

DYNAROHR

Rohre aus Hart-PVC

Stand: 1969



294

Dynamit Nobel

AKTIENGESELLSCHAFT

VERKAUF DYNAROHR

Extrudierte Rohre aus PVC-hart im Vergleich zu Rohren aus anderen thermoplastischen Werkstoffen

Von Adolf Schmitz

Sonderdruck aus Kunststoff-Rundschau 16 (1969) Heft 1 und 2

Verlag BRUNKE GARRELS · Hamburg

Extrudierte Rohre aus PVC-hart im Vergleich zu Rohren aus anderen thermoplastischen Werkstoffen

Von Adolf Schmitz, Ing. (grad.), Dynamit Nobel AG., Troisdorf

Die Notwendigkeit, Flüssigkeiten und Gase wirtschaftlich zu transportieren, haben den Menschen immer wieder veranlaßt, neu auftauchende Werkstoffe für den Transport zu erproben und einzusetzen.

Ausgehend von einfachen Rinnen und späterhin von ausgebohrten Rohren aus Holz und Stein wurden im Laufe der Jahrhunderte Metall-, Beton-, Steinzeug- und Kunststoffrohre erfunden. Das Rohr aus Kunststoff hat sich in den letzten 30 Jahren zunächst langsam und in den letzten Jahren immer rasanter eingeführt. Diese Entwicklung stand im Zeichen der Bemühungen, noch geeignetere und preiswertere Rohre einzusetzen.

Die bedeutendsten Kunststoffe für die Rohrherstellung sind heute Polyvinylchlorid und Polyäthylen. An dieser Stelle wird hauptsächlich das PVC-Rohr behandelt, wobei gleichzeitig ein Vergleich mit anderen thermoplastischen Werkstoffen durchgeführt werden soll.

1. PVC als Rohrwerkstoff

PVC ist einer der bedeutendsten Kunststoffrohstoffe, welcher heute für eine Vielzahl von Produkten in harten und weichen Einstellungen Verwendung findet. Sicherlich ist PVC an der Rohrerzeugung von allen Kunststoffen am stärksten beteiligt.

Die großtechnische Produktion von PVC basiert darauf, daß Acetylen bzw. Äthylen durch Anlagerung von Salzsäure oder Chlorierung in das gasförmige Vinylchlorid überführt wird.

Die Polymerisation des Vinylchlorids erfolgt hauptsächlich nach dem Emulsions- und Suspensionsverfahren. Bei dem Emulsionsverfahren wird Vinylchlorid in Wasser unter Verwendung von Emulgatoren und Katalysatoren unter Druck und Temperatur polymerisiert. Nach der Trocknung fällt das »E-PVC« als feinkörniges Pulver an, das oft noch Reste von Emulgatoren und Katalysatoren enthält.

Auch nach dem Suspensionsverfahren wird die Polymerisation in Wasser unter Druck und Temperatur durchgeführt. Durch den Zusatz von Dispergiermitteln wird das Vinylchlorid zunächst zu kleinen Tröpfchen dispergiert. Bei der Polymerisation wird »S-PVC« in Form von kleinen Perlen erhalten. Die Perlen werden abgeschleudert, gewaschen und getrocknet. Die hohen Anforderungen an Rohre aus PVC-hart haben dazu geführt, daß die Produktion, die ursprünglich vom Emulsions-PVC ausging, zwischenzeitlich fast ausschließlich auf Suspensions-PVC um-

gestellt wurde, wobei hauptsächlich Typen mit K-Werten von 65 bis 72 verwendet werden.

PVC hat den Nachteil der Temperaturempfindlichkeit: Bereits bei stärkerer Erwärmung tritt eine Salzsäureabspaltung ein, die, einmal eingeleitet, in der Art einer Kettenreaktion abläuft und das PVC zersetzt. Seine Verarbeitungstemperatur, d. h. der Temperaturbereich, in dem es sich plastisch verformen läßt, liegt im Bereich der Zersetzungstemperatur des unstabilierten PVC (Bild 1). Der Zusatz von Stabilisatoren wirkt der Zersetzung entgegen, indem auftretende Zersetzungsprodukte (Salzsäure) neutralisiert oder chemisch gebunden werden, und ermöglicht infolgedessen die Verarbeitung in diesen Temperaturbereichen.

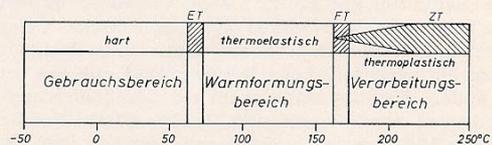


Bild 1: Zustandsbereiche von PVC-hart

Die Stabilisierung von PVC wurde zuerst mit Bleiverbindungen durchgeführt, die sich als äußerst wirksam erwiesen haben und auch heute noch zu den meist verwendeten Stabilisatoren gehören. Sie ergeben sehr gute thermische Stabilitäten und haben den Vorteil eines günstigen Preises.

Man unterscheidet zwei Hauptgruppen:

1. Anorganische Salze, wie Sulfate, Carbonate, Phosphate;
2. Seifen organischer Säuren, wie Stearate.

Die Bleisalze werden mit 2 bis 5% bezogen auf PVC und häufig in Verbindung mit Stearaten eingesetzt, welche neben der stabilisierenden Wirkung noch Gleitmitteleigenschaften besitzen.

Bekannt sind auch andere Stabilisierungssysteme, die jedoch für die Rohrerzeugung in Deutschland nur eine untergeordnete Bedeutung haben.

Die Lichtstabilisierung ist bei den meisten Rohranwendungen von untergeordneter Bedeutung und soll in diesem Artikel nicht näher erläutert werden.

Bei der Verarbeitung von PVC bei höheren Temperaturen wird ein Bereich durchlaufen, in dem die Masse

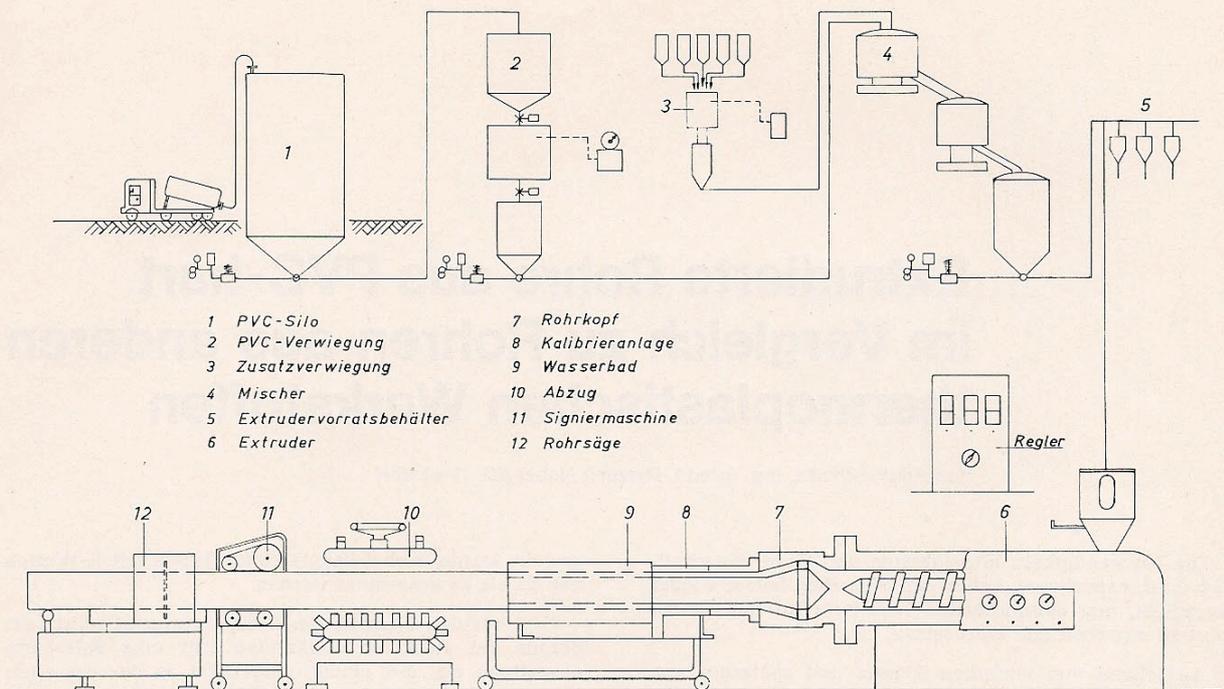


Bild 2: Schematische Darstellung einer PVC-Rohr-Fabrik

sehr zäh ist und in diesem viskosen Zustand zum Kleben und Schmieren an den Metallflächen der Verarbeitungsanlage neigt. Durch den Zusatz von geringen Mengen Gleitmittel werden hervorragende verfahrenstechnische Verbesserungen erzielt.

Die Gleitmittel werden mit 1 bis 2% bezogen auf PVC in Form von höhermolekularen Wachsen, Estern, Calciumstearaten, Stearinsäure usw. zugesetzt. Diese Bestandteile dienen als ausgesprochene Schmiermittel, die die innere und äußere Reibung reduzieren; sie sind jedoch mit der Grundmasse wenig verträglich. Innere Gleitmittel liegen nach der Verarbeitung vorwiegend zwischen den Fadennmolekülen in inaktiver Form vor. Die äußeren Gleitmittel liegen vorwiegend zwischen Extrudat und den berührenden metallischen Flächen. Der Gleitmittelanteil darf auf keinen Fall zu hoch bemessen sein, da hierdurch Ausschitzerscheinungen und niedrigere mechanische Festigkeitseigenschaften befürchtet werden müssen. Das Ausschitzen ist darauf zurückzuführen, daß die bei plastischen Massen aufgehobenen zwischenmolekularen Kräfte sich bei der Rückkehr in den festen Zustand wieder regenerieren und dann nichtverträgliche Fremdstoffe ausstoßen versuchen.

2. Herstellverfahren

Die Fabrikation von PVC-Rohren hat sich in verhältnismäßig kurzer Zeit von der Labor- oder Technikumsfertigung zu einer ausgereiften industriellen Großproduktion entwickelt, wobei eine Vielzahl von Arbeitsgängen mechanisiert und automatisiert ist. Bild 2 zeigt ein mögliches Schema für eine PVC-Rohr-Produktion.

Das pulverförmige PVC wird in Tankwagen angeliefert und pneumatisch in Vorratsbehältern eingelagert. Ebenfalls pneumatisch erfolgt die Abgabe in die PVC-Verwiegung. Zu jeder Mischercharge werden die erforderlichen Zuschlagstoffe — wie Stabilisatoren, Gleitmittel und Farben — in einer besonderen Vorwiegestation verwogen. Beide Wägungen können wiederum zur Mischstation geblasen werden.

2.1 Mischen

Die Aufbereitung der Pulvermischung kann zu rieselfähigen PVC-hart Dryblends und kaltgemischten Pulvermischungen führen.

