

Polyamid-Rohre vor dem praktischen Einsatz im Gas-Hochdruckbereich

Polyamide pipes approaching practical use in the high-pressure sector

Von Werner Weßing, Jörg Lohmar, Christian Baron und Andreas Dowe

Polyamid 12 ist ein Hochleistungs-Polymerwerkstoff mit herausragenden mechanischen Eigenschaften und hervorragender chemischer Beständigkeit. Er ist seit Jahrzehnten das bevorzugte Material für anspruchsvolle Anwendungen z. B. in der Automobilindustrie für Kraftstoffleitungen von PKW und für Druckluftbremsleitungen in LKW. Verglichen mit HDPE haben PA 12-Rohre eine erheblich höhere Innendruckfestigkeit, auch bei höheren Temperaturen und eine erheblich geringere Gaspermeabilität. Die Extrusion von hochmolekularen PA 12-Formmassen zu Rohren und die Spritzgussverarbeitung, beispielsweise zu Verbindungselementen, sind auf Standardmaschinen für die PE-Verarbeitung problemlos möglich.

Seit mehr als 20 Jahren wird PA 12 als Material für Gasleitungen untersucht und seit über zehn Jahren ist es für die Niederdruckversorgung bis 4 bar in Australien, Polen und Chile im Einsatz. Seit zehn Jahren werden PA 12-Rohre als Alternative für Stahlrohre für Betriebsdrücke über 10 bar geprüft. Der Einsatz von PA 12 bietet bei kleinen und mittleren Rohrgrößen erhebliche Kosteneinsparungen, wenn passive und aktive Korrosionsschutzmaßnahmen entfallen können und wenn die grabenlose Verlegung der Rohre vom Ringbund möglich ist. Zudem entfällt, wie bei der Verwendung von PE, ein Großteil der bei Stahl anfallenden Folgekosten, z. B. für Wartung.

Die Prüfung und Zulassung von PA 12-Gasrohren für den Einsatz bis 20 bar ist nach ASTM-Normen weitgehend geregelt und abgeschlossen. Eine Arbeitsgruppe in der ISO TC/138 ist mit der Ausarbeitung von Standards für PA 12 weit fortgeschritten.

Einige Testinstallationen laufen z. T. schon mehr als zwei Jahre erfolgreich, u.a. eine 60 m D110/SDR-11-Leitung unter 24 bar Erdgasdruck auf dem Gelände der E.ON Ruhrgas in Dorsten.

PA 12-Rohre können auch eine Alternative zu PE-Rohren sein, wenn höhere Temperaturen, aggressive Medien, kontaminierte Böden oder reduzierte Gaspermeationen von Bedeutung sind. Die hervorgehobenen Eigenschaften von PA 12-Rohren sind auch besonders interessant für die Rehabilitation von alten, schadhafte Leitungen, nicht nur für die Gasversorgung. Hierzu sind bereits Machbarkeitsstudien durchgeführt worden.

PA 12 – ein thermoplastischer Hochleistungskunststoff

Polyamide sind charakterisiert durch die Carbonamid-Gruppe in der Polymerkette, die durch ihre starke intermolekulare Wechselwirkung im Vergleich zu den Polyolefinen eine höhere mechanische Festigkeit, höhere Schmelztemperaturen und chemische Beständigkeit bewirkt. Das „langketti-

ge“ PA 12 mit 11 Kohlenstoffatomen zwischen zwei Carbonamid-Gruppen hat unter den kommerziell erhältlichen Polyamiden die geringste Wasseraufnahme und bietet den besten Kompromiss zwischen thermischen und mechanischen Eigenschaften. Aus diesem Grund wurde PA 12 zu dem Material der Wahl für eine Reihe sehr anspruchsvoller Anwendungen und bewährt sich dort schon seit Jahrzehnten. Beispi-

ely PA 12 ist ein Hochleistungs-Polymerwerkstoff mit outstanding mechanical properties and excellent chemical resistance. For decades, it has been the material of choice for demanding applications in the automotive industry, for example, where it is used for fuel lines in cars and for air-brake lines in trucks. Compared to HDPE, PA 12 piping possesses significantly higher resistance to internal pressure, even at higher temperature levels, and a considerably lower gas permeability. Extrusion of high-molecular-weight PA 12 moulding compound into pipes, and injection molding, for production of joining elements, for instance, can be conducted without difficulty on standard machines designed for processing of PE.

PA 12 has also been under examination as a material for gas pipelines for more than twenty years, and has been in use for low-pressure supply tasks (up to 4 bar) in Australia, Poland and Chile for more than ten years. Study and testing of PA 12 pipes as an alternative to steel piping for operating pressures above 10 bar has also been under way for ten years. The use of PA 12 offers the prospect of considerable cost-savings for small and medium pipe calibers when passive and active anti-corrosion protection provisions can be omitted and trenchless installation of the piping from the coil is possible. In addition, as also in the case of PE, a major portion of the lifecycle costs, e.g. maintenance expenditure, necessary in the case of steel is also eliminated.

Testing and approval of PA 12 gas pipes for use up to pressures of 20 bar has now largely been codified and completed under ASTM standards. A workgroup in ISO TC/138 is now well advanced with the drafting of standards of PA 12.

A number of test installations have now been operating for, in some cases, more than two years, including a 60 m D110/SDR-11 line under 24 bar natural-gas pressure at the premises of E.ON Ruhrgas in Dorsten, Germany.

PA 12 pipes may also constitute an alternative to PE pipes in applications in which elevated temperatures, aggressive media, contaminated soils or reduced gas permeation are of importance. The properties emphasized for PA 12 pipes are also of particular interest for the rehabilitation of old damaged pipelines, and not only in the field of gas supplies. Feasibility studies have already been completed on this topic.

sind Kraftstoffleitungen in PKW oder Druckluftbremsleitungen in LKW. Es gibt vier Hersteller von PA 12 in der Welt, die diese und andere Spezialanwendungen bedienen. Auch in der Gasversorgung sind PA 12 und das nahezu gleiche PA 11 (nur ein Hersteller) schon seit den 80er Jahren in Australien, Polen und China im Einsatz, allerdings nur bei Betriebsdrücken bis maximal 4 bar.

