

Kunststoffe im industriellen Rohrleitungsbau: zur Auswahl von Werkstoff und Verbindungstechnik

Autor(en): **Gehriger, Constantin**

Objektyp: **Article**

Zeitschrift: **Schweizer Ingenieur und Architekt**

Band (Jahr): **103 (1985)**

Heft 43

PDF erstellt am: **15.05.2024**

Persistenter Link: <https://doi.org/10.5169/seals-75917>

Nutzungsbedingungen

Die ETH-Bibliothek ist Anbieterin der digitalisierten Zeitschriften. Sie besitzt keine Urheberrechte an den Inhalten der Zeitschriften. Die Rechte liegen in der Regel bei den Herausgebern.

Die auf der Plattform e-periodica veröffentlichten Dokumente stehen für nicht-kommerzielle Zwecke in Lehre und Forschung sowie für die private Nutzung frei zur Verfügung. Einzelne Dateien oder Ausdrucke aus diesem Angebot können zusammen mit diesen Nutzungsbedingungen und den korrekten Herkunftsbezeichnungen weitergegeben werden.

Das Veröffentlichen von Bildern in Print- und Online-Publikationen ist nur mit vorheriger Genehmigung der Rechteinhaber erlaubt. Die systematische Speicherung von Teilen des elektronischen Angebots auf anderen Servern bedarf ebenfalls des schriftlichen Einverständnisses der Rechteinhaber.

Haftungsausschluss

Alle Angaben erfolgen ohne Gewähr für Vollständigkeit oder Richtigkeit. Es wird keine Haftung übernommen für Schäden durch die Verwendung von Informationen aus diesem Online-Angebot oder durch das Fehlen von Informationen. Dies gilt auch für Inhalte Dritter, die über dieses Angebot zugänglich sind.

Kunststoffe im industriellen Rohrleitungsbau

Zur Auswahl von Werkstoff und Verbindungstechnik

Von Constantin Gehriger, Schaffhausen

Kunststoffe sind aus dem modernen Rohrleitungsbau nicht mehr wegzudenken. Bei der Entscheidung für einen Kunststoff sind aber nicht nur das leichte Gewicht und die günstigen Installations- und Unterhaltskosten, sondern auch das ganze Paket der Anforderungen an Druckleitungen wie hohe Sicherheit, lange Lebensdauer, optimale Durchflusseigenschaften, chemische Beständigkeit, Erhältlichkeit der Fittings und Armaturen sowie Resistenz gegen korrosive Umgebung massgebend.

Der Aufsatz konzentriert sich auf massive Rohrleitungssysteme aus PVC, PP, PE und PVDF. Es werden Anwendungen nach Werkstoff, Markt und Chemikalien und neue Anwendungen von PVDF in der Halbleiterproduzierenden Industrie, wo allerhöchste Anforderungen an Reinheit gestellt werden, diskutiert.

Einleitung

Kunststoffe gelangen im modernen Rohrleitungsbau unter verschiedenen Formen zur Anwendung. Sie können zunächst als Korrosionsschutz von Metallen dienen. Die Kunstharzbeschichtungen werden mit verschiedensten Techniken auf die Innenseite von Rohren, Formstücken und Armaturen aufgetragen und haben eine Schichtdicke zwischen 0,02 und 3 mm. Die Beschichtung von Metallen verbindet Eigenschaften von Kunststoffen mit jenen von Metallen und kann in vielen Fällen gute Resultate bringen. Das Korrosionsproblem der metallischen Aussen- oder Grenzflächen kann aber nicht vollständig gelöst werden. Dies gelingt erst bei Verwendung von Rohren und Bestandteilen aus massivem Kunststoff.

Bei den im Rohrleitungs- und Anlagenbau üblichen Kunststoffen unterscheidet man drei wesentliche Kategorien: Duroplaste, Elastomere und Thermoplaste. Duroplaste oder Thermosets haben eine vernetzte Struktur, die ihnen grosse Steifigkeit gibt. In der Wärme sind sie nicht mehr verformbar, und bei zunehmender Temperaturbelastung schmelzen sie nicht, sondern zersetzen sich. Elastomere sind gummielastische Gebilde, die durch einen Vulkanisationsprozess vernetzt werden, aber ihre Elastizität behalten.

