

## Zur Geschichte des Kunststoff-Rohres, Teil 3 Egon Barth veröffentlichte den Artikel „Rohrmaterialien – an den Aufgaben gewachsen“ in „Kunststoffe“ 3/2010

100 JAHRE KUNSTSTOFFE

**Rückblick.** Mit der Herstellung von Rohren aus Polyvinylchlorid in Bitterfeld wurde 1935 der Einsatz von Kunststoffen im Rohrleitungsbau eröffnet. Dazu waren auch genaue Kenntnisse der Materialeigenschaften, der Lebensdauer und der zulässigen Belastung erforderlich. Das wurde von Beginn an erkannt und systematisch erarbeitet.

# Rohrmaterialien – an den Aufgaben gewachsen

EGON BARTH

Rohre aus Polyvinylchlorid (PVC) waren nicht die ersten Kunststoffrohre, denn in der Literatur wird über Rohre aus Vulkanfiber, Celluloid, Kunstharz und sogar Duroplasten berichtet, doch leider ohne exakte Zeitangaben (Bilder 1 und 2). Diese Rohre wurden vorwiegend zu Hülsen, Buchsen, Manschetten, Lagerschalen verarbeitet und im Bastelbedarf, aber noch nicht im Rohrleitungsbau eingesetzt. Dieser Einsatzbereich wurde zuerst durch die „Igelit“ bzw. „Vinidur“-Rohre aus Bitterfeld erschlossen. Die in Bitterfeld hergestellten PVC-U-Rohre gelangten sofort in den praktischen Einsatz und zwar in den unterschiedlichsten Anwendungsbereichen. Die ersten PVC-U-Druckrohre wurden noch 1935 in Bitterfeld und Salzgitter verlegt. In den Werken der chemischen Industrie ist der Einsatz ab 1936 belegt. Die Anwendungsgebiete waren jedoch nicht auf Industrie-Rohrleitungen zur Förderung korrosiver Medien beschränkt, sondern bewusst breit angelegt, sodass die Rohre auch sehr bald in der Hauswasserinstallation sowie der Lebensmittelindustrie eingesetzt wurden; in Brauereien und Schankanlagen, wo sie wegen ihrer physiologischen Unbedenklichkeit, der sehr geringen Inkrustation und – bei transparenter Ausführung – einfachen visuellen Sauberheitskontrollen einen begehrten Einsatz fanden.

Neben dem bemerkenswert pragmatischen Vorgehen, dass der neue Werkstoff seine Qualität am besten unter realen Belastungen im praktischen Einsatz nachweisen könne, wurde auf die Untersuchungen der Werkstoffeigenschaften

natürlich nicht verzichtet. Dabei war die Verlegung auch im Freien (Bild 3) ein mutiger Schritt, denn die damals eingesetzten Stabilisatoren Soda bzw. Natriumphosphat schützten das PVC zwar gegen die thermische Belastung bei der Verarbeitung, aber nicht gegen die Einwirkung der UV-Anteile im Sonnenlicht – eine Erfahrung, die in den 60er-Jahren viele Bürger in der DDR mit ihren Vinidur-Regenfallrohren machten, die bereits nach wenigen Einsatzjahren bei der geringsten Stoßeinwirkung zersplitterten. Insbesondere Walter Buchmann ist es zu verdan-

ken, dass die Werkstoffeigenschaften des Vinidur innerhalb weniger Jahre nahezu vollständig ermittelt waren, bis hin zur Temperaturabhängigkeit, der Gestaltfestigkeit und den Schweißbedingungen [1]. Umfangreiche „Beständigkeitslisten“ wurden von Walter Krannich erstellt [2].