Bei den Mischvorgängen, die zu den Dryblends führen bedient man sich moderner Schnellmischer mit hoher Dispergierwirkungen in den Wirbelschichten des Mischgutes. Durch das Mischwerkzeug wird mechanische Energie infolge Reibung in Wärme umgewandelt und an das Mischgut abgegeben¹⁾. Durch Beheizen des Behältermantels wird zusätzlich Wärme in das Mischgut eingeleitet und es werden andererseits die Wärmeverluste infolge Konvektion und Strahlung kompensiert. Neben der homogenen Verteilung der verschiedenen Komponenten wird ein rieselfähiges Agglomerat mit hohem Schüttgewicht und frei von flüchtigen Bestandteilen gefordert. Wird der Mischvorgang bis zur Mischguttemperatur von 125 bis 140° C geführt, so werden optimale Bedingungen bezüglich Misch-, Friktions- und Schmelzwirkung erzielt. Das Heißmischen erfolgt wirtschaftlich in sogenannten Heiz-Kühl-Mischerkombinationen. Diese bestehen aus zwei hintereinandergeschalteten Mixern. In dem ersten Mischer wird heißgemischt; in dem zweiten Mischer wird zurückgekühlt. Die Mischbehälter bestehen aus Cr-Ni-Mo-Stahl und sind zur Aufnahme des flüssigen Wärme- oder Kühlträgers doppelwandig ausgeführt.

Die heißgemischten PVC-Dryblends sind rieselfähig und neigen nicht zum Entmischen. Diese Materialcharakteristik läßt eine pneumatische oder mechanische Förderung (Förderschnecken) zu. Dieser Tatsache kann bei einer Vollautomatisierung eine grundlegende Bedeutung zukommen.

Das Kaltmischen erfolgt in gekühlten Mixern, wobei die durch Friktion entstandene Wärme, falls notwendig, durch eine Kühlung des Behältermantels abgeführt wird. Der wirtschaftliche Vorteil dieser Verfahrensweise liegt

¹⁾ A. W. Sheppard und R. D. Hendrick: *Plastics*, Bd. 32 (1967), S. 1228—1229.

in den gegenüber dem Heißmischen wesentlich geringeren Mischzeiten und dem erheblich geringeren Energiebedarf. Dadurch können Kosten für Mischanlagen und laufende Energiekosten reduziert werden. Die hier erhaltenen Mischungen neigen jedoch zum Entmischen. Aus diesem Grund ist ein pneumatischer oder mechanischer Transport bisher mit Schwierigkeiten verbunden. Der Transport erfolgt zweckmäßig in Kleinbunkern oder Containern.

2.2 Extrudieren

Die Entwicklung der Doppelschneckenpressen in verfahrenstechnischer und konstruktiver Hinsicht hat in den letzten Jahren dazu geführt, daß die Extrusion von Hart-PVC-Rohren, Profilen und anderen Halbzeugen heute immer häufiger direkt vom Pulver ausgehend auf Doppelschneckenextrudern erfolgt. Die Extrusion auf Einschneckenextrudern ist nur noch selten und vornehmlich in der Profilherstellung anzutreffen.

Besonders herauszustellen sind die folgenden Hauptvorteile der Doppelschnecken:

1. Die schonende thermische Belastung des temperaturempfindlichen Thermoplasten durch die günstige Beeinflussbarkeit der Massetemperatur, weil die eingeleitete Energie zum größten Teil aus der leicht regelbaren Heizungswärme der äußeren Zylinderbeheizung zugeführt wird und nur ein geringer Teil durch die Friktion in Walzenspalt und Zwickelbereiche der Doppelschnecken eingeleitet wird.
2. Die Zwangsförderung gewährleistet gleichmäßigen Materialtransport und stellt geringe Verweilzeiten des Extrudats im Extruder sicher. Dies trägt erheblich zur schonenden Verarbeitung der Masse bei. Weiter ist durch die Zwangsförderung die Abhängigkeit von Austrittsquerschnitt und Massetemperatur — wie von Einschneckenextrudern bekannt — weitgehend aufgehoben.

2.3 Rohrwerkzeuge

Für die Rohrerzeugung kommen drei Arten von Spritzköpfen in Frage: Längs-, Quer- und Offset-Spritzköpfe. Für die Extrusion von Hart-PVC-Rohren sind im wesentlichen nur Längsspritzköpfe (Bild 3) bekannt, die von außen und, soweit größtmöglich, auch von innen elektrisch beheizt werden.

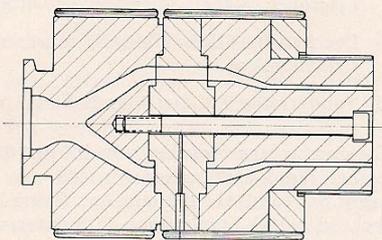


Bild 3: Schematische Darstellung eines Längsspritzkopfes für die Rohrerzeugung

Für die Herstellung von Rohren ist besonders das Querschnittsverhältnis Dornhalter/Werkzeugaustritt von Bedeutung, um gute Stegnahtverschweißungen und markierungsfreie Rohre zu erhalten. Durch die Stege des Dornhalters müssen Heizleitungen, Meßleitungen und oftmals Stützluft für die Stützluftkalibrierung sowie Kühlwasser für die Innenkalibrierung geleitet werden. Durch besondere konstruktive Vorkehrungen, wie Engstellen hinter dem Dornträger, werden Stegmarkierungen vermieden. Der Fließkanal ist für Hart-PVC zweckmäßigerweise hartverchromt.

2.4 Kalibrierungen

Bekannt sind folgende Kalibrierverfahren:

1. Innenkalibrierung
2. Vakuumkalibrierung
3. Stützluftkalibrierung
4. Differentialkalibrierung

Zur Produktionsverbesserung können die verschiedenen Verfahren gegebenenfalls untereinander kombiniert werden. Bild 4 zeigt die verschiedenen Systeme in schematischer Darstellung.

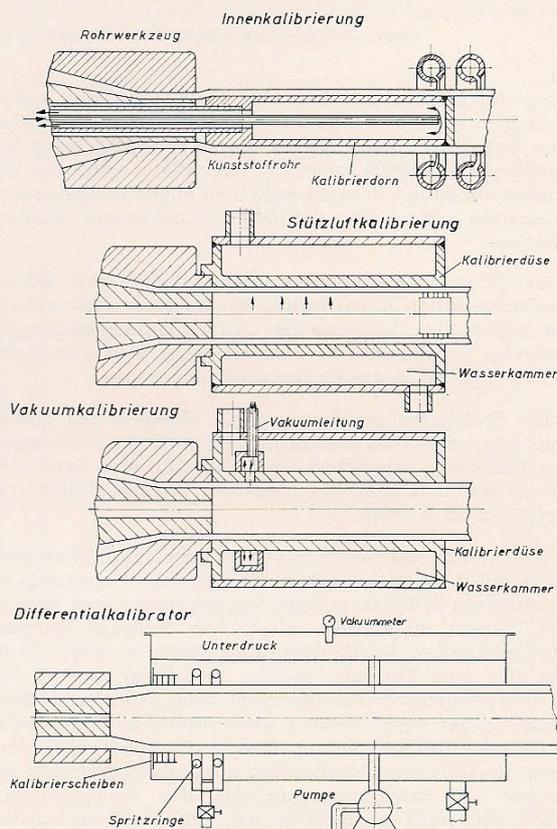


Bild 4: Kalibrierverfahren

Die Innenkalibrierung reicht heute in Anbetracht der verlangten engen Durchmessertoleranzen für eine einwandfreie Fixierung nicht aus, da alle auftretenden Wanddickenschwankungen den Außendurchmesser zusätzlich beeinflussen. Andererseits bietet dieses System den Vorteil einer günstigen Eigenspannungsverteilung, da die von innen ausgehende Kühlung an der Rohrinneiseite eingefrorene Druckspannungen erzeugt, die der Zugspannungsspitze an der Innenseite des Rohres entgegenwirkt, wenn dieses unter Innendruck steht²⁾. Bei allen von außen wirkenden Kalibrierverfahren ergibt sich dagegen eine ungünstige Eigenspannungsverteilung, weil umgekehrte Verhältnisse vorliegen. Ein weiterer Vorteil ist durch die Erzielung sehr glatter und hochglänzender Innenoberflächen gegeben, die die Strömungswiderstände in den Rohrleitungen extrem erniedrigen und die Kontrolle der Innenoberfläche erleichtern. Um die Vorteile der Innenkalibrierung zu nutzen, wird dieses Verfahren teilweise mit Außenkalibrierverfahren kombiniert. Von Schuur³⁾ wird ein Herstellverfahren mit Winkel- und

²⁾ H. O. Schiedrum: *Plastverarbeiter*, Bd. 18 (1967), S. 796—801; Bd. 18 (1967), S. 905—909; Bd. 19 (1968), S. 27—32.

³⁾ G. Schuur: *Plastics*, Bd. 33 (1968), S. 180—183.

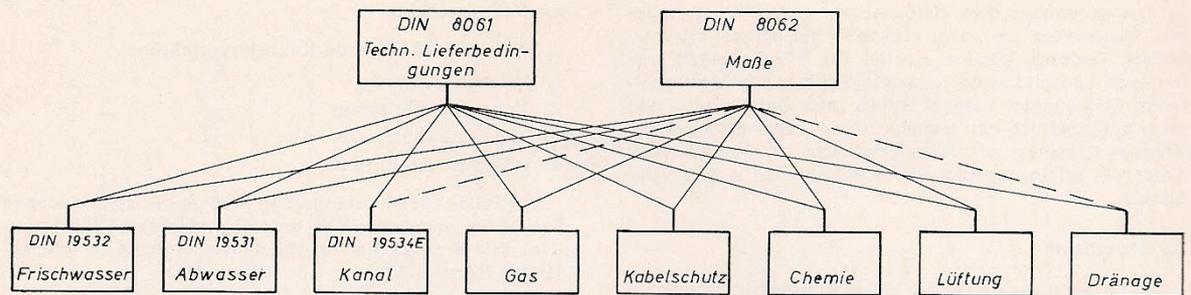


Bild 5: Einwirkungen der Grundnormen auf die verschiedenen Einsatzgebiete der PVC-Rohre

Längsspritzköpfen zur besseren Installation der Kühlleitungen für die Innenkalibrierung vorgeschlagen. Diesem Vorschlag stehen für die PVC-Rohr-Herstellung jedoch Bedenken verfahrenstechnischer Natur entgegen, da hierbei die an das Produkt gestellten engen Durchmesser-toleranzen nicht mehr befriedigend beherrscht werden können.

Das Vakuum-Kalibrierverfahren arbeitet mit einem wassergekühlten Kalibrierrohr, das an einer oder mehreren Stellen über den gesamten Umfang Ansaugbohrungen aufweist. In diesem Teil wird das noch plastische Rohr mit Unterdruck an das Kalibrierrohr angesogen.

Die Stützluftkalibrierung arbeitet ebenfalls mit einem Kühlrohr, an das das plastische Kunststoffrohr durch inneren Überdruck angedrückt wird. Die Luft wird durch die Dornstege eingeleitet. Ein fliegender Stopfen hindert die Druckluft am Austritt.