PA 12 und PA 11 haben aber wegen der strukturell gegebenen Vorteile ein überlegenes Eigenschaftsspektrum, vor allem erheblich höhere Festigkeit als mittel- und hochmolekulares PE (MDPE, HDPE), die für Gasinstallationen im Bereich geringer und mittlerer Drücke im Einsatz sind (**Tabelle 1**).

Neben den herausragenden mechanischen Eigenschaften und der höheren Temperaturbeständigkeit ist die niedrige Permeationsrate u.a. für Methan als Hauptbestandteil von Erdgas für den Einsatz in der Gasversorgung bemerkenswert. Außerdem ist die hervorragende Chemikalienbeständigkeit von PA 12 hervorzuheben, u.a. gegen paraffinische Lösemittel, die PE zum starken Quellen bringen können.

PA 12 – ein Material für die Hochdruck-Gasversorgung

Auf dem Markt sind hochmolekulare PA 12-Extrusionsformmassen von verschiedenen Herstellern. Sie lassen sich in der Regel auf den Extrusionsanlagen zur Herstellung von PE-Gasrohren problemlos verarbeiten. Ohne Umrüstung, lediglich durch Anpassung der Verarbeitungstemperatur und der Kalibrierung an den Schrumpf von PA 12, konnten Rohre mit Durchmessern bis 300 mm hergestellt werden. Auch die Extrusion noch größerer Rohre stellt technisch kein Problem dar.

Die maximalen Betriebsdrücke für Kunststoffrohre in der Gasinstallation werden durch die Innendruckfestigkeit und den Widerstand gegen schnelle Rissfortpflanzung begrenzt. Zeitstand-Innendruckversuche sind an PA 12-Rohren bisher nur nach ASTM D2837-02 abgeschlossen worden. Nach ISO 9080 werden sie zurzeit am Süddeutschen Kunststoff Zentrum (SKZ) in Würzburg durchgeführt. Aus den nach ASTM ermittelten Daten lassen sich mit einem Sicherheitsfaktor von 2,0 folgende maximale Betriebsdrücke ableiten (**Tabelle 2**). Zum Vergleich sind wieder die Werte für PE 80 (MDPE) und PE 100 (HDPE) angegeben.

Damit kann die Druckstufe 16 bar, die eine große Rolle in der Gasverteilung spielt und bisher Stahl vorbehalten war, mit PA 12-Rohren abgedeckt werden.

Die gute Chemikalienbeständigkeit von PA 12 verhindert die Bildung von Spannungsrissen und die sehr gute mechanische Festigkeit das langsame Risswachstum. Beides wurde bereits mit den relevanten Tests nach ISO und ASTM für die Prüfung von Kunststoffgasrohren nachgewiesen.

Beschädigungen unter Gewalteinwirkung an unter Druck stehenden Gasleitungen und schnelles Risswachstum (rapid crack propagation, RCP) können natürlich grundsätzlich nicht ausgeschlossen werden. Der maximale Betriebsdruck einer PE-Leitung wird nach

Tab. 1: PA 12- und PE-Basiseigenschaften im Vergleich

Table 1: Comparative assessment of the basic properties of PA 12 and PE

Eigenschaft	PA 12	PE 100	PE 80
Schmelztemperatur (°C)	178	130	126
Streckspannung (MPa)	45	20-23	17-19
Reißdehnung (%)	>200	>800	>800
Biegemodul (MPa)	>1200	950	700
Schlagzähigkeit, Charpy bei RT (kJ/m ²)	Kein Bruch!	30	20
Härte, Shore D	74	63	58
Permeabilität (23 °C, mm ³ /bar/Tag)			
Methan	< 0.005	0.7	
Wasserstoff	< 0.01	0.24	
<small>(vorläufige Daten, Untersuchungen an neu entwickelten PA 12 Materialien für Gasleitungen sind im Gange)</small>			

DIN EN 1555-1/2 auch durch den kritischen Druck bei 0 °C begrenzt, bei dem ein RCP gerade nicht mehr auftritt. Er darf nicht höher sein, als dieser kritische Druck p_{crit} dividiert durch 1,5.

Für die Ermittlung des kritischen Drucks gibt es einen standardisierten, sehr aufwendigen realen Test (full scale test, FST) und einen vereinfachten Labortest, den sog. S4-Test (small scale steady state test). Für PE-Rohre wurde eine Korrelationsformel ermittelt, die es erlaubt, den kritischen Druck $p_{crit,S4}$ aus dem S4-Test in den kritischen Druck p_{crit} beim FST umzurechnen: $p_{crit} = 3,6 \times p_{crit,S4} + 2,6$ (bar). Ob diese Formel auch auf andere Kunststoffe anwendbar ist, ist in der Fachwelt umstritten. Für PA 11-Gasrohre wurde 2006 durch Auswertung von S4- und FST eine andere Korrelation publiziert: $7,8 \times p_{crit,S4} + 6,8$ (bar) [1].

Da dem RCP-Widerstand im DIN/ISO-Raum erhebliche Bedeutung beigemessen wird, hat Degussa verschiedene PA 12-Gasrohre (Produktbezeichnung VESTAMID LX9030, 32-168 mm, SDR 11) an drei Prüfinstituten untersuchen lassen. Die S4-Testergebnisse ($p_{crit,S4}$) waren auch an gleichen Rohren z.T. sehr unterschiedlich. Z.B. wurden an 110 mm SDR 11-Rohren Werte von 2,5 bis 6 bar gefunden. Zur Klärung wurde beschlossen mit FST die praxisrelevanten Werte bestimmen zu lassen.