Buchmann war es auch, der erkannte, dass aus der Kurzzeitfestigkeit nicht wie bei Metallen auf die Dauerstandfestigkeit geschlossen werden kann, sondern dass die Zeitstandfestigkeit makromolekularer Werkstoffe durch zeit- und spannungsabhängige Untersuchungen zu er-



Werbung für „Trovidur“-Spiralrohre aus PVC-U, hier der NW 3000 (Quelle: Dynamit Nobel Werkszeitschrift, 16. Juni 1939)

ARTIKEL ALS PDF unter [www.kunststoffe.de](http://www.kunststoffe.de)  
Dokumenten-Nummer KU110371



Den einfachsten Bastler und dem anspruchsvollsten Fabrik-Konstrukteur sind eine Selbstverständlichkeit:

**TROLIT**  
(D. R. P.)

-Platten, -Stangen, -Rohre, -Profile

**TROLIT**

-Stalenscheiben, -Drehknöpfe, -Lampenvockel, -Stecker, -Kopfhörer und Lautsprechersteile etc.

Rheinisch-Westfälische Sprengstoff-Aetl.-Ges.  
Abt. Kunst-Stoffe  
Troisdorf, Bez. Köln

Zu beziehen durch alle einschlägigen Radio-Geschäfte

**DES BASTLERS FREUDE!**

Bild 1. „Trolit“-Werbung der RWS Troisdorf von 1928  
(Quelle: M. Dederichs)

mitteln ist und dazu auch erste Innendruckversuche durchführte (Bild 4 und 5).

So konnte er bereits 1941 feststellen: „Die Beständigkeitseigenschaften von Vinidur sind bereits vollständiger erforscht, als es bei altgewohnten metallischen Werkstoffen der Fall ist. Diese Tatsache hat sich zusammen mit der Kenntnis der gesetzmäßigen Zusammenhänge als das beste Mittel erwiesen, die Werkstoffeigenschaften voll auszunutzen und Fehlanwendungen zu vermeiden.“

Insbesondere dem zweiten Satz ist aus heutiger Sicht voll zuzustimmen. Buchmanns Untersuchungen waren dann auch die Basis für die Erstellung der 1. Normen für Kunststoffrohre aus Polyvinylchlorid – Rohrtyp –, der DIN 8061 und 8062 bereits im Juli 1941. Damit war das Basiswissen über die physikalischen und chemischen Eigenschaften des neuen Werkstoffs vorhanden und ihr Einsatz erfolgte nicht gänzlich unbedarft. War es naheliegend, die Rohre im eigenen Werk und den angeschlossenen Werken der I.G. Farbenindustrie einzusetzen, ist die Bereitschaft, mit der Anwender aus den anderen Bereichen, Laboratorien und staatlichen Instituten sich an der Untersuchung des PVC-U beteiligten und ihre Ergebnisse nach Bitterfeld „rückmeldeten“ bemerkenswert. So war es möglich, in wenigen Jahren die Grundlagen für einen sicheren Einsatz in den verschiedenen Anwendungsgebieten zu schaffen, wie aus den Beispielen einiger dieser ersten Erfahrungsberichte hervorgeht.

Im Bereich Wasserversorgung erfolgten die ersten Anwendungen als Hausinstallationen in den Jahren 1935–39 in den Werkwohnungen in Bitterfeld. In diesem Zeitraum wurden in Mitteldeutschland im Raum Bitterfeld ca. 400 Wohnungseinheiten mit PVC-U-Rohren als Frisch-

und Abwasserleitungen ausgestattet. In Steinfurth bei Wolfen wurde eine Trinkwasserleitung verlegt, die 1992 noch immer genutzt wurde. Weitere Verlegungen erfolgten in Salzgitter und von der I.G. im Wohnungsbau in Südwestdeutschland. Diese Rohrleitungen wurden mit Betriebsdrücken zwischen 3,5 und 6 bar betrieben [3].