Das System der sogenannten Differential-Kalibratoren ist in den USA entwickelt worden und wird nun auch in Deutschland in Lizenz gebaut. Das System ist vom Prinzip her äußerst einfach. Im plastischen Schlauch herrscht atmosphärischer Druck. Das Rohr läuft in einen Tank ein, der zum Teil mit Wasser gefüllt ist, wobei der Wasserspiegel über der Durchlaufebene liegt. Durch Evakuierung der verbleibenden wasserfreien Zone kann ein beliebiges Druckgefälle zur Atmosphäre eingestellt werden. Die Differenz zwischen der atmosphärischen Luft im Innern der Extrusionsmasse und der herabgesetzten Druckhöhe im Tank bewirkt, daß sich das Rohr an das Kalibrierwerkzeug anlegt, wo es in den Grenzflächen erstarrt.

2.5 Folgeeinrichtungen

Als Folgeeinrichtungen sind zu erwähnen:

- Wasserbad
- Abzugsmaschine
- Signiereinrichtung
- Ablänganlage

Im Wasserbad wird die endgültige Abkühlung des Produktes erreicht. Die Abzugsmaschine hat die Aufgabe, das Rohr gleichmäßig durch Kalibriervorrichtung und Wasserbad zu ziehen. Eine Steuerung des Abzuges nach Programm zur Erreichung von Rohrwandverstärkungen und Steuerungen in Abhängigkeit von der Wanddicke, wobei die aus dem Spritzkopf austretende Wanddicke als Steuergröße dient, sind möglich. Die Signiermaschinen prägen mit beheizten Schrifttypen Herstellerzeichen und Rohrkenndaten in die Rohroberfläche. Die Ablängung kann von Hand und automatisch erfolgen. Üblich sind automatische Anlagen, die mit einer Ablegeanlage gekoppelt sind.

3. Normen für PVC-Rohre

Die mannigfaltigen Vorteile des Kunststoffrohres und insbesondere des PVC-hart-Rohres müssen besonders bemerkenswert sein, da man sonst das schnelle Eindringen in die verschiedenen Bereiche der Investitionsgüter nicht zu erklären vermag^{4) 5)}. Ausgehend von den Grundnormen DIN 8061 / DIN 8062, in denen grundsätzliche »Technische Lieferbedingungen« und »Maße« von PVC-hart-Rohren behandelt sind, wurden weitere spezielle Normen und Vorschriften herausgegeben, die die besonderen Belange der verschiedenen Rohrtypen aus PVC regeln.

Die Entwicklung der verschiedenen Rohrtypen hat dazu geführt, daß die Überarbeitung des Normblattes DIN 8062 im November 1964 eine Erweiterung der Rohrreihen und der Durchmesser sowie eine einschneidende Verringerung der Außendurchmesser-Toleranzen ergab.

Die Anzahl der Durchmesserreihen wurde auf 6 erhöht, wobei den verschiedenen Reihen folgende Einsatzgebiete bei Zugrundelegung des Rohrtyps PVC 100 zuzuordnen sind:

- Reihe 1: drucklose Rohre für den Bau von Lüftungsleitungen
- Reihe 2: Druckstufe 4 atü, Abwasserrohre
- Reihe 3: Druckstufe 6 atü, Wasserleitungsrohre, Kabelschutzrohre
- Reihe 4: Druckstufe 10 atü, Wasserleitungsrohre, Gasrohre, Kabelschutzrohre
- Reihe 5: Druckstufe 16 atü, Wasserleitungsrohre, Chemierohre
- Reihe 6: Sonderreihe für den chemischen Apparatebau

Die Außendurchmesser wurden von 160 auf 710 mm erweitert, wobei die Durchmesser bis 400 mm der ISO-Empfehlung R 161 und ab 450 mm der Reihe R 20 nach DIN 323 bzw. der ISO-Empfehlung R 3 entsprechen. Die Toleranzen des Außendurchmessers wurden im Interesse von Verbindungstechnik und Austauschbarkeit der verschiedenen Fabrikate von der Formel $\Delta d = 0,01 d + 0,3 \text{ mm}$ in die wesentlich engere Funktion $\Delta d = 0,0015 d + 0,1 \text{ mm}$, beginnend mit 0,2 mm, gebracht.

Bild 5 zeigt den Zusammenhang der Grundnorm DIN 8061 / 8062 zu den verschiedenen Einsatzgebieten, die zum Teil eigene Normen aufweisen und sich in von Fachverbänden und Behörden herausgegebenen Spezifikationen wiederfinden.

⁴⁾ H. Lindner: Neue DELIVA-Zeitschrift, Bd. 10 (1966), S. 510–520.
⁵⁾ G. Frank: Das Kunststoffrohr, Umschau-Verlag, Frankfurt/M. 1962.

4. Rohrverbindungen

4.1 Klebtechnik

Neben der durch die verbesserte Fertigungstechnik möglichen Durchmesserreduzierung wurde bis 1964 ein neues Klebesystem entwickelt. Die bis dahin übliche Klebtechnik mit einem Kleber auf Basis Methylendichlorid erlaubte nur Passungen von 0 bis 0,4 mm Pressung. Das hatte zur Folge, daß neben der Muffenanformung auch eine Nachkalibrierung des Spitzendes erforderlich war. Bei Verwendung von werksseitig gemufften und kalibrierten Rohren ergab sich kostenmäßig eine Verteuerung. Bei Paßarbeiten auf den Baustellen kamen zeitaufwendige Nachkalibrierungen hinzu.

Die Umstellung auf einen Kleber, der auf der Grundlage Tetrahydrofuran (THF) aufgebaut ist, ermöglichte eine grundsätzlich neue Verarbeitungstechnik⁶⁾. Das Lösungsmittel Tetrahydrofuran bewirkt eine intensivere Anlösung als Methylendichlorid; diese ist mit einer starken Quellung verbunden, so daß die Klebeflächen gegeneinander wachsen und verschweißen. Man konnte feststellen, daß Spalten von 1,2 mm auf diese Weise im Labor sicher überbrückt werden konnten. Unter Berücksichtigung von Baustellenverhältnissen wurde ein maximales Spiel von 0,6 mm festgelegt. Durch den Fortfall der Nachkalibrierungen und einen reduzierten Klebeaufwand wurde die Klebtechnik wesentlich vereinfacht.

4.2 Steckverbindungen

Eine weitere Verbindungsmöglichkeit besteht in der Verwendung von gummiringgedichteten Steckmuffen. Diese können, wie in Deutschland üblich, am Rohr angeformt werden oder als lose Doppelmuffen beigelegt werden. Bei innendruckbeanspruchten Leitungen ist es erforderlich, den Muffenkörper stärker als das zugehörige Rohr zu gestalten, weil die auftretende Wandspannung dem Durchmesser direkt proportional ist. Die das Dichtelement aufnehmende Sicke weist den größten Durchmesser auf und hat zusätzlich noch überlagerte Spannungen aufzunehmen, die aus den Verpressungskräften des Dichtelementes herrühren. Für innendruckbeanspruchte Rohre wird der entsprechend verstärkte Muffenkörper durch das wandverdickte Extrudieren der Rohrenden oder durch das gemeinsame Ausformen der Muffe mit Grundrohr und Verstärkungsrohr erhalten.

5. Werkstoffeigenschaften

5.1 Zeitstandverhalten bei Innendruck

Die in den Grundnormen DIN 8061 / DIN 8062 (Abschnitt 3) festgelegten Nenndicken sind jeweils bestimmten Temperaturen und Durchflußmedien zugeordnet. Eine Änderung dieser Einflußgrößen erfordert notwendigerweise eine Änderung der Belastbarkeit. Eine weitere außerordentlich wichtige Einflußgröße ist die Zeit. Um das Langzeitverhalten und das Verhalten bei dreiaxigem Spannungszustand in verhältnismäßig kurzen Zeiträumen abschätzen zu können, wurden Zeitraffer-Versuche⁷⁻⁹⁾ durchgeführt. Darunter werden auf dem Rohrsektor Innendruckversuche mit erhöhtem Druck bei erhöhter Temperatur verstanden. Eine Vielzahl von Meßwerten mit unterschiedlichen Wandspannungen, die einer Temperaturklasse zugeordnet sind, ergibt eine temperaturbezogene Kurvencharakteristik. Die Kurven verlaufen entsprechend der Bezugstemperatur mit verschiedenen Neigungen. Durch Extrapolation der Kurven, die sich aus den Versuchen mit Gebrauchstemperaturen und erhöhten Temperaturen ergeben, wird eine Vorhersage des Stoffverhaltens möglich, wenn man davon ausgeht, daß alle Kurven gleichartigen Charakter haben¹⁰⁾.

Beim Einsatz von Kunststoffrohren wird allgemein davon ausgegangen, daß diese nach einer Belastung von 50 Jahren noch eine Festigkeitsreserve aufweisen. Die 50jährige Funktionsfähigkeit wird zugrunde gelegt, weil in der Wasserwirtschaft über 50 Jahre amortisiert wird. Die umfangreichen Forschungen haben ergeben, daß im 50-Jahres-Punkt der Zeitstandkurve (Bild 6) bei einer Wandspannung von 100 kp/cm² noch mit einem Sicherheitsbeiwert von 2,4 gerechnet werden kann. Dieser Faktor dürfte sich noch beträchtlich vergrößern, wenn man davon ausgeht, daß viele Leitungen nicht immer mit Nennlast und meist mit Temperaturen, die unter der Bezugstemperatur von 20° C liegen, betrieben werden. Unter diesen Voraussetzungen kann mit einer Lebensdauer von mindestens 120 Jahren gerechnet werden.

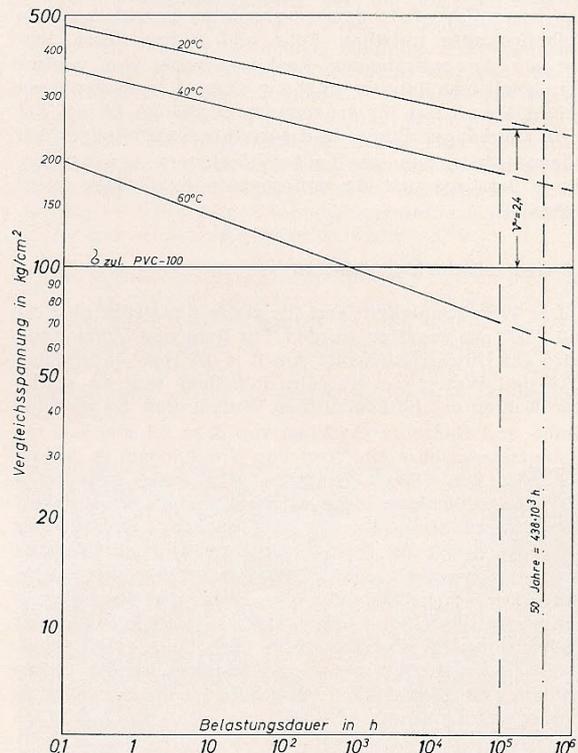


Bild 6: Zeitstandfestigkeit von Rohren aus PVC-100

Diese rein theoretischen Überlegungen berücksichtigen jedoch keineswegs aus der Verlegung kommende Zusatzspannungen, die sich den Wandspannungen überlagern. Das Vermögen der Kunststoffe, Spannungen zeitabhängig durch Fließvorgänge abzubauen, führt zu einem Abbau der Spannungsspitzen. Diese Relaxation wird durch innere Platzwechselvorgänge ermöglicht.