Da sich das Bruchverhalten von PA 12-Rohren deutlich dem von PE-Rohren unterscheidet, mussten die beauftragten Prüfinstitute die Bedingungen zur Initiierung eines Sprödbruchs erst ermitteln. Auch dann kam es nicht zu einem einfachen Längsriss, sondern zu einem komplexeren Bruchbild. Nach den wenigen bisher vorliegenden FST an 110 mm SDR 11-Rohren (VESTAMID LX9030) liegt der kritische Druck für RCP bei 0 °C zwischen 30 und 40 bar: Der Initialriss wurde bei 30 bar nach 6 m gestoppt, aber bei 40 bar trat RCP auf. Für diese Rohrdimension ist demnach der Risswiderstand bis 20 bar (30/1.5) Be-

triebsdruck nach den Vorgaben der ISO ausreichend. Weitere FST an D 170 (6") SDR 11-Rohren sind in Vorbereitung.

Die Untersuchungen zum schnellen Risswachstum an Rohren der PA 12-Formmassen verschiedener Hersteller sind noch nicht abgeschlossen. Die vorliegenden Daten aus S4-Tests und FST zeigen aber, dass für PA 12 eine ähnliche Korrelation zwischen S4- und FST wie für PA 11 gilt, also deutlich abweichend von der PE-Formel.

Technische Positionierung von PA 12 zwischen PE und Stahl

Die Verwendung von Stahlrohren hat eine lange Tradition und ist für den Transport von Gas unter Hochdruck von 50 bar und höher die einzige Alternative. Kunststoffrohre wurden beginnend in den 50er Jahren zunächst nur bei sehr niedrigen Betriebsdrücken in Versorgungsleitungen eingesetzt. Mit Verbesserung der Werkstoffe und Installationstechnik konnten die zulässigen Betriebsdrücke in Stufen nach und nach bis auf 10 bar angehoben werden (**Bild 1**). Verstärkte Kunststoffrohre (RTP reinforced thermoplastics) können grundsätzlich den Bereich bis 42 bar abdecken, sind aber bisher nur in Pilotinstallationen zum Einsatz gekommen [2]. Standardrohre aus PA 12 können nun den Bereich bis 20 bar Betriebsdruck abdecken und dabei auf die konventionellen Installationstechniken für PE zurückgreifen.

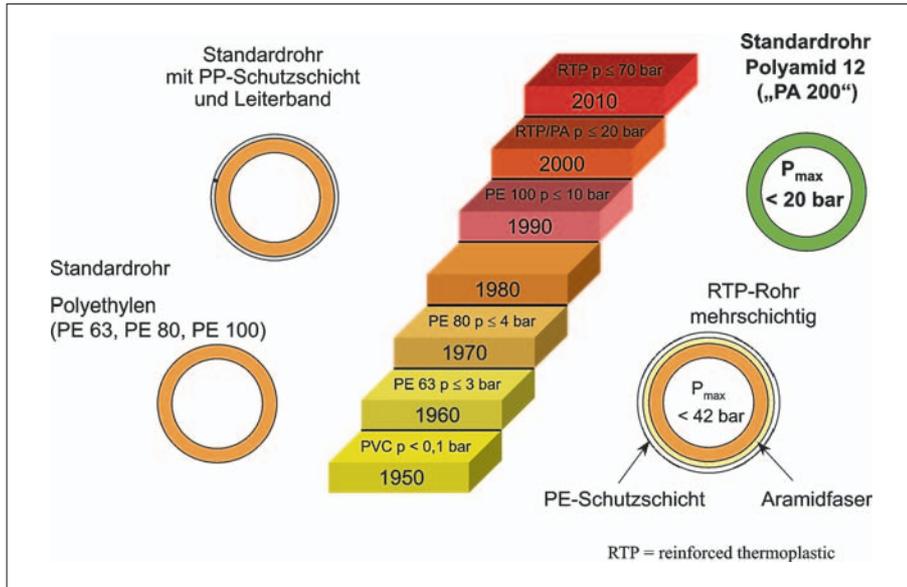
Tab. 2: Maximale Betriebsdrücke für SDR 11-Rohre aus PA 12 und PE

Table 2: Maximum operating pressures for PA 12 and PE SDR 11 pipes

MOP in bar (SDR 11-Rohre)	23 °C	60 °C	80 °C
PE 80	4	4	–
PE 100	10	7	–
PA 12	20	12	10

Bild 1: Kunststoffrohre und stufenweise Anhebung der Betriebsdrücke in der historischen Entwicklung

Fig. 1: Plastic pipes and the historical development of graduated increases in operating pressures



Das Schweißen von Stahlrohren ist eine seit langem etablierte Technologie; Verfahren zur Kontrolle von Schweißnähten sind standardisiert und bewährt. Aufgrund der sehr hohen Festigkeit von Stahlrohren sind Beschädigungen weniger zu befürchten, aber auch nicht ganz auszuschließen. Auf der anderen Seite sind Stahlrohre wenig flexibel, schwer und korrosionsanfällig und deshalb grundsätzlich nicht sehr attraktiv für Installationen.

In Europa und den USA werden Gasversorgungsnetze mit Drücken bis 25 bar betrie-

ben, der größte Anteil davon entfällt auf 16 bar. Bisher ist Stahl der einzige zugelassene Werkstoff für diesen Druckbereich. PE 100 ist die letzte kommerzialisierte Entwicklungsstufe von HDPE und einsetzbar bis 10 bar Betriebsdruck. Damit wäre aber nur ein sehr kleiner Anteil der Gasverteilung abzudecken. Die PA 12-Rohre passen mit ihrem Eigenschaftsprofil hervorragend zu den 16 bar Verteilungsnetzen.