Neben der I.G. Farbenindustrie, die sich aus Eigeninteresse um die Erschließung von Anwendungsgebieten für ihre PVC-U-Rohre bemühte, hatten auch die für die Trinkwasserversorgung zuständigen Wasserwerke schnell die ausgezeichneten Eigenschaften des neuen Rohrwerkstoffs erkannt. So wurden zwischen 1936 und 1941 neben anderen bereits von den Wasserwerken in Leipzig, Dresden, Magdeburg, Berlin, Hamburg, Köln, Heidelberg und Wiesbaden Versuchsstrecken unterschiedlicher Größe verlegt. Sie wurden mit Betriebsüberdrücken bis zu 6 bar betrieben und ihr Verhalten sorgfältig beobachtet. Die Versuchsstrecken bewährten sich ausgezeichnet und auch zusätzlichen Belastungen, wie Druckstößen bis zu 18 bar mit einer Frequenz von 10 Druckwechseln pro Minute, zeigten sie sich in Langzeit-Versuchen gewachsen. Durch die Einwirkungen des Krieges wurden viele dieser Versuchsstrecken zerstört. Die Installationen, die den Krieg unbeschädigt überstanden, sind aber teilweise bis lange nach Kriegsende noch ohne wesentliche Beanstandungen in Betrieb gewesen. So z. B. in 480 Wohnungen in Mitteldeutschland, wie die 1938 verlegten Hausanschlussleitungen ( $d = 32$  mm) im Netz der Berliner Wasserbetriebe sowie zumindest bis in die 60er-Jahre die in Hamburg 1937 installierten Mipolam-Rohre ( $22,5 \times 1,6$  und  $16,5 \times 1,6$  mm). Auch in der Wasserver-

sorgung des Olympiastadions in Berlin sollen noch lange nach Kriegsende PVC-U-Rohre aus Bitterfeld in Betrieb gewesen sein [4–6].

Sehr schnell wurde auch die gute Widerstandsfähigkeit des PVC-U gegen Chemikalieneinwirkung erkannt. Bereits 1937 berichtet Hans Lutz, dass Mipolam-Rohre „eine bemerkenswerte Beständigkeit gegenüber chemischen Angriffen zeigen“ [7].

Insbesondere das gute Verhalten der Rohre gegen korrosive Chemikalien legte es nahe, die in Bitterfeld hergestellten Rohre sofort in den angegliederten Chemiewerken einzusetzen. Bereits 1938 lagen erste Erfahrungsberichte der ab 1936 eingesetzten Rohre vor. Ähnlich positiv berichten z. B. das Ammoniakwerk Merseburg 1938 über 3900 kg Rohre: „In erster Linie und mit guten Erfolgen wurde Igelit für die verschiedensten Säuren, Laugen und Gase (insbesondere Schwefelsäure und Salzsäure) angewendet“. Gleichzeitig wurden in den eigenen Laboratorien und in den staatlichen Instituten umfangreiche Untersuchungen zur physiologischen Unbedenklichkeit der Rohre vorgenommen. So urteilten:

■ Der Polizeipräsident in Berlin, Abteilung IV am 22. August 1938: „Es bestehen gegen die Verwendung dieser Mipolamschläuche als beweglicher Teil der Kohlensäuredruckleitung keine Bedenken.“

■ Das Institut für Gärungsgewerbe und Stärkefabrikation in Berlin am 27. Februar 1940: „Die Berührung von etwa 40 bis 45 cm<sup>2</sup> Rohroberfläche mit ca. 330 cm<sup>3</sup> Bier (d. i. je 1 cm<sup>2</sup> etwa 8 cm<sup>3</sup>) →



Bild 2. Rohre, Profile und Knöpfe aus „Trolon“  
(Quelle: M. Dederichs)



Bild 3. Im Freien verlegte „Vinidur“-Leitungen (Quelle: W. Kramrich)

Bier) während 3 Wochen hat also keine Geschmacks- und Geruchsveränderungen oder sonstige Veränderungen, im besonderen keine Verschlechterung in dieser Hinsicht bewirkt. Bei beiden Fabrikationsmustern Vinidur-Rohr MP sind in dieser Hinsicht bezüglich ihrer Eignung und Verwendung für Bier-Schankanlagen keinerlei Einwände oder Einschränkungen zu machen.“

■ Und am 31. März 1941: „Überraschenderweise liegt also in dem Vinidur-Material, das ja synthetischen, organischen Ursprungs ist, ein Werkstoff vor, der selbst unter den angewandten, recht rigorosen Prüfbedingungen (lange Einwirkzeit, große Berührungsfläche, bezogen auf die Spirituosmenge usw.) keinerlei Beeinflussung der damit in Berührung stehenden Trinkbranntweine, Liköre und Spirit in verschiedenen Verdünnungsgraden zeigt und der seinerseits von diesen Spirituosen nicht merklich verändert wird.“

Nachdem die amtlichen Bestätigungen für die physiologische Unbedenklichkeit vorlagen, fanden die Igelit-Rohre schnell auch in der Trinkwasserversorgung, Milchwirtschaft, Nahrungsmittelindustrie, Getränkeherstellung usw. Verwendung, da von diesen Rohren keinerlei Beeinträchtigung der geförderten Lebensmittel und Getränke zu befürchten war.