Thermoplaste bestehen aus einzelnen Molekülketten, die bei steigender Temperatur schmelzen und wieder abge-

kühlt werden können. Diese Eigenschaft macht man sich zunutze, indem man in verschiedenen Arbeitsgängen warmverformt und schweisst.

Glasfasern oder Kohlefasern ergeben in Kombination mit Kunststoffen ein interessantes Gefüge. Die Fasern können kurz und z. B. bereits im Polypropylengranulat enthalten sein und somit verspritzt werden. Oder es sind Fasern beliebiger Länge oder Matten, die in einen Duroplast (z. B. ungesättigten Polyester) eingearbeitet werden. Die letztere Kombination hat unter dem Namen Glasfaserkunststoff (GFK) grosse Bedeutung erlangt.

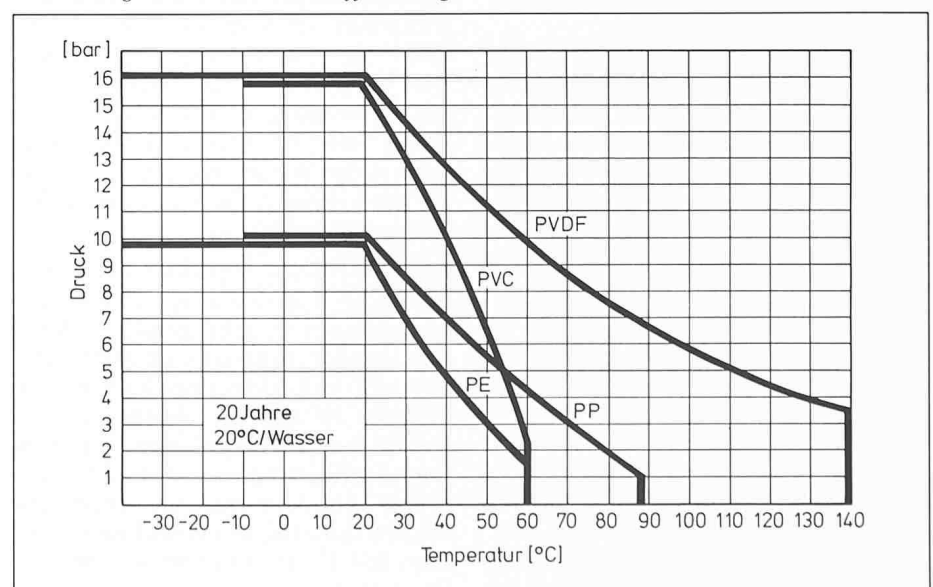
Thermoplaste im Rohrleitungsbau

Im Folgenden wird die Diskussion auf Voll- oder Massivthermoplaste konzentriert, da diese Systeme in den letzten Jahren sehr an Bedeutung gewonnen haben. Massivthermoplastsysteme besitzen innen und aussen die gleiche Korrosionsbeständigkeit, den gleichen thermischen Expansionskoeffizienten und dieselben chemischen und physikalischen Eigenschaften. Es hat sich nämlich gezeigt, dass die Korrosionsbeständigkeit von aussen von grosser Bedeutung ist. Erdbodenverlegte Leitungen sind sowohl innen wie aussen starker Korrosion ausgesetzt. Dasselbe gilt für Leitungen in der chemischen Industrie, wo aggressive Dämpfe die Lebensdauer einer Rohrleitung oder eines Ventils wesentlich herabsetzen können.

PVC, PP, PE und PVDF als Thermoplaste der Wahl

PVC (Polyvinylchlorid) ist als absoluter Klassiker der Thermoplaste zu betrachten. 1935 kommerzialisiert, hat PVC die grösste Bedeutung der Massekunststoffe erlangt. Dies hängt nicht zuletzt mit der vielseitigen Verwendbarkeit von PVC zusammen. Kunstleder und Planen bestehen aus Weich-PVC mit einem grossen Anteil (bis 40%) von flüssigem Weichmacher. Rohre, Fittings und Armaturen sowie Platten, Rundstäbe usw. bestehen aus Hart-PVC

Bild 1. Druck-Temperatur-Diagramm. Richtwerte für ungefährliche Durchflussstoffe (DIN 2403), gegen die der Fittings- und Armaturenwerkstoff beständig ist