Kunststoffrohre haben gegenüber Stahl den Vorteil, dass keine passiven und aktiven Kor-

rosionsschutzmaßnahmen erforderlich sind. Dazu kommt die Möglichkeit, bei der Installation Rohrbündel einzusetzen. Die Kosteneinsparpotentiale sind beachtlich.

Kostenpositionierung von PA 12 gegenüber PE und Stahl

Neben den technischen und sicherheitsrelevanten Fragen spielen natürlich auch die Kosten für die Verlegung und Wartung eine wichtige Rolle. Ein realistischer Vergleich von Kunststoffsystemen mit Stahl muss alle Kostenbeiträge über die Lebenszeit einer Gasinstallation umfassen. Die deutschen Gasunternehmen legen Installationen für eine Lebenszeit von 50 Jahren aus.

Ems Grivory (Schweiz) und Degussa als Anbieter von PA 12 für Hochdruck-Gasrohre und E.ON Ruhrgas haben einen Kostenvergleich zwischen Stahl, PA 12 und PE 100-Gasrohren erarbeiten lassen (Bild 2). Für einen realistischen Vergleich wurde für die drei Systeme die gleiche Gastransportkapazität von 3000 m³ pro Stunde auf einer Länge von 5000 m vorgegeben, entsprechend wurden die Rohrabmessungen an die maximalen Druckstufen angepasst: PE 100/D 140/10 bar, PA 12/D 110 für ein PA 12-Rohr und D 100 für ein Stahlrohr, die letzten beiden betrieben bei 20 bar. Die Installations- und Betriebskosten sind aus Statistiken der deutschen Gasindustrie entnommen (Stand 2003).

Die Gesamtkosten über die Lebenszeit für eine Installation aus Stahl sind erheblich, werden die Folgekosten für Wartung und Erneuerung berücksichtigt. Beide Kunststoff-

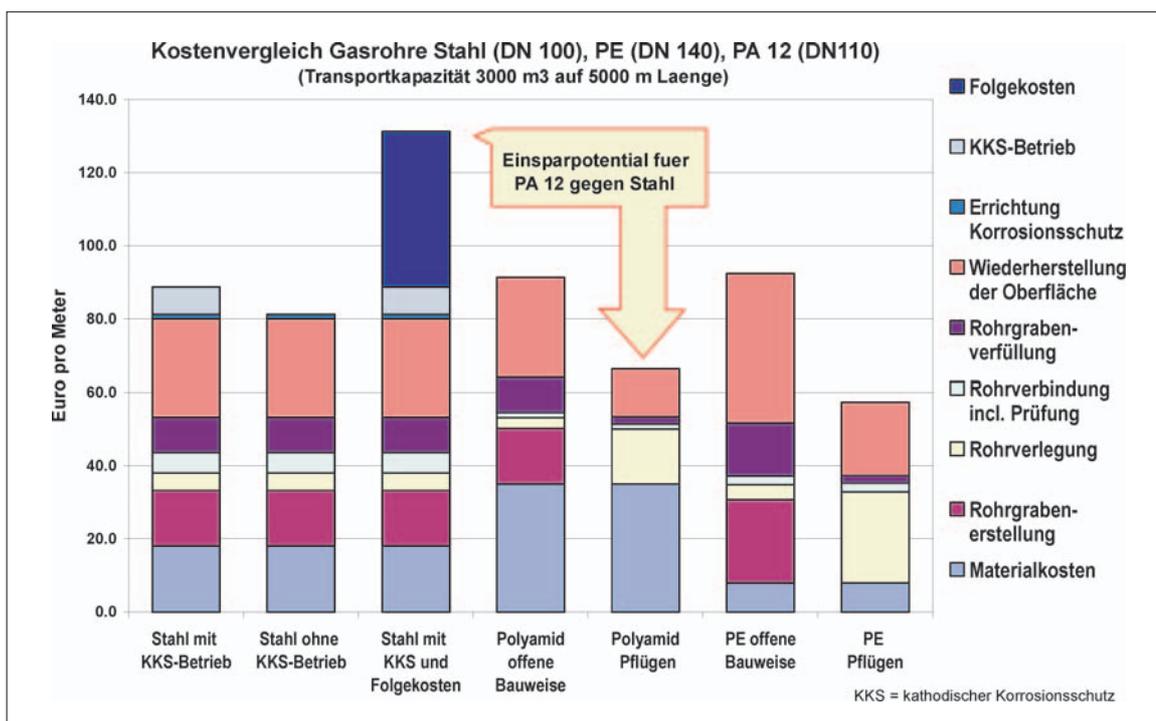


Bild 2: Kostenvergleich für Gasinstallationen aus Stahl, PA 12 und HDPE

Fig. 2: Comparative cost appraisal for steel, PA 12 and HDPE gas installation

rohrsysteme gewinnen deutliche Kostenvorteile, wenn man die Rohre vom Ringbund einpfügen kann. Sollen für die Gasverteilung Betriebsdrücke über 10 bar installieren werden, kommen in diesem Vergleich nur Rohre aus PA 12 in Frage.

Ein weiterer Einspareffekt ergibt sich für PA 12, wenn man auf das schützende Sandbett verzichten kann, das bei der Verlegung von PE-Rohren vorgeschrieben ist. PA 12 ist gegenüber Punktlasten deutlich widerstandsfähiger. Eine entsprechende Untersuchung ist gerade im Gange.

Grundsätzlich soll hier aber betont werden, dass PA 12 nicht gegen Installationen mit PE-Leitungen antritt, sondern in erster Linie eine Alternative zu Stahl bei höheren Betriebsdrücken sein soll.

Standardisierung von PA 12 (und PA 11) für die Gasversorgung

Standards für die Prüfung und Zulassung von PA 12 (und PA 11) sind in Industrieländern in Arbeit. Nationale Standards wurden schon in den 80er Jahren in Australien herausgegeben. In den USA arbeitet eine Arbeitsgruppe des ASTM F17 committees seit Ende der 90er Jahre an der Normung für die Zulassung von PA 11 in der Gasversorgung bei höheren Drücken. 2006 wurde auch PA 12 in Annex 5 der ASTM D2513 „Standard Specifications for Thermoplastic Gas Pressure Pipe, Tubing, and Fittings“ als Material für Gasinstallationen aufgenommen.