Für den Einsatz der PVC-Rohre in Leitungssystemen mussten die einzelnen Rohre untereinander dauerhaft verbunden werden können. Dazu waren Formstücke, wie Abzweige, Winkel, Reduzierungen, Armaturen usw. erforderlich. So wurden auch diese Bauelemente in den I.G. Werken entwickelt. Rohrverbindungen und Bogen waren relativ leicht durch Warmformung herzustellen. Ihre Verbin-

dung erfolgte durch Verklebung und Verschweißung, die von A. Henning in Merseburg entwickelt war [8]. Schwieriger war die Herstellung von Fittings und Armaturen. Die ersten Formstücke wurden spangebend aus Blockmaterial herausgearbeitet und handwerklich zusammengefügt. Später wurden Rohre verschiedener Durchmesser aufeinander verschweißt oder geschrumpft (Bild 6). Auch hier gelang in Bitterfeld der Durchbruch mit der Entwicklung des Schlagpressverfahrens [9].

Die schnelle und erfolgreiche Entwicklung wurde durch den 2. Weltkrieg unterbrochen, aber nach 1945 sehr schnell wieder aufgenommen. War 1945 Bitterfeld mit ca. 9000 t/a der größte PVC-Erzeuger weltweit, wurden nun vor allem in den USA, Japan und Westeuropa Anlagen mit sehr viel größeren Kapazitäten aufgebaut.

Der Durchbruch zur Massenproduktion erfolgte nach kurzer Verzögerung auch in Westdeutschland, wo nahezu alle I.G.-Farben Nachfolger die Polymerisation von PVC aufnahmen. Dabei setzte sich

die Suspensionspolymerisation, die von Wacker bereits 1934 entwickelt wurde, gegenüber der Emulsionspolymerisation schnell durch. Die schnelle Erweiterung der Einsatzgebiete erforderte nicht nur die Verbesserung der Polymerisationsverfahren der Stabilisierung und der Verarbeitungstechnik. So war die 1942 in Bitterfeld begonnene Entwicklung der Extrusionstechnik inzwischen in der Lage, Rohre aus thermoplastischen Kunststoffen kontinuierlich herzustellen und dabei deren Leistung hinsichtlich Durchsatzmenge und Rohrdimension stetig zu steigern.

### Neue Rohrwerkstoffe

Neben PVC-U kann auch das Polyethylen zu den Kunststoffen der ersten Generation im Rohrsektor gezählt werden. Bereits 1933 hatte R. O. Gibson bei der ICI in England das Hochdruckverfahren zur Polymerisation von Ethylen zu Polyethylen-weich (PE-LD) vorgestellt, und die erste großtechnische Anlage wurde bereits 1939 von der ICI mit einer Kapazität von 200 t in Betrieb genommen. Die BASF zog 1945 mit einem eigenen Hochdruckverfahren nach. Bereits 1949 konnten die ersten „Lupolen“-PE-LD-Rohre als Trinkwasserleitungen verlegt werden, nachdem deren physiologische Unbedenklichkeit vom Bundesgesundheitsamt Berlin-Dahlem bestätigt worden war. Kontrolluntersuchungen nach einer Betriebsdauer von acht Jahren ergaben keinerlei Veränderungen der Eigenschaftswerte oder Verformungen des Rohrquerschnitts. Die Innenoberfläche war noch glatt und zeigte keine Ablagerungen. Innendruckversuche bei 20°C wurden an PE-LD-Rohren in den USA bereits im 1950 begonnen.