PVC-Rohre können natürlich auch in gewissem Umfang mit höheren Drücken, Temperaturen und mit Durchflußstoffen, gegen die PVC nicht eindeutig beständig ist, beaufschlagt werden. Dadurch reduziert sich naturgemäß die effektive Lebensdauer.

In Zusammenhang mit dem statischen Zeitstandverhalten erhebt sich naturgemäß die Frage nach dem Verhalten bei Druckschlägen. Bekannt ist die Abhängigkeit der Druckerhöhung des Mediums von E-Modul und — weniger ausgeprägt — von der Wanddicke des Rohrwerk-

⁶⁾ B. M. Runze: Kunststoff-Berater, Bd. 10 (1965), S. 794—796.

⁷⁾ K. Richard und G. Diedrich: Kunststoffe, Bd. 46 (1956), S. 183—190.

⁸⁾ H. Niklas und K. Eißländer: Kunststoffe, Bd. 49 (1959), S. 109—113.

⁹⁾ E. Nümann und O. Umminger: Kunststoffe, Bd. 49 (1959), S. 113—116.

¹⁰⁾ K. Richard und E. Ewald: Kunststoffe, Bd. 49 (1959), S. 116—120.

stoffes. Die Druckerhöhung ist demnach bei Stoffen mit niedrigem E-Modul bei gleichen Fließgeschwindigkeitsänderungen, bedingt durch Schieberschließungen usw., wesentlich geringer. Das ausgeprägte Dämpfungsverhalten von Kunststoffrohren hat zum Teil dazu geführt, druckschlaggefährdete Leitungen mit Kunststoffrohren auszurüsten.

Spannungen, die durch Druck- und Temperaturänderungen bedingt sind, können von den Leitungen übernommen werden, da die in axialer Richtung auftretenden Spannungen nur die Hälfte der tangentialen Wandspannungen ausmachen. Allgemein besteht auch bei gesteckten Leitungen nicht die Gefahr, daß das Rohr aus der Muffe herausrutscht oder im Muffengrund Druckspannungen erzeugt, da das Rohr nur in der Muffe in axialer Richtung frei beweglich ist. In dem eingedeckten Bereich sind die Reibungskräfte zwischen Rohr und Boden meist größer als die auftretenden Reaktionskräfte und verhindern somit eine Rohrverschiebung. Diese Voraussetzungen gelten jedoch nur für sogenannte tragfähige Böden. Bei nicht tragfähigen Böden sind gesteckte Rohrleitungen bei Bögen, Abzweigen usw. mit Widerlagern auszustatten, die in der Lage sind, die auftretenden Axialkräfte aufzunehmen.

5.2 Hydraulische Eigenschaften

Der Wandrauigkeitswert für glatte Kunststoffrohre ist mit 0,007 mm ermittelt worden. Für Rohr und Verbindung wird ein Durchschnittswert von $K = 0,01$ mm angegeben. Das sind Werte, die erheblich günstiger sind als solche von Rohren aus herkömmlichen Werkstoffen. So wird für Stahl- und Gußrohre ein Wert von $K = 0,1$ mm und für Asbestzementrohre ein Wert von $K = 0,05$ mm in Ansatz gebracht. Die Oberflächenglätte wird erfahrungsgemäß bei Kunststoffrohren nicht abgebaut, so daß in bezug auf Förderkapazität und den für die Förderung erforderlichen Energieaufwand bei Kunststoffrohren optimale Voraussetzungen anzutreffen sind. Da sich in PVC-Rohren wegen ihres chemisch indifferenten Verhaltens und ihrer glatten Innenoberfläche keine Inkrustationen bilden können und andererseits Senkstoffe durch Erhöhung der Fließgeschwindigkeit leicht entfernt werden, ist das ungewöhnlich günstige Strömungsverhalten auch über längere Zeiten gesichert.

5.3 Chemische Beständigkeit und Angriffe durch Lebewesen

PVC ist gegen aromatische Kohlenwasserstoffe, wie Benzol, sowie gegen Ester, Ketone und Chlorkohlenwasserstoffe bedingt oder nicht beständig. Dagegen ist PVC beständig gegen Salzlösungen, Laugen, die meisten Säuren, niedrige Alkohole und Mineralöle. Einzelheiten über die chemische Beständigkeit von PVC enthält DIN 16 929. Im Wasser- und Erdreich sind keine die Lebensdauer von PVC beeinträchtigenden Chemikalien enthalten. Die Korrosionsfestigkeit wird auch durch die Beschaffenheit des Wassers — hart, weich oder kohlenensäurehaltig —, nicht beeinträchtigt. Das ausgeprägte Widerstandsverhalten gegen Chemikalien läßt PVC als einen vielseitig einsetzbaren Werkstoff im chemischen Apparatebau erscheinen. Elektrokorrosion durch Elementbildung kann bei PVC-Rohren ebenfalls ausgeschlossen werden. PVC ist, wie alle festen Kunststoffe, gegen den Angriff von Mikroorganismen beständig. Man hat festgestellt, daß aggressive Bakterienstämme den Rohrwerkstoff nicht angreifen. Als Nährboden für Bakterienstämme kommt PVC nicht in Frage. Bakterielle Verunreinigungen können nur durch verschmutztes Wasser hervorgerufen werden.

5.4 Hygienische Unbedenklichkeit

Die Untersuchungen von bleistabilisierten Rohren aus PVC-hart haben ergeben, daß diese Rohre für den Transport von Trinkwasser in hygienischer Hinsicht geeignet sind. Trinkwasser aus neu verlegten und aus bereits längere Zeit in Betrieb befindlichen Leitungen wies keine organischen Stoffe und Blei in wesentlichen Mengen auf. Eine Veränderung von Klarheit, Farbe, Geruch und Geschmack der Wässer sowie deren pH-Werte konnte bei diesen Versuchen nicht festgestellt werden. Demnach können PVC-hart-Rohre für die Trinkwasserversorgung als physiologisch und toxikologisch einwandfrei angesehen werden.

Entsprechende Genehmigungen wurden vom Bundesgesundheitsamt erteilt¹¹⁾. Für andere Lebensmittel wie Milch, Bier, Fruchtsäfte usw. müssen bleifrei stabilisierte Rohre verwendet werden^{12–14)}.

6. Prüfungen an Rohren

Zur Sicherung einer gleichbleibenden hohen Materialqualität ist es erforderlich, daß in den Produktionsstätten laufend die Produktgüte überwacht wird. Neben den einschlägigen Grund- und Spezialnormen hat der Kunststoffrohrverein für die verschiedenen Rohrtypen Richtlinien erlassen, die, wie auch die Richtlinien des Deutschen Vereins von Gas- und Wasserfachmännern, die Prüfmethode und die Prüfhäufigkeit vorschreiben. Für die verschiedenen Rohrtypen sind die Prüfungen in festgelegten Zeitabständen durchzuführen. Die Rohre oder Rohrchargen müssen folgende Prüfungen durchlaufen:

Lieferzustand, Innendruck-Zeitstandversuch, Schlagzähigkeit, Wasseraufnahme, Verhalten bei Warmbehandlung (Schrumpfung), Oberflächenbeschaffenheit und Maße (Durchmesser und Wanddicke).

Die Rohrersteller arbeiten intern zum Teil mit wesentlich verschärften Prüfvorschriften. So werden die Schlagzähigkeitsprüfung bei 0°C, die Warmlagerungsprüfung bei 170°C über 1 Stunde und die verschiedenen Zeitstandprüfungen mit erhöhten Wandspannungen durchgeführt. Die Dichtheitsprüfung, die in den unterschiedlichen Prüfvorschriften nicht mehr enthalten ist, wird in einzelnen Produktionen mit einem Prüfdruck von 42 atü vorgenommen, um Produktionsfehler frühzeitig zu erkennen. Diese mit erhöhtem Druck durchgeführte Dichtheitsprüfung bietet die Gewähr, daß jeder Meter Rohr geprüft ist und grobe Fertigungsfehler ausgeschlossen werden können. Des Weiteren werden Fallprüfungen nach ISO Warmlagerungen in Flüssigkeiten, Lagerungen in Lösungsmitteln, Berstversuche, Bestimmung des Vicat-Erweichungspunktes, Warmverarbeitungs-Prüfungen, Zugfestigkeits- und Dehnungsprüfungen, Kerbschlagzähigkeits-Prüfungen, mikroskopische Untersuchungen usw. durchgeführt. Um Fertigungsfehler zu vermeiden, ist es außerdem erforderlich, die eingesetzten Rohstoffe ausgiebig zu untersuchen. Die über die Normen und Richtlinien hinausgehenden Prüfverfahren können den Herstellern zur Fertigungssteuerung dienen und haben gleichzeitig der Zweck, dem Verbraucher Produkte auszuliefern, von denen eine optimale Sicherheit im praktischen Betrieb erwartet werden kann.

¹¹⁾ Bundesgesundheitsblatt, 5. Jahrgang, Nr. 15 (1962), 11. Mitteilung S. 242.

¹²⁾ Bundesgesundheitsblatt, 7. Jahrgang, Nr. 23 (1964), 19. Mitteilung S. 360–363.

¹³⁾ Bundesgesundheitsblatt, 7. Jahrgang, Nr. 26 (1964), 21. Mitteilung S. 406–408.

¹⁴⁾ Bundesgesundheitsblatt, 10. Jahrgang, Nr. 11 (1967), 38. Mitteilung S. 167–168.

Zur verbesserten Analyse der Prüfverfahren, deren Meßdaten häufig als sogenannte Zahlenfriedhöfe ungenutzt herumliegen, arbeitet ein Arbeitsausschuß des Kunststoffrohrvereins daran, die Methoden der statistischen Qualitätskontrolle in die Rohrprüfung einzuführen. Diese Methoden haben sich in vielen Gebieten der industriellen Fertigungstechnik bereits hervorragend bewährt und empfehlen sich auch für die Fertigung von Kunststoffrohren sowie für die Eingangskontrolle von Rohstoffen und anderen, für die Programmvervollständigung benötigten Teilen wie Dichtelemente, Gußstücke und Fittings.

Rohrproduzenten, die mit einer amtlichen Materialprüfungsanstalt (MPA) Überwachungsverträge abschließen und die Einhaltung der Normanforderungen nachweisen, sind berechtigt, ihre Produkte entsprechend mit dem jeweiligen DIN-Zeichen zu kennzeichnen. Überwachungsverträge zwischen Hersteller, Überwachungsanstalt, Deutschen Verein von Gas- und Wasserfachmännern (DVGW) und der Gütegemeinschaft Kunststoffrohre (GKR) berechtigen bei Vertragserfüllung zur Führung des DVGW-Gütezeichens und des Gütezeichens der Gütegemeinschaft Kunststoffrohre.

Die Vertragserfüllung ist gegeben, wenn die Überwachungsprüfungen an Rohren, die von einem Prüfungsinstitut der MPA oder der GKR auf beliebigen Lägern mehrmals jährlich entnommen werden, positiv verlaufen und die betrieblichen Aufzeichnungen nicht zu beanstanden sind.