Seit 2002 arbeitet eine Arbeitsgruppe der ISO/TC 138 SC4 an der ISO 22621 "Plastics piping systems for the supply of gaseous fuels for maximum operation pressure up to and including 2 MPa (20 bar) – Polyamide (PA)". Es ist das Regelwerk, das sich an die DIN EN 1555 für PE-Gasrohre anlehnt und die Vorgaben für die Zulassung von PA 12 und PA 11 für den Gashochdruckbereich festlegt.

Der Anforderungskatalog für PA 12- und PA 11-Formmassen und -Rohre in der ISO 22621 und der ASTM D2513 A5 sind vergleichbar. Auch viele der vorgeschriebenen Prüfstandards sind ähnlich oder sogar identisch. Im Vergleich zu den Standards für PE-Gasrohre unterscheiden sich die Anforderungen hinsichtlich der mechanischen Werte, vor allem hinsichtlich des Zeitstand-Innen-druckverhaltens bei Temperaturen bis 80 °C. Die Vorgaben bezüglich des schnellen Risswachstums (RCP) für PA 12/PA 11-Rohre sind für die ISO 22621 noch in Diskussion, weil sich die Korrelation zwischen den kritischen Drücken beim vereinfachten S4-Test und Full Scale Test von der für PE offenbar unterscheidet. In der ASTM gibt es noch keine generelle Beschränkung der Betriebsdrücke durch RCP. Dort schreibt man

nur die Mitteilung von kritischen Drücken im S4-Test vor. Die Gasversorger entscheiden dann, wie diese Daten in der Auslegung von Installationen berücksichtigt werden.

In Europa sind weitere Initiativen zur Zulassung von PA 12 und PA 11 für die Gasversorgung gestartet worden. Seit 2004 beschäftigt sich der DVGW damit und seit 2006 gibt es auf der europäischen Plattform der Gasversorger, der GERG, eine Arbeitsgruppe zur Untersuchung und Regelung von PA 12 und PA 11. Grundlage ist ein allgemeiner Anforderungskatalog für die Eignungsprüfung von Kunststoffrohren für die Gasversorgung, der auf Initiative der E.ON Ruhrgas von Kiwa Gastech (Niederlande) zusammengestellt wurde. Auch für die Verbindungstechnik für PA 12-Rohre gibt es eine Arbeitsgruppe des DVS, die das Heizelementstumpfschweißen von PA 12-Rohren bearbeitet. Andere Initiativen zur Prüfung von PA 12 für die Hochdruckgasversorgung sind in Japan, Korea und China angelaufen.

Verbindungstechnik für PA 12-Rohre

Die Verbindungstechnik durch Heizelementstumpfschweißen und mit Elektroschweißmuffen ist für PE-Rohre etablierter Standard.

In mehreren Testinstallationen wurde schon gezeigt, dass mit den gleichen Geräten und nur leicht modifizierten Einstellungen auch PA 12-Rohre geschweißt werden können. Da Polyamide Wasser aufnehmen können, wird oft die Sorge geäußert, dass die Schweißung feucht gelagerter Rohre kritisch sein könnte. In PA 12 ist der Wassergehalt bei Sättigung maximal 1.4 % und damit am geringsten von allen kommerziell verfügbaren Polyamiden. Die Schweißungen bei den zahlreichen Testinstallationen haben bisher in keinem Fall zu Problemen geführt. Für eine gründliche Untersuchung der Schweißverbindungen von PA 12 Gasrohren ist, wie oben schon erwähnt, ein Arbeitskreis des DVS aktiv.

Für verschiedene Testinstallationen bis 168 mm (6") SDR 11 sind PA 12-Elektroschweißmuffen und -endkappen hergestellt worden (Fa. Friatec), die mit angepassten Parametern, aber mit Standardautomaten für PE-Installationen ohne Probleme eingebaut werden konnten. Für die Gasflusskontrolle und Verzweigung müssen noch eine ganze Reihe von Komponenten aus PA 12 hergestellt, verbunden und geprüft werden. Es steht aber außer Frage, dass das ganze Sortiment von Verbindungen, Verzweigungen und Ventilen, die bisher nur aus PE gefertigt wurden, auf PA 12 übertragen werden kann.

Tab. 3: Einige Kurzzeit-Prüfergebnisse aus der Machbarkeitsstudie PA 12 für Hochdruck-Gasversorgung bei GTI (USA), umgerechnet in SI-Einheiten

Table 3: Selection of short-time test results from the feasibility study examining PA 12 for use in high-pressure gas supply systems at GTI (USA), data converted to SI units

Kurzzeit-Prüfungen	Test Parameter	Test Methode	Anforderung	VESTAMID LX9030
Berstverhalten	Umfangsspannung bei 23 °C 60-70 s	ASTM D2513/D1599	>27 MPa	47,9 MPa
Biegemodul	3 Punkt Biegeversuch bei 23 °C	ASTM D2513/D790	1000 MPa	1470 MPa
Chemische Beständigkeit Mineralöl, Toluol (15 %), Methanol, TDM (5 %)	Verlust an Festigkeit Masseänderung	ASTM D2513/D543	Definierte Vorgaben	In allen Medien bestanden

Tab. 4: Einige Langzeit-Prüfergebnisse aus der Machbarkeitsstudie PA 12 für Hochdruck-Gasversorgung bei GTI (USA), umgerechnet in SI-Einheiten

Table 4: Selection of long-time test results from the feasibility study examining PA 12 for use in high-pressure gas supply systems at GTI (USA), data converted to SI units