Physikalische Eigenschaften (bei 23 °C)	Prüf-normen	Einheit	Werkstoff			
			PVC	PP	PE	PVDF
Dichte	DIN 53479	g/cm ³	1,38	0,905	0,955	1,78
Zugfestigkeit	DIN 53455	N/mm ²	49	34	22	54
Bruchdehnung	DIN 53455	%	140	200	220	80
Biegefestigkeit	DIN 53452	N/mm ²	84	55	21	74
Elastizitätsmodul	DIN 53457	N/mm ²	3100	1120	450	2400
Shore-Härte D	DIN 53505		81	66	35	78
Vicat-Erweichungs-temperatur	DIN 53460 (B)	°C	77	81	65	142
Kerbschlagzähigkeit	DIN 53453	mJ/mm ²	3	35	40	13
Linearer Ausdehnungskoeffizient	ASTM D 696	mm/m °C	0,08	0,15	0,20	0,12
Wärmeleitfähigkeit	DIN 52612 T1	W/°C·m	0,16	0,22	0,32	0,19
Spez. Wärme		KJ/kg °C	1,05	1,68	1,48	1,0
Brandverhalten	ASTM D 2863	%	45	17	17	44
Sauerstoffindex	DIN 53482		10 ¹⁶	>10 ¹⁶	>10 ¹⁶	5×10 ¹⁴
Spez. Durchgangswiderstand		Ω·cm				
Oberflächenwiderstand	DIN 53482	Ω	>5×10 ¹³	>10 ¹³	>10 ¹⁴	10 ¹³
nicht lösbare Verbindungsart			Kleben	Schweissen		

Tabelle 1. Vergleichende Eigenschaften der Rohrleitungswerkstoffe

ohne Weichmacher. Als Zusätze werden hier lediglich Stabilisatoren, Pigmente und Modifizier, welche insgesamt 5% kaum überschreiten, verwendet. Die Stabilisatoren schützen den Werkstoff gegen thermischen Abbau während der Verarbeitung sowie die Schädigung durch Sonne und Wetter über die Gebrauchsdauer. Die Pigmente verleihen die charakteristische Farbe und dienen der Ästhetik, Markierung und Sicherheit. Die Modifizier, die allen modernen PVC-Sorten zugesetzt sind, sind von Natur aus auch polymer und dienen der Verbesserung der Kerbschlagzähigkeit bei Temperaturen unter dem Gefrierpunkt.

PVC wird aus Rohölprodukten und Chlor synthetisiert. Das Chlor fällt bei der sehr wichtigen Synthese von Natronlauge aus Natriumchlorid immer als Beiprodukt an und ist auf der ganzen Welt im Überschuss vorhanden. Die Verwendung von Chlor bei der Synthese von PVC ist somit eine der sinnvollsten «Entsorgungen» der Welt von überschüssigem Chlor.

Für den planenden Ingenieur sind das Brandverhalten und die Entsorgung wichtig. Hart-PVC ist als schwerentflammbar und selbstverlöschend eingestuft. Wenn es jedoch einer Flamme ausgesetzt ist, wie in der Kehrlichtverbrennung, entwickelt es korrosives Salzsäuregas (HCl). Es empfiehlt sich deshalb, die PVC-Rohre aus einer Fabrikinstallation dem Bauschutt mitzugeben und zu deponieren. Dieses Vorgehen ist um so verantwortbarer, als Rohrleitungen langlebige Investitionsgüter sind, während kurzlebige Verpackungen, die in den Kehrlicht gehen, schon lange nicht mehr aus PVC hergestellt werden.

PP (Polypropylen) hat seine Bedeutung insbesondere aufgrund der höheren

Temperatureinsatzbereiche, der leichten Verspritzbarkeit von Formstücken und der Verbindung mittels Schweißens. Als reines Polyolefin ohne Chlor gibt PP beim Verbrennen keine korrosiven Gase ab. Zur Haltbarkeit bei der Verarbeitung und beim Gebrauch muss es, ähnlich wie PVC und PE, auch stabilisiert werden. Eine interessante Neuentwicklung ist das mit Glasfasern verstärkte PP (PPG). Die relativ kurzen Glasfasern sind bereits im Granulat vorhanden und chemisch an das Polymer gebunden. Spritzteile wie Überwurfmutter von Verschraubungen sowie Oberteile von Membranventilen werden heutzutage aus PPG hergestellt. Damit werden annähernd die Zugfestigkeiten des Engineering Plastics Poly-Butylen-Terephthalat (PBTP) erreicht. Darüber hinaus ist aber PPG nicht hydrolyseanfällig wie PBTP, was in Fabrikatmosphäre von grosser Bedeutung sein kann.