Mit der Gütesignierung werden gleichzeitig Angaben über Hersteller, Herstellzeitraum, Nennweite usw. aufsigniert. Diese unverwischbaren Angaben bieten dem Verbraucher nach der Farbvereinheitlichung die Möglichkeit, bei einer eventuellen Störung den Rohrlieferanten festzustellen. Den Verbrauchern ist eindringlich zu empfehlen, nur gütegekennzeichnetes Rohrmaterial zu verwenden, da damit dem Verbraucher die Sicherheit gegeben ist, daß eine überwachte und gütegesicherte Materialqualität mit ausreichenden Festigkeitseigenschaften vorliegt.

7. Spezielle Einsatzgebiete für PVC-Rohre

7.1 Wasserleitungsrohre

Bewährt haben sich zwei Verbindungssysteme für die dunkelgrau nach RAL 7011 eingefärbten Wasserleitungsrohre aus PVC-hart: Klebe- und gummigedichtete Steckverbindung.

Nicht tragfähige Böden erfordern die Verwendung von längskraftschlüssigen **Klebeverbindungen**. Gleiches gilt für Verlegungen in Gebäuden und Energiekanälen sowie bei Unterdückerungen.

Die werkstoffgerechte Klebeverbindung ist in der Lage, die im Betrieb möglichen Kräfte aufzunehmen. Die Muffenlänge ist so bemessen, daß keine Widerlager an Endstücken, Bogen und T-Stücken erforderlich sind. Die Vermeidung von Widerlagern in Straßenkörpern, wo normalerweise eine Vielzahl von verschiedenen Rohren, Kabeln und Kanälen geführt wird, ist besonders wünschenswert.

Bei frei verlegten, geklebten Leitungen in Gebäuden, Kanälen usw. muß die temperaturabhängige Längenänderung berücksichtigt werden. Gegebenenfalls, wenn ein Ausfedern der Leitung nicht gewünscht wird, ist mit Dehnungsbogen oder Kompensatoren zu arbeiten. Zur Abschätzung der möglichen Dehnungen muß die Temperaturdifferenz zwischen Verlegetemperatur und den maximalen und minimalen Temperaturen bekannt sein. Es sollen

keine Rohrhaken, sondern gratfreie Rohrschellen mit größeren lichten Weiten als der Rohraußendurchmesser verwendet werden, damit die Leitung die Wärmedehnung den Dehnungspunkten zuführen kann.

Für das Klebesystem steht bis zu der NW 150 ein reichhaltiges Fitting-Programm in gespritzter Ausführung aus PVC zur Verfügung. Gespritzt werden Bogen, Winkel, T-Stücke, Reduzierungen, Anbohrbrücken usw. Weiter werden aus Rohr gefertigte Rohrbogen und Anschlußstücke mit Flanschverbindung für den Anschluß an gußeiserne Schieber und Formteile verwendet. Die aus Rohr hergestellten Bögen weisen große Biegeradien auf und erniedrigen somit die Strömungsgeschwindigkeit nicht wesentlich.

Für die Warmformungen bei der Muffenherstellung oder dem Rohrbogenbiegen werden die Rohre oder Rohrenden mit Propangasflamme, Heißluft, Flüssigkeitsbad oder Strahlungswärme auf eine Temperatur von 120 bis 130° C gebracht und anschließend verformt. Die Muffen werden durch das Eindrücken zylindrischer Muffendorne hergestellt. Rohrbogenrohlinge müssen vor Erwärmung und Verformung von innen mit geeigneten Hilfsmitteln abgestützt werden. Bekannt sind verschiedene Stützmedien wie verdichteter Sand, Gliederdorne, Schaumstoffdorne und aufpumpbare Stützschläuche.

Die im deutschen Markt befindlichen **Steckverbindungen** (Bild 7) sind untereinander austauschbar. Die Einstecktiefen sind einheitlich. Zu den unterschiedlichen Muffenausführungen der verschiedenen Hersteller, zu denen auch gespritzte Muffen, die aufgeklebt werden, gehören, muß jeweils ein spezielles Dichtelement verwendet werden.

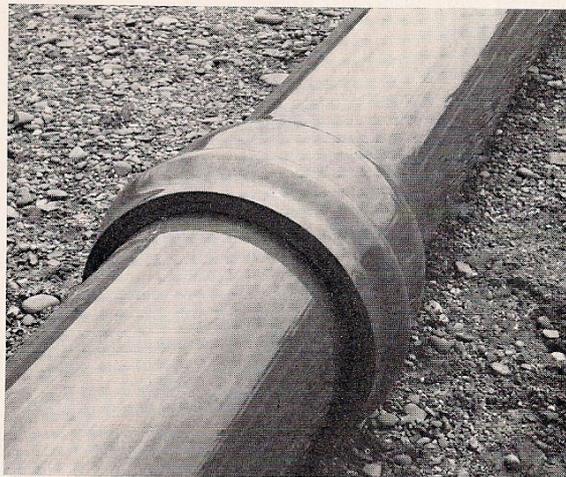


Bild 7: Steckmuffenverbindung NW 250

Bei **Erdverlegungen** müssen PVC-hart-Rohre wie Rohre aus anderen Kunststoffen und Rohre aus Guß, Stahl, Asbest usw. in steinfreies Material eingebettet werden. Nähere Angaben werden im DVGW-Arbeitsblatt W 321 »Richtlinien für die Verlegung von Kunststoffrohren außerhalb von Gebäuden« und DIN 19 630 »Rohrverlegungsrichtlinien für Gas- und Wasserrohrnetze« gemacht. Werden PVC-Rohre mit Klebeverbindungen verbaut, so kann die Leitung am Grabenrand geklebt werden. Nach einer Mindestabbindezeit von 30 Minuten kann die Leitung abgesenkt werden (Bild 8).

Die Mindestabbindezeit ist erforderlich, um Schädigungen der Klebung zu vermeiden. Bei einer solchen Verlegetechnik kann die Grabenbreite wesentlich geringer gehalten werden und der Graben kann, da er nicht in

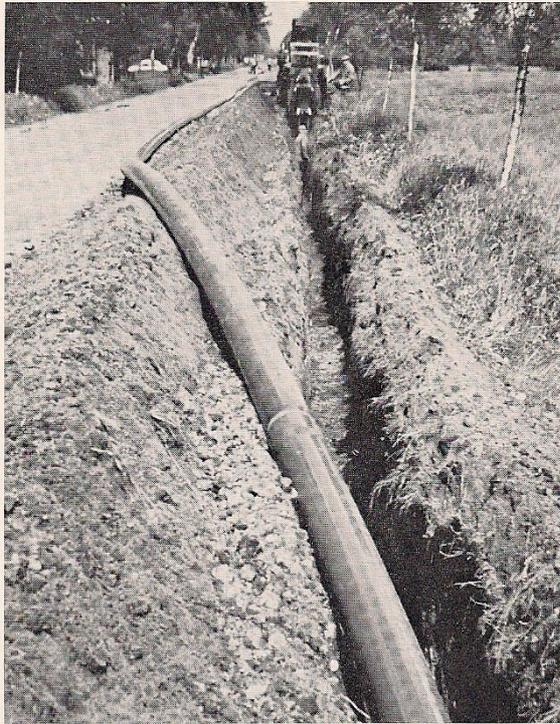


Bild 8: Verlegung einer geklebten Trinkwasserleitung NW 200

eine begehbare Form gebracht werden muß, in ungeicherter Form ausgeführt werden.

Druckprüfungen auf der Baustelle zur Kontrolle von Verbindung und Rohr werden mit dem 1,3fachen und in Sonderfällen mit dem 1,5fachen Nenndruck durchgeführt. Nach dem DVGW-Arbeitsblatt W 322 »Hinweise für die Durchführung der Druckprüfung von Kunststoff-Druckrohrleitungen für Wasser außerhalb von Gebäuden« wird für je 100 Meter Rohrleitung eine Prüfzeit von 15 Minuten vorgeschrieben. Bei längeren Prüfzeiten, die bei manchen Verbrauchern bis auf 24 Stunden ausgedehnt werden, muß die sich über den Tag ändernde Temperatur berücksichtigt werden. Der Druckabfall soll nicht mehr als 0,1 atü in der Stunde betragen. Während der Druckprüfung sollen die Verbindungen nicht eingeeidet sein, damit eine Sichtkontrolle auf Leckverluste noch durchgeführt werden kann.

7.2 Gasleitungen

Die Erfahrungen beim Einsatz von PVC-Rohren für Wasserleitungsrohre konnten zum größten Teil für den Einsatz für Gasleitungen übernommen werden.

Hinsichtlich der zur Einwirkung kommenden Bestandteile des Gases ist zu bemerken, daß PVC-Rohre gegen Benzol normalerweise nicht beständig sind. Da in den meisten Gasen jedoch nur verschwindende Mengen Benzol enthalten sind, ist mit einer Rohrschädigung nicht zu rechnen. Durch Versuche, die zum Teil über fast 20 Jahre laufen, konnte bewiesen werden, daß keine Störungen von der Materialseite des PVC-Rohres zu erwarten sind. Die Versuchsleitungen wurden in verschiedenen Ortsnetzen installiert.

Mit der erheblichen Ausweitung des Gasabsatzes für die Energieversorgung wird es erforderlich, die Rohrnetze mit geringstem Kapitalaufwand bei optimaler Betriebssicherheit auszubauen. Von dem zum Einsatz gelangenden Rohrmaterial muß erwartet werden, daß das Rohr und

natürlich auch die Verbindung korrosions- und alterungsbeständig ist. Diese Voraussetzungen werden vom PVC-hart-Rohr erfüllt. Vor allem in den Niederlanden werden Gasleitungen aus PVC-hart mit gutem Erfolg eingesetzt, womit der Einsatz herkömmlicher Werkstoffe weitgehend eingeschränkt wurde. Nachdem der DVGW bislang für die Gasversorgung nur Stahl- und Gußrohre und im Grundstücksbereich Kupferrohre zuließ, beschäftigt man sich nun ebenfalls mit der Zulassung von PVC-hart-Rohren. Einige Versorgungsträger der Gaswirtschaft haben den Einsatz von PVC-Rohren bereits erfolgreich in Angriff genommen.

PVC-hart-Rohre für die Gasversorgung werden durchgehend gelb eingefärbt. Damit ergibt sich die Möglichkeit, bei Aufgrabungen sofort die verschiedenen Leitungen zu erkennen.

PVC-hart-Rohre sind nach dem Vorhergesagten korrosionsbeständig, leicht verlegbar und haben innen und außen glatte Oberflächen. Diesen gegenüber dem Stahlrohr eklatanten Vorteilen steht als Nachteil die wesentlich geringere mechanische Festigkeit entgegen. PVC-hart-Rohre sollen nur im Nieder- und Mitteldruckbereich mit einem Betriebsdruck bis 10 000 mm WS (Haupt- und Hausanschlußleitungen) eingesetzt werden. Es sind jedoch auch Leitungen in Betrieb, die mit 8 atü betrieben werden.

Im Ausland werden vielfach gummigedichtete Verbindungen eingesetzt, wobei oft Rohre aus schlagzähem Material zum Einsatz kommen. In Deutschland neigt man eindeutig stärker zur Klebeverbindung, da man praktisch endlose Leitungen erhält. Sollen aus bestimmten Gründen Steckverbindungen eingesetzt werden, so sind die Dichtelemente in gasbeständiger Ausführung vorzusehen.