Langzeit Prüfungen	Test Parameter	Test Methode	Anforderung	VESTAMID LX9030
Hydrostatic Design Base 23 °C, 60 °C, 80 °C	(Zeitstand-Innen-druck-Festigkeit)	ASTM D 2513/ D2837/D1598	MRS bei 23 °C 17,4 oder 21,7 MPa	Nach 2000 h von 10000 h Extrapol. auf 21,7 MPa
Langsames Risswachstum Kerbe 20 %	Kein Ausfall	ASTM D2513/ ISO 13479	>877 h bei 12,8 MPa und 80 °C	>2000 h
PENT Test	80 °C, 2,4 MPa	ASTM F1743	>100 h	>1000 h
Schnelles Risswachstum Rapid Crack Propagation (RCP)	Kritischer Druck für RCP bei 0 °C aus S4-Test	ISO 13477 (S4-Test) Neue Korrelation für FST?	Riss-Stopp bei 1,5 x MOP	168 mm (6") SDR 11 S4-Test: P _{crit, s4} = 3,5-3,8 bar



Bild 3: PA 12-Testinstallationen (17 bar (Luft) 6" SDR 11) bei GTI in den USA
Fig. 3: PA 12 test installations (17 bar [air] 6" SDR 11) at GTI, in the USA

Machbarkeitsstudie an PA 12 für die Hochdruck-Gasversorgung in den USA

Nach langjährigen Prüfungen mit guten Ergebnissen an PA 11 für die Hochdruckgasversorgung und an einer Reihe von Testinstallationen in verschiedenen Regionen der USA hat eine Interessengruppe von 15 Gasversorgern in den USA ein Projekt zur Untersuchung von PA 12 verschiedener Hersteller angeregt. Mit dieser Studie, die auch finanziell gefördert wurde, sollte der Kreis von Anbietern vergrößert werden, da es für PA 11 nur einen Hersteller gibt. Das Gas Technology Institute (GTI) in Des Plaines, IL, konzipierte eine umfangreiche Machbarkeitsstu-

die, die über einen Zeitraum von ca. drei Jahren die Eignung von PA 12 für die Hochdruck-Gasversorgung prüfen sollte. Drei der vier Hersteller von PA 12, darunter Degussa, beteiligten sich finanziell an dem Projekt und stellten 2" und 6" SDR 11-Rohre bereit.

Das Prüfprogramm umfasste alle Kurzzeit- und Langzeitprüfungen, die für PA 12-Rohre in der ASTM D2513 mit Annex 5 vorgegeben sind. Einen Ausschnitt der Ergebnisse mit der Formmasse VESTAMID LX9030 von Degussa ist in **Tabelle 3** und **Tabelle 4** wiedergegeben.

Alle Ergebnisse aus dem Prüfprogramm waren positiv. Lediglich die Auswertung der Versuche zum schnellen Risswachstum (RCP)

steht noch aus. Die kürzlich durchgeführten Full Scale Tests an PA 11- und PA 12-Rohren deuten daraufhin, dass Rohre bis 110 mm SDR 11 nach den ISO-Vorgaben durchaus mit Betriebsdrücken bis 20 bar beaufschlagt werden können (s.o.).

Die Machbarkeitsstudie sollte auch Testinstallationen umfassen, bei denen möglichst viele praxisrelevante Komponenten und Erschwernisse berücksichtigt werden sollten:

Im Februar 2005 wurde mit 2" SDR 11-Rohren von zwei PA 12-Herstellern eine etwa 23 m lange Teststrecke aus ca. 2 m langen Rohrabschnitten zusammengestellt. Die Rohre wurden mit Heizelementstumpfschweißung verbunden (auch der Übergang zwischen den Rohren beider Hersteller). Jeweils zwei Rohrstücke beider Hersteller waren vor der Installation zweimal 4 h abgequetscht und dann wieder gerundet worden. Für die Anschlüsse an beiden Seiten der Teststrecke sind Stahl-PA-12-Verbinder, hergestellt mit den beiden PA 12-Materialien, angeschweißt worden (Lyll, CA). Vor der Verlegung auf dem Gelände des GTI wurde die Konstruktion mit 26 bar Luft einige Stunden auf Dichtigkeit geprüft und dann unter 17 bar Druck (Luft) in einem Graben verlegt. Der Druck ist seitdem unter Beobachtung und bisher unverändert.

Zum Abschluss der Studie wurden im November 2006 zwei Testinstallationen mit 6" SDR 11-Rohren von zwei PA 12-Herstellern verlegt:

Auf dem Gelände des GTI wurden ca. 40 m Leitungen mit Heizwendelschweißverbindungen und Elektroschweißmuffen (Friatec, Mannheim) verlegt. Je eine Leitung der Hersteller wurde in eine standardisierte steinige und in eine sehr schwere, dichte Erdmischung eingebaut. Mit angeschweißten Stahl-PA-12-Verbindern (Lyll, CA) wurden die Leitungen angeschlossen und mit Luft bei 26 bar auf Dichtigkeit geprüft und unter 17 bar Druck verlegt (**Bild 3**).

Auf dem Gelände des Gasversorgers National Fuel in Buffalo NY wurden über 200 m lange Leitungen aus Rohren der beiden beteiligten PA 12-Hersteller durch Heizelementstumpfschweißen und mit Elektroschweißmuffen (Friatec) verbunden und verlegt. Die Gräben wurden am Ende mit einer Biegung versehen, um die Rohre und Verbindungen einer zusätzlichen Biegespannung auszusetzen. Die Leitungen wurden mit Erdgas bei 26 bar auf Dichtigkeit geprüft und mit 17 bar Erdgas beaufschlagt. Dies ist weltweit die erste 6" erdverlegte Hochdruck-Erdgasinstallation (**Bild 4**).

Für beide Installationen ist eine Mindesttestzeit von zwei bis drei Jahren vorgesehen.