Die Entwicklung der Polyolefine erhielt entscheidende Impulse durch die Ar-

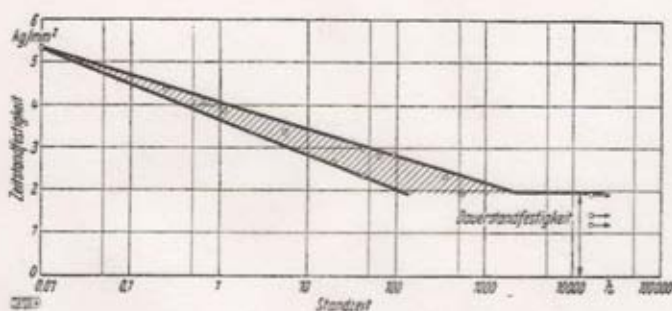


Bild 4. Zeitstandfestigkeit und Dauerstandfestigkeit von „Vinidur“ nach Langzeitversuchen an Zugstäben aus Vinidur-Rohren (Quelle: W. Buchmann)

beiten von Karl Ziegler, Essen, und Giulio Natta, Mailand, durch die von ihnen entwickelte Katalysatortechnik. Von Phillips und Standard Oil wurde 1953 auf der Basis von Ziegler-Katalysatoren das Niederdruckverfahren zur Erzeugung von PE-hart (heute PE-HD) entwickelt. Natta gelang 1954 die Polymerisation von Polypropylen (PP) und Polybuten-1 (PB).

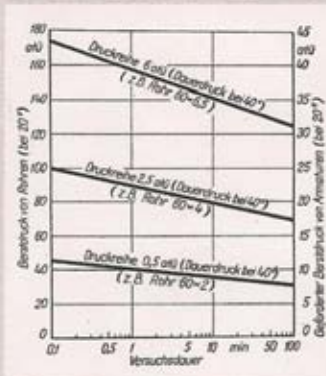
Nachdem der erste Innendruck-Zeitstand-Versuch die langjährige Gebrauchstauglichkeit der PVC-U, PE-LD und PE-HD-Rohre nachgewiesen hatte und mit den DIN-Normen 8061, 8062, 8074 und 8075 verlässliche Angaben zu Qualität und Belastbarkeit dieser Rohrwerkstoffe zur Verfügung standen, begann eine stürmische Entwicklung mit dem Ziel, größere Rohrdimensionen und neue Anwendungsgebiete zu erreichen. In Deutschland wurde das Niederdruckverfahren von der Hoechst AG ausgebaut. Daraus wurden 1954 die ersten Rohre hergestellt und innerhalb von nur drei Jahren unter der Bezeichnung Hostalen GM 5010 ein einsetzfähiger PE-HD Rohrwerkstoff entwickelt. Rohre aus PE-HD wurden umfangreichen Prüfungen unterzogen (Bild 7) und befinden sich heute seit 42 Jahren im Einsatz in der Trinkwasserversorgung, in

Kanalrohrleitungen, als Kabelschutzrohre und seit Ende der 60er-Jahre mit großem Erfolg auch in der Gasversorgung. Dort haben sie in Deutschland PVC-U-Rohre nahezu vollständig verdrängt. PE-HD wurde ständig weiterentwickelt. Während sich die ersten PE-HD-Normen DIN 8074 und 8075 1960 auf Rohre bezogen, deren zulässige Spannung

für 50 Jahre bei 20°C 6,3 N/mm<sup>2</sup> betrug, stehen heute PE-HD-Rohre mit 8 und 10 N/mm<sup>2</sup> zur Verfügung.

Die Entwicklung der Kunststoffe nahm mit zunehmender Überwindung der Kriegsfolgen weltweit Fahrt auf. Optimismus herrschte in allen Industriezweigen und trieb die Innovationen in der Polymerchemie. Die Maschinenindustrie verbesserte ständig die zur Verarbeitung erforderlichen Mischer, Kalander, Extruder usw. zur Erzielung höherer Leistungen. Im gleichen Maße wurden die Verbindungs- und die Verlegetechniken verbessert. Kunststoffe drängten in immer neue Anwendungsbereiche vor. Etwas euphorisch wurde vom „Zeitalter der Kunststoffe“ gesprochen. Auch die Kunststoffrohrhersteller suchten in enger Zusammenarbeit mit den Rohstoffherstellern nach neuen Anwendungsgebieten und neuen Werkstoffen. Dabei lag das Schwergewicht auf der Ausweitung des Einsatzbereiches zu höheren Temperaturen und größeren Dimensionen (Titelbild).

