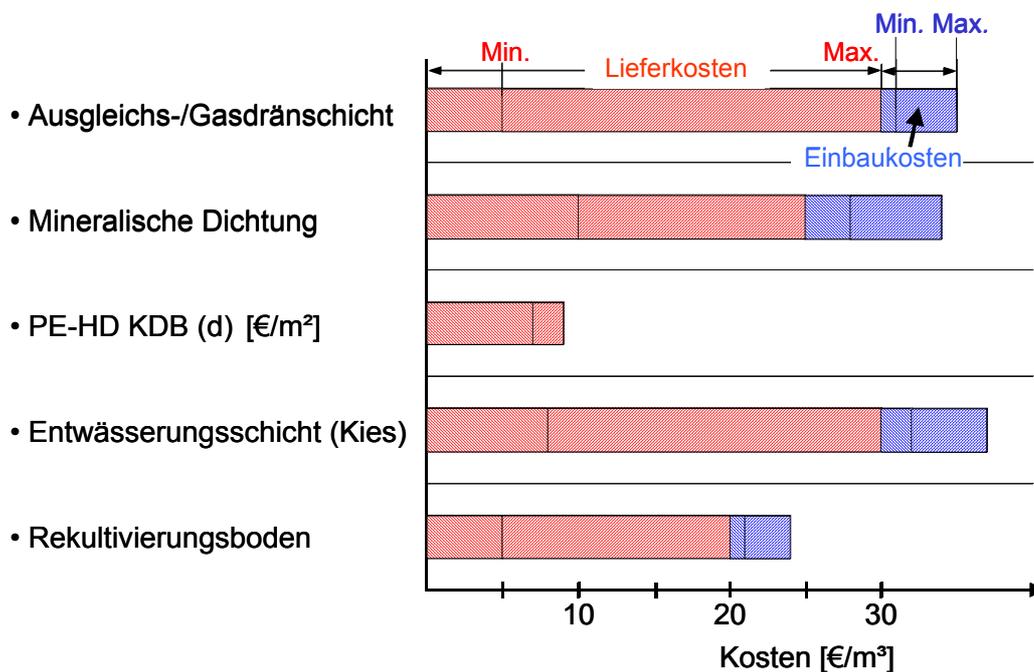


Bild 2: Vergleich der Kosten bei Deponien [Fachtagung. „Sichere Deponie 2002“;
Prof. Dr.-Ing. E. Biener]

4 Konsequenzen

Eine garantierbare Lebensdauer eines Kunststoffbauwerkes basiert auf einer geschlossenen Kette, welche vom Rohstoff über das Halbzeug, die Verarbeitung und Ausführung bis hin zu den Prüfkriterien reicht. Die Tatsache, dass diese Aussagesicherheit in der Vergangenheit nur selten infrage gestellt zu werden brauchte, hat möglicherweise zu einer Simplifizierung der Probleme und einer unzulässigen Vereinfachung der Umstände geführt. Der vermehrte Einsatz von Dichtungsbahnen mit einer geringeren Dicke als in den DVS-Richtlinien behandelt, lässt diesen Schluss zu.

Die Richtlinien beschreiben als minimale Dicke einer Dichtungsbahn 2 mm. Dieses Maß hat weder werkstofftechnische noch marktpolitische Gründe, sondern ausschließlich technische Ursachen. Die qualitätsgesicherte Schweißbarkeit mit allen notwendigen Verfahren im Baustellenumfeld ist hier ein wesentlicher, jedoch nicht alleiniger Grund dieser Aussage. Nicht nur die Schweißbarkeit unter allen denkbaren Praxisumständen ist erforderlich, sondern auch die Prüfbarkeit, die Durchführung zerstörungsfreier Prüfungen und die Simulation des Lebensdauerverhaltens z.B. in der Zeitstandzugprüfung sind Bestandteil des gesamten Konzeptes.

Bilder aus Praxisnähten verdeutlichen den Einspareffekt durch die Verwendung von 25% weniger Werkstoff.



Bild 3: Praxisbeispiel I einer „Einsparung“ durch die Verwendung einer PE-HD Kunststoffdichtungsbahn mit einer Dicke $d = 1,5$ mm

(Auftragnäht – Dichtungsbahn $d = 1,5$ mm Oberseite – ungleichmäßiger Nahtverlauf und Nahtüberhöhung)



Bild 4: Praxisbeispiel II einer „Einsparung“ durch die Verwendung einer PE-HD Kunststoffdichtungsbahn mit einer Dicke $d = 1,5$ mm
(Auftragnäht – Dichtungsbahn $d = 1,5$ mm Unterseite – Durchzeichnungen und Durchschmelzungen)



Bild 5: Praxisbeispiel III einer „Einsparung“ durch die Verwendung einer PE-HD Kunststoffdichtungsbahn mit einer Dicke $d = 1,5$ mm
(Auftragnähte – Dichtungsbahn $d = 1,5$ mm Oberseite – unzulässige Nahtanhäufung und Nahtüberhöhung)