Bild 4: PA 12-Testinstallationen (17 bar (Erdgas) 6" SDR 11) bei National Fuel in Buffalo, USA
Fig. 4: PA 12 test installations (17 bar [natural gas] 6" SDR 11) at National Fuel in Buffalo, USA





Bild 5: VESTAMID LX9030-Elektroschweißmuffen für Hochdruck-Installation

Fig. 5: VESTAMID LX9030 electro-welding sockets for high-pressure installation

Kooperation von E.ON Ruhrgas und Degussa für eine Testinstallation einer 24 bar Hochdruck-Gasleitung mit PA 12

2005 beschlossen E.ON Ruhrgas und Degussa auf dem Gelände des Entwicklungszentrums von E.ON Ruhrgas in Dorsten eine Hochdruck-Testinstallation vorzunehmen. Degussa hatte 60 m eines D 110 SDR 11-Rohres als Rollbund und eine Anzahl von geraden Rohrstücken bereitzustellen. Die Testleitung sollte mit Heizwendel-Stumpfschweißung und mit Elektroschweißmuffen und -endkappen verbunden werden.

Die Rohre wurden bei Egeplast (Greven) auf einem konventionellen PE-Rohrextruder hergestellt. Obwohl Egeplast das erste Mal PA 12 auf der Maschine verarbeitete, verlief die Extrusion und Einstellung der vorgeschriebenen Toleranzen ohne Probleme. Auch das kontinuierliche Aufwickeln des steifen PA 12-Rohres auf eine 2,5 m-Trommel gelang auf Anhieb. Das Rohrbündel und die abgenommenen Rohrstücke waren von hervorragender Qualität.

Bild 6: Kurzzeit-Berstdruckversuch mit VESTAMID LX9030 in einem Testbunker der E.ON Ruhrgas; der Berstdruck war 93 bar

Fig. 6: Short-time rupture-pressure test on VESTAMID LX9030 in an E.ON Ruhrgas test bunker; rupture pressure was 93 bar



Bild 8: Heizelement-Stumpfschweißen und Elektroschweißen von PA 12 mit Standard-Geräten für die PE-Rohr-Installation

Fig. 8: Heated-element butt welding and electrical welding of PA 12 using standard PE-pipe installation equipment

Für die Entwicklung und Herstellung der geforderten Elektroschweißmuffen und -endkappen hatte Degussa eine Kooperation mit Friatec (Mannheim) verabredet. Aus dem gleichen Material, das für die Rohrextrusion verwendet wurde, konnte Friatec die geforderten Elektroschweiß-Komponenten in ausgezeichneter Qualität im Spritzguss herstellen (**Bild 5**). Die Elektroschweißbedingungen für die PA 12-Muffen wurden ermittelt und die Qualität der Verbindungen gründlich überprüft.

Vor der eigentlichen Testinstallation wurde bei E.ON Ruhrgas ein Berstdruckversuch mit einem 3 m langen Testrohr durchgeführt, das mit einer Heizelement-Schweißverbindung, einer Elektroschweißmuffe und zwei Elektroschweißendkappen versehen war. Der schnelle Berstdruckversuch mit Wasser in einem Testbunker der E.ON Ruhrgas ergab einen Wert von 93 bar (**Bild 6**). Es trat ein zäher Längsbruch am Hauptrohr auf. Die Verbindungen waren unversehrt.

Die Testinstallation mit dem 60-m-Rohrbund verlief ohne große Probleme. Das Rohr ließ sich ohne Streckwerkzeuge abwickeln (**Bild 7**). Für beide Schweißverbindungstechniken konnten Standardgeräte verwendet

werden, die sonst für das Verlegen von PE-Rohren zum Einsatz kommen. Der Gasanschlussstutzen aus Stahl wurde in einer Elektroschweißendkappe montiert. Die 60-m-Rohrkonstruktion mit zwei Heizelement-Stumpfschweißverbindungen und jeweils zwei Elektroschweißmuffen und -endkappen (**Bild 8**) wurde in ein 500 mm Stahlrohr eingezogen und dann mit 36 bar Erdgas 72 h auf Dichtigkeit geprüft. Der Erdgas-Betriebsdruck ist 24 bar.

Neben dieser 60 m langen Teststrecke wurde in einem separaten Stahlrohr eine 3 m kurze Leitung des gleichen Rohrmaßes mit einer Elektroschweißmuffe, zwei -endkappen und einer Stumpfschweißnaht installiert und mit einem Betriebsdruck von 36 bar beaufschlagt.

Während der zweijährigen Testzeit werden Innen- und Außendruck sowie die Temperatur kontinuierlich überwacht. Die Testleitung ist seit November 2005 in Betrieb und die Druckdaten sind stabil (**Bild 9**).

Ausblick

Die Hersteller von PA 12 sehen ihre Position derzeit im Rohrbereich von D 32 bis etwa

Bild 7: Abrollen eines VESTAMID LX9030-Rohrbündels (D110 SDR-11) für eine 24 bar Erdgas-Testinstallation bei E.ON Ruhrgas

Fig. 7: Paying out of a VESTAMID LX9030 pipe coil (D110 SDR-11) for a 24 bar natural gas test installation at E.ON Ruhrgas