Die zum Einsatz kommenden Odorierungsmittel (Tetrahydrothiophen) sind in konzentrierter Form als lösende Mittel anzusehen, gegen die PVC nicht beständig ist. Da das Odorierungsmittel jedoch nur in geringsten Mengen und in feinerstäubter Form in das Gas eingebracht wird, ist eine Minderung der Materialqualität nicht zu erwarten.

Für den Bereich der Hausanschlußleitungen werden ebenfalls PVC-hart-Rohre verwendet. Metallrohre werden in Gebäudenähe häufig durch vagabundierende Ströme und andere Korrosionserscheinungen, bedingt durch höhere Feuchtigkeit usw., geschädigt. Für den Hausanschluß werden auch häufig PE-hart-Rohre eingesetzt. Wegen der größeren Elastizität dieses Materials erscheint es vor allem bei Setzungen des Erdreiches als besonders geeignet. Die gegenüber PVC höhere Permeabilität, die dem Einsatz von PE-Gasrohren in der Hauptversorgung entgegensteht, hat in den kleineren Dimensionsbereichen die für Hausanschlüsse eingesetzt werden, nicht mehr die Bedeutung wie bei großen Dimensionen. Anschlußleitungen, gleichgültig ob aus PVC oder PE, müssen mit einem Schutzrohr durch die Gebäudewand geführt werden. Der Raum zwischen Schutzrohr und gasführendem Rohr wird mit elastischer Dichtungsmasse ausgefüllt.

Druckprüfungen werden in der Regel mit Luft vorgenommen. Dabei sind die Rohrgräben soweit zu verfüllen, daß die Verbindungen frei bleiben. Der Rohrgraben darf aus Sicherheitsgründen nicht begangen werden, da bei einem Bruch die Expansion der Luft Splitterbrüche hervorrufen kann. Bei Undichtheiten kann der Druck reduziert und durch Abseifen der Verbindungen die Leckstelle ausfindig gemacht werden.

7.3 Abwasserrohre

Seit vielen Jahren werden PVC-hart-Abflußrohre und Formstücke mit der Kennfarbe hellgrau, RAL 7032, nach DIN 19 531 innerhalb von Gebäuden für Entwässerungs-

anlagen eingesetzt, die vom »Prüfausschuß für Grundstücksentwässerungsanlagen« zugelassen sind.

Bekannt sind zwei Verbindungssysteme: gummigedichtete Steckmuffe und zylindrische Klebe-Gleitmuffe, die sowohl geklebt als auch mit einem nicht aushärtenden Gleitmittel als Gleitmuffe eingesetzt werden kann. Die Systeme sind untereinander austauschbar. Für die verschiedenen Installationen steht ein reichhaltiges Formstückprogramm zur Verfügung. Durch das geringe Gewicht der Rohre und Formstücke wird die Verlegung und der Transport sehr erleichtert.

Bei den Steckmuffensystemen ist es üblich, Rohre als Paßlängen anzuliefern, die gegebenenfalls auf den Baustellen noch nachzuschneiden sind. Bei der Klebe-Gleitverbindung sind keine Paßlängen erforderlich, da auf der Baustelle oder in der Werkstatt das Zuschneiden und das Anformen der einfachen zylindrischen Muffe erfolgen kann. Dadurch wird die Lagerhaltung außerordentlich vereinfacht, wobei der auftretende Materialverschleiß vernachlässigbar klein wird.

Abwasserrohre aus PVC-hart sind für thermische Dauerbelastungen von 60° C mit kurzzeitigen Überschreitungen einsetzbar.

Bei höheren Dauerbelastungen als 60° C — dies kann insbesondere bei Fabrikationsstätten, Hochhäusern usw. der Fall sein — sollte auf ein wärmebeständigeres Material übergegangen werden. Mit der Bereitstellung von Rohren und Formstücken aus nachchloriertem PVC ist eine anwendungstechnische Lücke geschlossen worden. Durch eine Verbesserung des Vicat-Erweichungspunktes von 80° C bei Normal-PVC auf 100 bis 115° C je nach Ansatz bei C-PVC, kann allen möglichen Belastungsfällen ausreichend begegnet werden.

Die Installation der Abwasserrohre muß sehr sorgfältig erfolgen. Vor allem muß darauf geachtet werden, daß die temperaturbedingten Längenänderungen von Gleitverbindungen kompensiert werden können. Wird dieser fundamentale Grundsatz nicht berücksichtigt, so muß bei thermischen Wechselbelastungen, die heute in jedem Haushalt mit Wasch- und Geschirrspülautomaten, Heißwasserversorgung usw., gegeben sind, mit Störungen gerechnet werden.

Wegen des geringen Gewichtes und der Korrosionsbeständigkeit nimmt die Bedeutung von Abwasserrohren auch für Brückenentwässerungen ständig zu. Die Korrosionsfrage ist deshalb von besonderer Bedeutung, weil bekanntlich für die Schnee- und Eisbeseitigung fast ausschließlich schneesmelzende Salze Verwendung finden, die andere Werkstoffe stark angreifen. Für Brückenentwässerungen werden über DIN 19 531 hinaus Rohre bis zur NW 400 geliefert.

7.4 Kanalisationsrohre

Nachdem zunächst PE-hart-Rohre für die Kanalisation eingesetzt wurden, werden seit etwa drei Jahren verstärkt auch PVC-Rohre verbaut. Dafür wurden Rohre mit Steckverbindungen entwickelt, die in ihren Abmessungen zwischen den Reihen 2 und 3 der DIN 8062 liegen. Die Beanspruchungen der eingerdeten Leitungen sind von verschiedenen Autoren^{15) 16)} untersucht worden, worauf auch die Rohrdimensionierung aufgebaut wurde. Üblicherweise arbeitet man mit Steckverbindungen. Die Kammern zur Aufnahme der Dichtringe werden mittels eines Blasverfahrens beim Muffen hergestellt.

Die verschiedenen Fabrikate müssen jeweils vom »Prüfausschuß für Grundstücksentwässerungsanlagen« zugelassen sein. Die nach RAL 8023 braun eingefärbten Rohre können wegen ihres geringen spezifischen Gewichtes in

großen Längen zum Einsatz kommen. Die Rohrlänge wird begrenzt durch die im Kanalbau erforderliche Grabenverbauung. Aus dem niedrigen Gewicht und den großen Längen ergibt sich, wie bei anderen Sektoren, eine sehr einfache Verlegung (Bild 9), die das Kostenbild des Gesamtobjektes, auch bei der Verlegung, zugunsten des PVC-hart-Rohres verschiebt. Aus fertigungstechnischen Gründen sind bisher Rohre bis zur NW 500 im Markt. Die Weiterentwicklung wird jedoch mit Sicherheit zu Rohren größerer Nennweiten führen.



Bild 9: Verlegung von Kanalisationsrohren

Kanaldruckleitungen können mit Rohren der Reihe 4, DIN 8062 mit ND 10, wie sie für die Trinkwasserversorgung gebräuchlich sind, ausgeführt werden. Die Leitungen können geklebt und gesteckt werden. Bei Dükerungen sind längskraftschlüssige Klebeverbindungen zu empfehlen.

7.5 Kabelschutzrohre

In erheblichem Umfang wird heute PVC-hart-Rohr für die Aufnahme von Nieder- und Hochspannungskabeln eingesetzt. PVC bietet mit seinen isolierenden Eigenschaften besondere anwendungstechnische Vorteile, die gemeinsam mit den verlegetechnischen Vereinfachungen und Kostenreduzierungen dazu geführt haben, daß herkömmliche Produkte, wie Kabelsteine aus Beton usw., immer weniger eingesetzt werden.

Die glatten Oberflächen erlauben eine sehr leichte Einführung der Kabel. Im Störfall können Kabel leicht ausgewechselt werden. Meist werden einige Rohre in Reserve gehalten, um im Bedarfsfall weitere Kabel einzuziehen zu können. Kabelschutzrohre werden normalerweise in schwarzer Farbe geliefert. Damit ist auch für Schutzrohre eine besondere Kennfarbe vorhanden, die die einwandfreie Unterscheidung zu den verschiedenen Rohrleitungen ermöglicht. Die Rohre werden meist mit Klebemuffen, die angeformt oder aufgeklebt werden, ausgerüstet. Steckmuffenverbindungen, die für diesen Einsatzzweck ideal sein dürften, werden bisher noch nicht verwendet. Es kommen für die verschiedenen Einsatzzwecke Rohre der Reihen 2, 3 und 4 von DIN 8062 in Frage.

Als Hauptabnehmer von Kabelschutzrohren hat die Deutsche Bundespost durch das Fernmeldetechnische Zentralamt Darmstadt verschiedene Richtlinien¹⁷⁾ über Einsatz und Prüfung von Kabelschutzrohren aus PVC erlassen. Diese Anforderungen sind sehr umfangreich und gehen über die grundsätzlichen Anforderungen von DIN 8061 hinaus.

¹⁵⁾ H. Howe, P. H. Nöthen, P. Unger: Rohre, Rohrleitungsbau, Rohrtransport, Heft 4 (1966), S. 191—200.

¹⁶⁾ J. Scheiblaue: Straße und Autobahn. Sonderdruck aus Heft 5 (1967).

¹⁷⁾ FTZ — Vornorm 736 531 541: Rohre und Muffen aus Hart-PVC.

7.6 Andere Einsatzgebiete

Als weitere Einsatzgebiete sind noch zu nennen: Chemie-, Lüftungs-, Drän- und andere Sonderrohre.

Diese Einsatzgebiete sind zum Teil seit langer Zeit bekannt, während andere z. Z. anwendungstechnisch erschlossen werden. Das Chemierohr aus PVC zählt zu den ältesten Rohren aus PVC überhaupt.

Die hervorragende Beständigkeit gegen eine Vielzahl von Chemikalien und eine verhältnismäßig hohe mechanische Festigkeit machen diesen Werkstoff interessant für den Chemieanlagenbau. Chemierohre werden in allen Reihen von DIN 8062 für die verschiedensten Einsatzzwecke gefertigt.

Runde Lüftungsrohre sind in der Reihe 1 von DIN 8062 genormt. Man strebt z. Z. an, auch Viereck-Lüftungsleitungen zu standardisieren.

Die Nutzbarmachung nasser Böden scheiterte oft an den hohen Kosten. Dränrohre aus PVC sind extrem dünn, um preisgünstig zu sein, und werden in Stangen oder gewickelt geliefert. Die Trockenlegung von Geländen wurde dadurch wesentlich einfacher als es bis dahin mit Tonrohren möglich war, zumal die fertig verlegten Leitungen endlos sind. Die PVC-Rohre sind in bestimmten Abständen mit Schlitzfenstern versehen, durch die das Wasser eindringen kann.

8. Eigenschaften anderer thermoplastischer Rohre

Im Grunde spielen nur Rohre aus PVC mit verschiedenen Modifikationen und Rohre aus Polyolefinen eine bemerkenswerte Rolle. Alle anderen Thermoplaste, die nachfolgend kurz behandelt werden, kommen nur in Sonderfällen zum Einsatz.