Nachdem PVC- und PE-Rohre vom Frischwasser- und Chemikalientransport dann auch als Kanalrohre für die Abwasserentsorgung eingesetzt wurden (1966), kamen in der ersten Hälfte der 60er-Jah-



**Bild 5.** Kurzzeit-Berstärkungsleistung von „Vinidur“-Rohr (linker Maßstab) und -Armaturen (rechter Maßstab) für die drei genannten Druckreihen bei 40°C (Quelle: W. Krannich)

re zunächst PVC-Rohre in der Gasversorgung zum Einsatz. Inzwischen haben PE-Rohre in der Gasversorgung die PVC-Rohre nahezu verdrängt. Von den neuen Kunststoffen tauchte im Rohrsektor als nächster das Polypropylen auf:

**Polypropylen.** Als 1957 Polypropylen (PP) im großtechnischen Maßstab zur Verfügung stand, begann die Entwicklung von Kunststoffen mit höherer Temperaturbeständigkeit. Das war im Vergleich zu anderen Kunststoffen eine kurze Zeitspanne von der ersten Synthese 1954 durch Natta. Anfängliche Schwierigkeiten mit der Stabilität konnten schnell überwunden werden. Die im Vergleich zu PE geringe Schlagzähigkeit des PP wurde durch Copolymere mit PE und PP-Polymerblends verbessert. In den 60er-Jahren fanden Rohre aus PP sehr schnell ihre Anwendungsbereiche. Ein spezieller Einsatzsektor ergab sich dann in der Fußbodenheizung, bis sich dort Rohre aus vernetzten Polymeren (PE-X) durchsetzen konnten. Neben PVC und PE ist PP inzwischen ein Massenkunststoff geworden, der wegen seiner Temperaturbeständigkeit bei Betriebstemperaturen von bis zu 90°C eingesetzt werden kann.

**Chloriertes PVC.** 1959 wurde von BF Goodrich in USA schon 1934 hergestellte chlorierte PVC (PVC-C) zum ersten Mal zur Herstellung von Rohren eingesetzt. Im Bestreben, die Einsatzgrenze auf über 100°C zu erhöhen, wurden in den 60er-Jahren immer höhere Cl-Anteile angestrebt. Es gelang z. B. in Troisdorf, PVC-C-Rohre mit Vicat-Temperaturen bis zu 140°C zu extrudieren. Doch mit zunehmender Vicat-Temperatur wird die Extrusion schwieriger und der Werkstoff spröder. Die heute großtechnisch eingesetzten PVC-C-Rohre haben Vicat-Temperaturen zwischen 105 und 110°C und erreichen damit eine Einsatztemperatur von bis zu 90°C.

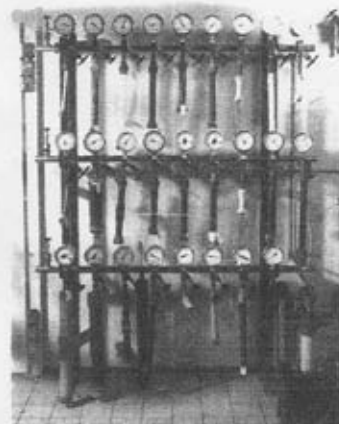
**Polybuten-1.** Solche Betriebstemperaturen wurden auch mit Polybuten-1 (PB) Rohren erreicht. Obwohl schon 1954 von Natta synthetisiert, wurden erst 1964 von den Chemischen Werken Hüls Rohre aus diesem Polyolefin extrudiert. 1968 kam in den USA Mobiloil als Hersteller hinzu.