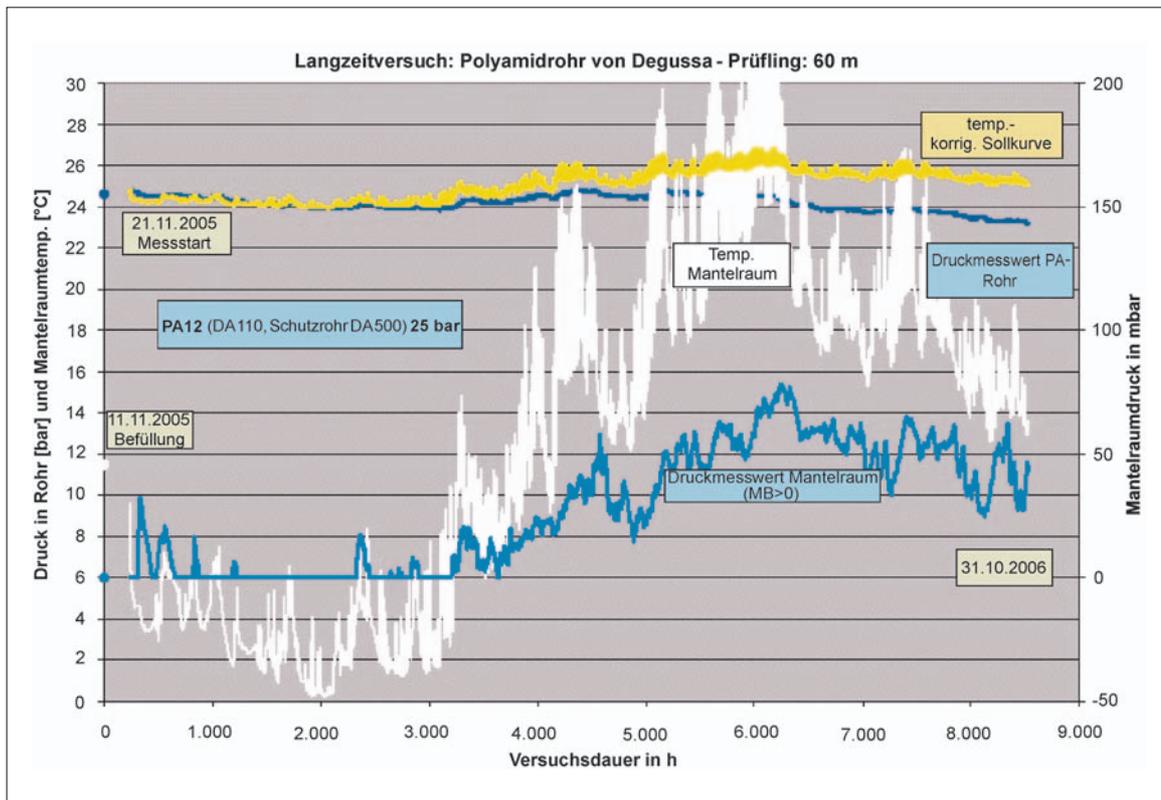


Bild 9: Kontinuierliche Messwerterfassung der 60 m Teststrecke
Fig. 9: Continuous measured-data acquisition for the 60 m test line

D 225. Um diesen Markt vorzubereiten, wird derzeit an der Entwicklung von Gesamtsystemen gearbeitet. Hierzu zählen neben Elektroschweißmuffen und Kunststoff-Stahl-Übergängen auch Ellbögen, Gasströmungswächter, T-Stücke, usw.

Darüber hinaus ist die Verlegung einer Pilotstrecke ein klares Projektziel. Dafür werden derzeit notwendige Zulassungen nach Gas-HL-VO im Rahmen einer Einzelzulassung erarbeitet. Die Auswahl einer Pilotstrecke kann dann im Anschluss erfolgen.

Schlussbemerkung

Aufgrund der vorliegenden Prüfdaten und der schon vorliegenden Erfahrungen in vielen Testinstallationen ist die Eignung von PA 12 für Hochdruck-Gasinstallation von 10 bis 20 bar nachgewiesen. Durch weitere Beobachtung und Prüfung der Teststrecken und mit weiteren Installationen muss nun das Vertrauen in das Material und die Hochdruckinstallationen entwickelt werden. Während man in den USA schon in der Phase der Kommerzialisierung ist, müssen in Europa erst die nationalen und überregionalen Regelungen für die Verwendung von Polyamiden in der Gasversorgung ausgearbeitet werden.

Für die Ausdehnung der Nutzung von Kunststoffrohren in den Bereich höherer

Gasdrücke sind die Hochleistungspolyamide sehr interessant, weil die Herstellung aller Komponenten und die Verbindungstechnik mit den für PE erprobten Verfahren möglich sind. Mit der Verwendung von heute verfügbaren hochmodernen Verlegetechniken, wie z. B. dem Pflügen, sind gegenüber Stahlrohren deutliche Kostenvorteile möglich. Da die Materialkosten bei PA 12-Rohren einen erheblichen Anteil an den Gesamtkosten ausmachen, wird derzeit davon ausgegangen, dass die wirtschaftliche Wettbewerbsfähigkeit von PA 12-Rohren bei größeren Durchmessern eingeschränkt wird. Mit abnehmender Rohrdimension stellen sich jedoch deutliche Kostenvorteile gegenüber Stahlleitungen ein (siehe Bild 2 für DN 110 SDR 11-Rohre). Die fehlende Korrosion muss wie bei PE-Rohren als ein weiterer Pluspunkt eingestuft werden.

Literatur

- [1] Mason, J.; Chen, J.: Establishing the correlation between S4- and Full Scale Rapid Crack Propagation Testing for Polyamide 11 (PA 11) Pipe, conference book, Plastic Pipes XIII, Washington, October 2006
- [2] Wessing, W.; Grass, K.; Kanet, J.; Capdevielle, J-P.: Novel PE gas supply system for a maximum operation pressure of 16 bar, conference book, Gas research Conference 2004, Vancouver

Autoren:

Dipl.-Ing. Werner Wessing
 E.ON Ruhrgas AG, Dorsten

Tel. +49(0)2362/93-8695
 E-Mail: werner.wessing@eon-ruhrgas.com



Dr. Jörg Lohmar
 Degussa GmbH, Marl

E-Mail: joerg.lohmar@degussa.com



Dr.-Ing. Christian Baron
 Degussa GmbH, Marl

E-Mail: christian.baron@degussa.com



Dipl.-Ing. Andreas Dowe
 Degussa GmbH, Marl

E-Mail: andreas.dowe@degussa.com