8.1 Rohre aus schlagzähem PVC

Schlagzähe Produkte werden erhalten, wenn das PVC mit sogenannten Elastifizierungsmitteln, beispielsweise mit chlorierten Polyolefinen oder mit Produkten der Kautschukindustrie, modifiziert wird. Dadurch werden je nach Modifizierungsgrad unterschiedliche Qualitäten erhalten, die durch den Widerstand bei schockartigen Beanspruchungen, auch bei niedrigen Temperaturen, eine echte Programmbereicherung darstellen. Es sind Einstellungen möglich, die von schlagfest/hart über zäh bis flexibel/weich reichen.

Schlagzähe PVC-Typen zeichnen sich durch eine gute Alterungs- und Lichtbeständigkeit aus. Allgemein versucht man bei innendruckbeanspruchten Rohren aus schlagzähem PVC harte Einstellungen einzusetzen, die bezüglich der Innendruck-Belastbarkeit dem Rohrtyp PVC 60 entsprechen sollen.

Schlagzähe Rohre werden meist für nicht innendruckbelastete Rohre im Außeneinsatz verwendet. Ferner werden in verschiedenen Ländern schlagzähe Rohre in der gesamten Gasversorgung eingesetzt, während dies in Deutschland nur bei Hausanschluß-Leitungen vorgesehen ist.

8.2 Rohre aus nachchloriertem PVC

Durch die Nachchlorierung von PVC werden Produkte erhalten, die die obere thermische Einsatzgrenze von PVC um etwa 30° C nach oben verschieben. Die Widerstandsfähigkeit gegen Chemikalien und Flammeneinwirkung sowie die mechanische Festigkeit und das Innendruckzeitstandverhalten (Bild 10) wird gegenüber normalem PVC noch verbessert. Der Einsatz erfolgt in Bereichen, die bis-

her wegen der hohen Temperaturbeanspruchung grundsätzlich metallischem Werkstoff vorbehalten waren. Diese Rohre werden bevorzugt dort zum Einsatz gebracht, wo Korrosion und hohe Temperaturen zusammentreffen, z. B. in Elektrolyseanlagen, zum Transport der heißen Elektrolyseflotte und zum Transport von heißem, feuchtem Chlorgas. In Japan sollen Rohre aus chloriertem PVC zum Transport von heißen Mineralwässern in Solebädern usw. eingebaut werden. In den USA werden diese Rohre im Wohnungsbau als Warmwasserleitungen verwendet.

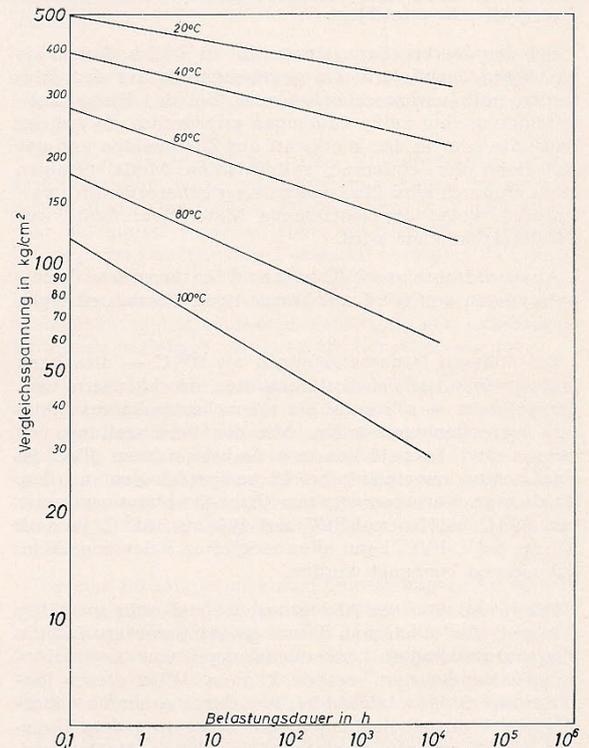


Bild 10: Zeitstandfestigkeit von Rohren aus C-PVC (vorläufige Zeitstandkennlinien)

Neben Industrierohren für die verschiedensten Einsatzzwecke werden heißwasserbeständige Abwasserrohre aus PVC extrudiert. Diese Heißwasserrohre können Vicat-Erweichungstemperaturen von 110 bis 120° C je nach Einstellung haben. Heißwasserbeständige Rohre können mit kochendheißem Wasser dauernd beaufschlagt werden, ohne daß Erweichungen und Verformungen befürchtet werden müssen. Beim Prüfausschuß für Grundstücks-Entwässerungsanlagen liegen z. Z. Anträge auf Zulassung von Abwasserrohren aus C-PVC vor.

Die Herstellung von Rohren aus nachchloriertem PVC erfolgt mit Extrudern, wobei jedoch Schnecken, Werkzeug und Extrusionsbedingungen gegenüber der PVC-Verarbeitung geändert sind. Die Technologie der Weiterverarbeitung von Rohren aus C-PVC, wie Biegen, Kleben, Schweißen usw., ist jedoch ähnlich der PVC-Verarbeitungstechnologie.

8.3 Rohre aus Polyäthylen (PE)

Rohren aus PE kommt nach den PVC-Rohren die größte Bedeutung zu. Unterschieden werden Rohre aus PE mit niedriger und hoher Dichte oder auch PE-weich und PE-hart genannt. Den größten Marktanteil dürfte PE-hart haben, bedingt durch die höhere mechanische Festigkeit.

Rohre aus PE-hart und PE-weich sind gegen anorganische Chemikalien mit Ausnahme von Kohlenwasser-

stoffen weitgehend beständig. Die Beständigkeit von PE-hart ist etwas höher. Rohre aus PE sind genormt¹⁸⁾.

Die Bilder 11 und 12 zeigen Zeitstanddiagramme von PE-hart und PE-weich. Zugelassen sind Wandspannungen

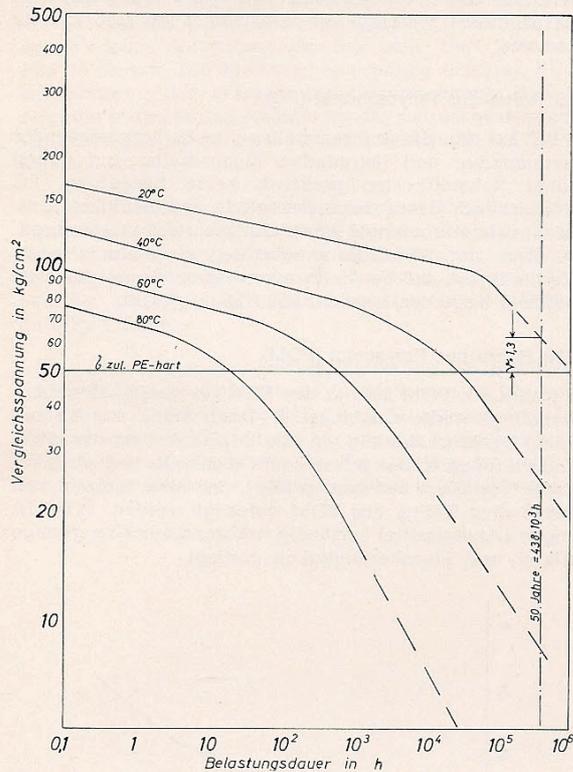


Bild 11: Zeitstandfestigkeit von Rohren aus PE-hart

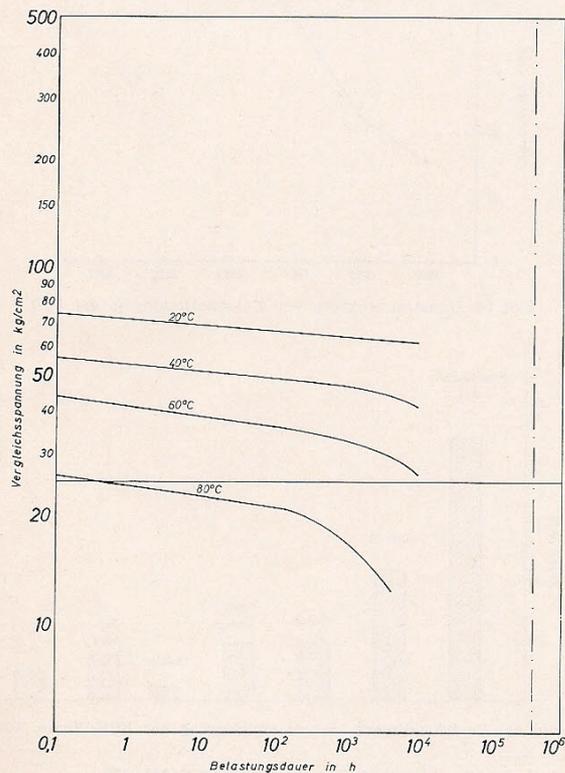


Bild 12: Zeitstandfestigkeit von Rohren aus PE-weich

bei Rohren für PE-hart von 50 kp/cm² und für PE-weich von 25 kp/cm². Damit hat das PE-weich-Rohr in die größeren Dimensionsbereiche kaum noch Eingang.

PE-Rohre können in Ringbunden von mehreren 100 Metern Längen endlos geliefert werden. Sie werden vornehmlich für die Wasserversorgung, als Abwasserrohre, als Kanalisationsrohre, Chemierohre und als Beregnungsrohre eingesetzt.

8.4 Rohre aus Polypropylen (PP)

PP, ein Mitglied der Familie der Polyolefine, ist temperaturbeständiger (bis 100°) und härter und weist höhere Festigkeiten als PE-hart auf; bei niedrigen Temperaturen ist PP jedoch schlagempfindlich. Wegen der verhältnismäßig guten Beständigkeit gegen oxydierende Säuren, Laugen und Lösungsmittel ist PP ein Werkstoff, der sich für den chemischen Apparatebau eignet. Leitungen für Trinkwasser kommen praktisch nicht vor. Dagegen erfolgt der Einsatz zum Transport von Warmwasser. Ein Zeitstanddiagramm von PP zeigt Bild 13. Die Verarbeitung unterscheidet sich nicht von der Verarbeitung von PE, jedoch ist die Schweißtemperatur von 200° C für PE-hart auf 240° C für PP anzuheben.

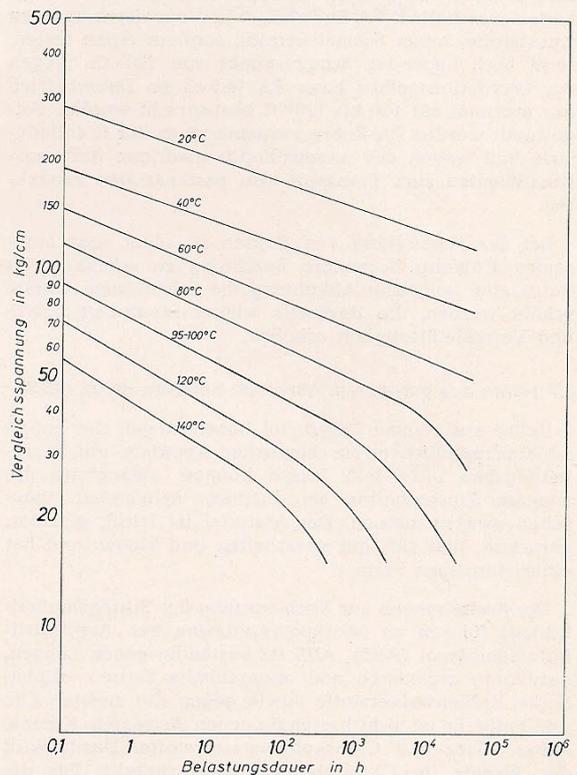


Bild 13: Zeitstandfestigkeit von Rohren aus PP

Bei Temperaturbelastungen von mehr als 100° C in Luft und Berührungen mit Metallen wie Kupfer, Mangan, Kobalt und ihren Legierungen tritt ein Abbau des Produktes ein.