**Bild 6. Geradsitzventil.** Der Ventilkörper besteht aus einzelnen aufgeschraubten „Vinidur“-Rohren. Der Ventil Aufbau besteht aus spanabhebend hergestellten Vinidur-Teilen und ist durch Gewinde, Schweißung bzw. Klebung mit dem Ventilkörper verbunden

Polybuten-1 weist eine Besonderheit auf: Beim Kristallisieren aus der Schmelze entsteht eine tetragonale Kristallform. In dieser Modifikation ist der Werkstoff gummiartig weich und entsprechend gut verformbar, d. h. auch gut extrudierbar. Dann erfolgt eine von Druck, Temperatur, Orientierung u. a. abhängige Umkristallisation in eine zwillingshexagonale Kristallform. Bei Normaldruck und Raumtemperatur ist die Umkristallisation nach etwa einer Woche beendet. Der Werkstoff wird härter und steifer und der Schmelzpunkt steigt auf 125–130°C an. Erst in dieser Modifikation ist das Rohr belastbar und das bis zu einer Betriebstemperatur von 90°C. Leider wurde die Produktion des PB in Hüls nach wenigen Jahren wieder eingestellt. PB wird heute nur noch von Shell mit einer Kapazität von 30 000 t/a und in kleineren Mengen von Mitsui in Japan hergestellt.

**Polyester- und Epoxidharze.** Eine Erweiterung des Temperaturbereichs gelang dann auch mit glasfaserverstärkten Polyester- und Epoxidharzen. Auch die Polymerisation dieser Harze erfolgte schon in den 30er-Jahren (ungesättigte Polyesterharze (UP) durch Hermann Staudinger 1934 und Epoxidharze (EP) durch Pierre Castan in Zürich 1938). Bereits 1942 setzte die United States Rubber Comp. Kon-



**Bild 7. Frühe Zeitstand-Innendruckprüfung in der Werkstoffstelle der Hoechst AG**

struktionsteile aus mit Glasfasern verstärkten UP-Harzen ein. Diese Technik entwickelte sich sehr schnell und hat sich im Behälterbau, in der Luft- und Raumfahrt sowie im Bootsbau bestens bewährt. Erst 1961 wurden aber die ersten geschleuderten GFK-Rohre in einer Druckrohrleitung DN 1000 eingesetzt. Dann fanden diese Rohre wegen ihrer hohen Festigkeitswerte aber schnell Einsatz im Industriebereich. Nachdem mit dem von Drostholm in Dänemark erfundenen Wickelverfahren die Fertigung dieser Rohre wirtschaftlicher wurde, gelang auch auf dem Rohrsektor der Durchbruch.

**Vernetztes Polyethylen.** Mit der Entdeckung, dass sich Polyethylen vernetzen lässt, wurde Mitte der 50er-Jahre die Grundlage für einen weiteren erfolgreichen Rohrwerkstoff geschaffen. Die räumliche Vernetzung der PE-Moleküle ist mit verschiedenen Methoden zu erreichen. Die peroxidische Vernetzung wurde durch Th. Engel 1969 patentiert. Für Rohre aus vernetztem Polyethylen (VPE bzw. PE-X) sind die in **Tabelle 1** genannten Verfahren und die damit erreichbaren Vernetzungsgrade festgelegt.

Die Entwicklung der PE-X-Rohre fiel mit der Einführung der Fußbodenheizung im Hochbau zusammen. Damit hatte das PE-X-Rohr einen nahezu maßgeschneiderten Anwendungsbereich gefunden. Heute haben PE-X-Fußbodenheizungsrohre mit einem Marktanteil von ca. 80 % nicht nur die Metallrohre fast vollständig, sondern auch die zuerst in diesem Sektor eingesetzten Rohre aus PP und PB (ca. 15 %) weitgehend verdrängt.

**Styrolpolymere.** Zu den „Spätentwicklern“ sind, zumindest in Deutschland, Rohre aus Acrylnitril-Butadien-Styrol

Bezeichnung der Rohre	Mindestvernetzungsgrad [%]	Vernetzungsverfahren	
		physikalisch	chemisch
PE-Xa	75	peroxidische Vernetzung	
PE-Xb	85		Silanvernetzung
PE-Xc	80	Elektronenstrahlvernetzung	
PE-Xd	60	Azid-Vernetzung	