Bild 6: Praxisbeispiel IV einer „Einsparung“ durch die Verwendung einer PE-HD Kunststoffdichtungsbahn mit einer Dicke von $d = 1,5$ mm
(Auftragnähte – Dichtungsbahn $d = 1,5$ mm Oberseite – Durchzeichnungen und Durchschmelzungen)

In Bild 7 sind die Simulationen mithilfe der Finiten-Elemente-Methode (FEM) von Überlappschweißnähten zweier Dichtungsbahnen ($d = 1,5$ mm und $d = 2,5$ mm) aus PE-HD dargestellt. Die Ergebnisse der Simulationen dienen lediglich für einen qualitativen Vergleich. Die Spannungsüberhöhung bei der „dünnere“ Dichtungsbahn $d = 1,5$ mm deutlich gegenüber der „dickeren“ Dichtungsbahn $d = 2,5$ mm zu erkennen. Demzufolge ist ein Versagen der dünneren Dichtungsbahn durch eine erhöhte Kerbwirkung schon „vorprogrammiert“.

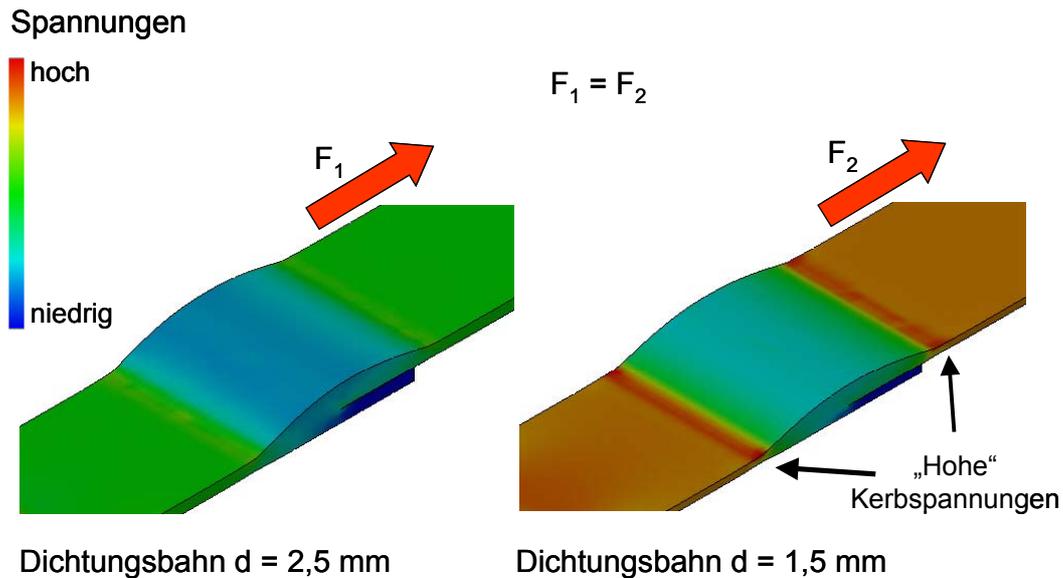


Bild 7: FEM-Simulation der Spannungsverteilungen in Überlappschweißnähten zweier PE-HD Kunststoffdichtungsbahn mit jeweils einer Dicke von $d = 1,5$ mm und $d = 2,5$ mm („lineare“ FEM-Simulation: Berechnung erfolgte mit linearen Werkstoffkennwerten und einer Beanspruchung durch eine konstante Kraft F)

5 Zusammenfassung und Fazit

Strikte Randbedingungen auf der Kostenseite führen in der Regel zu vernünftigen Optimierungen. Entsprechend einer allgemeinen Tendenz in der Wirtschaft tritt die ingenieurstechnische Betrachtung der Konsequenz einer Kostensenkung häufig in den Hintergrund. Abdichtungsmaßnahmen und Dichtungsbauwerke wurden in der Vergangenheit als Ingenieurbauwerke verstanden. Die Zielsetzung einer ingenieurstechnischen Betrachtung ist der weitestmögliche Ausschluss von Risiken und die Sicherheit in der Aussage zu einem technischen Konzept. Die Sicherheit wurde nicht vermutet oder abgeschätzt, sondern aufgrund einer belegbaren, schlüssigen Theorie und Versuchsketten mit entsprechenden Prüfungen nachgewiesen, in der Fachwelt diskutiert und schließlich als Stand der Technik anerkannt.

Kurz zusammengefasst bleibt festzuhalten, dass die die Randbedingungen für ein qualitätsgesichertes System vorhanden und nachgewiesen sind.

Das Überschreiten von Systemgrenzen bedeutet:

- Schwierigkeiten bei der Verarbeitung
- höhere Qualitätssicherungsmaßnahmen
- größere Ausbesserungsmaßnahmen und höhere Reparaturkosten
- Versagen und Ausfall Kostenreduzierungen durch Werkstoffeinsparungen genau das Gegenteil, also hohe Folgekosten, bewirken.