8.5 Rohre aus Polymethylmethacrylat (PMMA)

Rohre aus PMMA sind durchsichtig wie Glas. Das Material kann auch eingefärbt werden. Der Vorzug der

¹⁸⁾ DIN 8072 Rohre aus PE-weich, Maße
 DIN 8073 Rohre aus PE-weich, Technische Lieferbedingungen
 DIN 8074 Rohre aus PE-hart, Maße
 DIN 8075 Rohre aus PE-hart, Technische Lieferbedingungen

Durchsichtigkeit läßt dieses Material dort zum Einsatz kommen, wo Fließvorgänge sichtbar gemacht werden sollen. Vor allem bei Nahrungsmitteln wird es gerne eingesetzt, weil alle Abläufe klar erkennbar sind.

PMMA wird wie PVC, jedoch mit etwas höheren Temperaturen verformt.

PMMA ist chemisch beständig gegen Säuren mit mittleren Konzentrationen, Alkalien, 40%igen Alkohol, Terpentinöl, Benzin, Dieselöl, mineralische Öle und Fette. Nicht beständig ist PMMA gegen Äther und Treibstoffgemische. Die meisten organischen Lösungsmittel lösen PMMA an.

8.6 Rohre aus Polyamid (PA)

Polyamide zeichnen sich durch hohe Zähigkeit und Wärmebeständigkeit aus. Der vielseitig einsetzbare Werkstoff kann jedoch wegen seines hohen Preises nur in Sonderfällen zum Einsatz kommen. PA wird von Laugen und Säuren chemisch angegriffen. Beständig ist PA gegen organische Lösungsmittel und gegen mineralische, tierische und pflanzliche Öle und Fette. Alle Typen des PA nehmen bis zu 10% Wasser auf, wobei das Material um etwa 0,3% je 1% Wasseraufnahme quillt. Bei einer Wasseraufnahme von 2 bis 3% erreicht PA optimale Festigkeitseigenschaften. PA hat nicht, wie die meisten anderen Kunststoffe, einen Schmelzbereich, sondern einen festen, recht hoch liegenden Schmelzpunkt von 220°C. Wegen der Oxydationsgefahr kann PA jedoch im Dauerbetrieb nur maximal mit 100 bis 110°C beansprucht werden. Angewandt werden PA-Rohre vornehmlich in der Erdölindustrie und wegen des ungewöhnlich niedrigen Reibungskoeffizienten zum Transport von pastenartigen Produkten.

Bei der Herstellung von Rohren ist einer sehr langsamen Kühlung besondere Beachtung zu schenken, da durch eine langsame Abkühlung die kristallinen Anteile erhöht werden, die ihrerseits wieder Steifigkeit, Härte und Verschleißfestigkeit erhöhen.

8.7 Rohre aus polymerem Acrylnitril-Butadien-Styrol (ABS)

Rohre aus reinem Polystyrol haben wegen der hohen Schlagempfindlichkeit im chemischen Apparate- und Säureleitungsbau nicht Fuß fassen können, wenngleich die anderen Eigenschaften als durchaus annehmbar angesehen werden müssen. Das Material ist leicht, glasklar, geruchlos, läßt sich gut verarbeiten und kleben und hat einen günstigen Preis.

Die Bestrebungen zur Verbesserung der Schlagempfindlichkeit führten zu Mischpolymerisaten aus Acrylnitril-Butadien-Styrol (ABS). ABS ist beständig gegen Laugen, verdünnte organische und anorganische Säuren, aliphatische Kohlenwasserstoffe sowie gegen die meisten Öle und Fette. Es ist nicht beständig gegen Aromaten, Ketone, Äther, Ester und Chlorkohlenwasserstoffe. Damit wird der Einsatz im Chemiebereich eingeschränkt. Für die Wasserversorgung kann das Material aus Preisgründen nicht mit PVC in Wettbewerb treten; im Ausland werden jedoch Trinkwasserrohre aus ABS gefertigt. Eingesetzt werden ABS-Rohre für den Transport von Erdgas, Petroleum und Heizöl¹⁹⁾.

8.8 Rohre aus Celluloseacetobutyrat (CAB)

Rohre aus CAB²⁰⁾ werden für den Transport von Erdöl, Benzin, Erdgas und für Rohrleitungen in Brauereien, Molkereien und dergleichen eingesetzt. Wegen der Transparenz, der Abriebfestigkeit und der Tatsache, daß bei Rohölbeaufschlagung kein Paraffinbelag an der Rohrwand gebildet werden kann, werden vielfach Erdöl-Steigleitungen aus CAB installiert.

CAB wird von stärkeren Säuren, Laugen und organischen Lösungsmitteln angegriffen. Die Preisunterschiede zu den verschiedenen PVC-Typen und den Polyolefinen und die Nachteile einer geringen Druckfestigkeit, verbunden mit einer Versprödung bei tiefen Temperaturen, lassen dieses Material nur in Sonderfällen zum Einsatz kommen.

8.9 Rohre aus Polycarbonat (PC)

PC hat für die Rohrerstellung trotz hervorragender mechanischer und thermischer Eigenschaften auf Grund hoher Rohstoffkosten praktisch keine Bedeutung. PC zeichnet sich durch hohe Festigkeit und Zähigkeit aus. Der temperaturbedingte Anwendungsbereich ist sehr breit. PC kann mit 130°C Dauerbelastung eingesetzt werden. Nachteilig ist, daß bei Heißwasserrohren, die mit höheren Drücken betrieben werden, ein Abbau eintritt.

8.10 Rohre aus Polyacetal (POM)

Rohre aus POM sind in den USA für verschiedene Anwendungszwecke eingeführt. In Deutschland war bislang keine Preisannäherung an die Massenkunststoffe PVC und PE möglich. Das interessante chemische und physikalische Verhalten hat dazu geführt, daß eine Vielzahl von technischen Teilen aus POM gefertigt werden. POM ist gegen Lösungsmittel beständig, während nur eine geringe Alkali- und Säurebeständigkeit vorliegt.

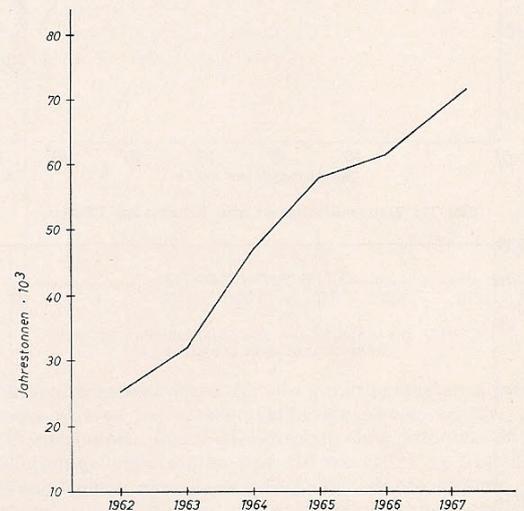


Bild 14: Umsatzentwicklung von Kunststoffrohren in der BRD

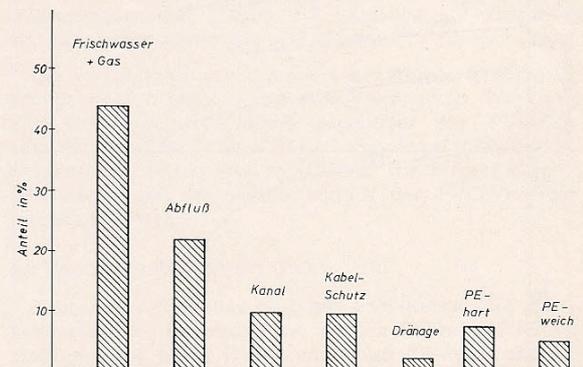


Bild 15: Produktbezogene Umsatzaufgliederung der KRV-Werke 1967

¹⁹⁾ H. Ebneht: *Plastverarbeiter*, Bd. 17 (1966), S. 125—130.

²⁰⁾ W. Röhm: *Kunststoffe*, Bd. 47 (1957), S. 285—287.

9. Marktanteile und Ausblick

Die Umsatzentwicklung von Kunststoffrohren zeigt Bild 14. Von 25 000 t im Jahre 1962 ist die Jahresproduktion auf 73 000 t im Jahre 1967 gestiegen. Das entspricht in fünf Jahren einer Verdreifachung. Die Anteile der verschiedenen Rohrtypen für das Jahr 1967 geht aus Bild 15 hervor. Die breiteste Anwendung erfahren PVC-hart-Rohre in der Wasser- und Gasversorgung. Bild 16 zeigt die prozentualen Anteile von innendruckbeanspruchten Leitungen bezogen auf die Nennweiten 80 bis 250 in Kilometern.

In der Wasser- und Gasversorgung hat PVC-hart einen Marktanteil von mehr als 50 % erreicht (Bild 16). Während für die Wasserversorgung nicht mehr mit bedeutenden Zuwachsraten gerechnet werden kann, wird der Ausbau der Gasnetze den Bedarf an Gasrohren erheblich ansteigen lassen.

Auf dem Sektor der Hausentwässerung hat das PVC-hart-Rohr fast den Anteil von Gußrohren erreicht. Auch auf diesem Teilmarkt ist mit einem Stagnieren der Umsätze zu rechnen. Mit einer bedeutenden Ausweitung des Verbrauchs auf dem Sektor der Kanalisationsrohre ist zu rechnen, da die Städte und Gemeinden in der Abwasser-

abführung enorme Investitionen planen. Man rechnet bei Kanalrohren mit einem Bedarf von 150 % der heutigen Druckwasserleitungen.

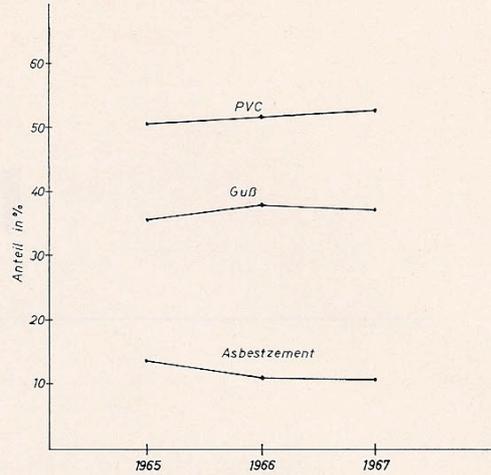


Bild 16: Anteile in %; bezogen auf gelieferte Längen (km). Druckwasserrohre NW 80-250