**Tabelle 1. Vernetzungsverfahren und -grade für Rohre aus vernetztem Polyethylen**

(ABS) bzw. Acrylnitril-Styrol-Acrylester (ASA) oder deren Blends zu rechnen. Dabei gehören die Styrolpolymere ebenfalls zu den alten Kunststoffen. Die erste Polymerisation von Styrol wurde wohl von dem Apotheker Eduard Simon 1839 in Berlin beobachtet. Auf Veranlassung von Liebig erfolgte 1845 durch Blith und Hofmann eine gezielte Polymerisation zu glasartigen Blöcken. Die erste technische Darstellung gelang 1925 der Firma Nangatuck in den USA und 1930 die kontinuierliche Polymerisation der BASF in Ludwigshafen. Die Extrusion von ABS-Rohren wurde wohl zuerst in den USA aufgenommen. In Deutschland wurden ABS-Rohre erst zwischen 1965 und 1970 extrudiert, wegen ihrer geringen Witterungsbeständigkeit aber ab 1970 durch ASA-Rohre ersetzt.

**Polyvinylidenchlorid (PVDF)** ist der vorläufig letzte Kunststoff, der sich als Rohrwerkstoff etablierte. Die Geschichte der Fluorkunststoffe begann 1886 mit der Darstellung des gasförmigen Tetrafluorkohlenstoffs durch den Franzosen Henri Moissan. Zwischen 1930 und 1940 wurden zahlreiche gasförmige Fluorverbindungen entwickelt, die als Kältemittel und Treibgase gebraucht wurden. Führend waren die USA, aber auch I.G. Farben

wurde 1934 ein Patent für Polytrifluoräthylen erteilt, das jedoch erst ab 1950 von der Hoechst AG produziert wurde.

Abgesehen von speziellen Einsatzzwecken gelang der Durchbruch im Rohrsektor aber erst mit dem Polyvinylidenfluorid (PVDF). Dieses wurde 1944 erstmals von Du Pont synthetisiert und 1961 von der Pennwalt Corp. unter dem Namen Kynar eingeführt. In Europa wurde PVDF erst Ende der 60er-Jahre durch Importe bekannt. Von Solvay & Cie SA, Brüssel, wurde die Entwicklung von PVDF 1970 aufgenommen und 1972/73 unter der Bezeichnung Solef auf den Markt gebracht. Es folgten die Handelsprodukte Foraflon von PC Ugine Kühnmann und Dyflor 2000 von Dynamit Nobel, Troisdorf, im Jahr 1973. Bereits 1974 wurde in Troisdorf mit umfangreichen Zeitstand-Innendruckversuchen an PVDF-Rohren begonnen. Dabei wurden allein in Troisdorf mehr als 1200 Rohre bei Temperaturen zwischen 20 und 140°C geprüft. Erste Zeitstandkurven wurden 1980 veröffentlicht. PVDF-Rohre werden seit Mitte der 70er-Jahre erfolgreich vor allem im Anlagenbau eingesetzt. Mit diesen Rohren steht nun auch ein thermoplastischer Rohrwerkstoff zur Verfügung,

der neben einer sehr guten Widerstandsfähigkeit gegen Chemikalieneinwirkung auch Betriebstemperaturen bis zu 140°C zulässt. Wegen ihrer guten Eigenschaften sind PVDF-Systeme in der Lebensmittel- und Pharmaindustrie inzwischen eine Alternative sogar zu Anlagen aus Glas. ■

#### DER AUTOR

DIPL.-ING. EGON BARTH, geb. 1929, war zuletzt Leiter der Stoff- und Systemprüfung bei der Hüls AG, Troisdorf (heute Evonik Industries AG).

#### LITERATUR

Das Literaturverzeichnis ist kostenlos im Internet abrufbar unter [www.kunststoffe.de/A037](http://www.kunststoffe.de/A037)

#### SUMMARY

##### MATERIALS FOR PIPES – MEETING CHANGING REQUIREMENTS

LOOKING BACK. The production of pipes made from polyvinyl chloride in Bitterfeld in 1935 launched the use of plastics in pipe construction. For this purpose precise knowledge of the properties of the materials, their service life and the permissible stresses were essential, and was systematically compiled from the outset.

Read the complete article in our magazine *Kunststoffe international* and on [www.kunststoffe-international.com](http://www.kunststoffe-international.com)