PE (Polyäthylen) zeigt ein gutes Verhalten bei Temperaturen unter dem Gefrierpunkt. Es wird nicht spröde und kann bis -40 °C eingesetzt werden. Dies prädestiniert den Werkstoff für die Verwendung als Gasdruckrohr, im Boden oder im Freien verlegt. Aber auch in der Wasserversorgung sowie in der chemischen Industrie findet PE Anwendung.

PVDF (Polyvinylidenfluorid) kombiniert die Eigenschaften zweier Polymerklassen in sehr günstiger Weise miteinander. Einerseits ist es thermoplastisch und kann verschweisst werden wie PP und PE. Andererseits ist PVDF ein Fluoropolymer wie z. B. Polytetrafluoräthylen (Teflon®) und bringt die hervorragende chemische Widerstandsfähigkeit eines Fluoropolymers mit. Es ist in fast allen verwendeten Lösungsmitteln unlöslich. PVDF

hat ausgezeichnete mechanische Eigenschaften, insbesondere auch eine gute Abrasionsbeständigkeit. Es ist im Dauereinsatz bis 140 °C beständig, womit es die gewöhnlichen Thermoplaste weit übertrifft. PVDF ist sehr alterungsbeständig. Selbst nach mehrjähriger Aussenbewitterung sind seine Eigenschaften unverändert. Es ist beständig gegen UV- und radioaktive Strahlung. Dabei werden für die Verarbeitung keine Additive wie Lichtschutzmittel, Antioxidantien, Pigmente, Füllstoffe usw. zugegeben. PVDF ist schwer entflammbar und selbstverlöschend.

Verbindungstechniken für Kunststoffrohre

Man unterscheidet zwischen lösbaren Verbindungen wie Verschraubungen und Flanschen sowie unlösbaren Verbindungen, die in der Regel durch Muffenfittings und Kleben oder Verschweissen hergestellt werden.

Verkleben von PVC-Rohren

Rohre aus PVC werden mittels Verklebung mit Muffen verbunden, mit T-Stücken verzweigt usw. Dazu wird das Rohr rechtwinklig abgetrennt und das Rohrende von aussen angeschrägt, um beim Einführen in die Muffe ein Wegschieben der Klebstoffschicht zu verhindern. Die Rohrenden und Fittingsmuffen werden sorgfältig gereinigt. Die zu verklebenden Flächen müssen trocken, fett- und schmutzfrei sein. Der Kleber basiert auf einer bestimmten PVC-Lösung im Lösungsmittel. Er wird mit einem Pinsel auf beide Klebflächen aufgetragen. Rohr und Fitting werden ohne Verdrehen sofort zusammengeschoben und ausgerichtet. In dieser Lage wird kurz festgehalten, bis der Klebstoff angezogen hat. Bis zur Durchführung der Druckprüfung sind einige Stunden zu warten. Während des Klebens ist für ausreichende Lüftung und Entfernung von Flammen zu sorgen.

Verschweissen von PP, PE und PVDF

Die Verschweissung geschieht durch Aufschmelzen der Rohraussenseite und Muffeninnenseite an Heizbüchsen. Nach genau vorgegebenen Heizzeiten und Temperaturen werden Rohr und Muffe von den Heizbüchsen weggezogen, zusammengefügt und erkalten gelassen. Die Zeiten sind sehr kurz. Beträgt die Anwärmszeit z. B. 20 s, so ist die Abkühlzeit ebenfalls nur 20 s. Zur Verschweissung stehen Maschinen oder Handschweißgeräte zur Verfügung. Diese können gekauft oder gemietet werden.

Verlegetechnik

Berücksichtigung der Längenänderung bei Kunststoffrohrleitungen

Die Längenänderung thermoplastischer Kunststoffe als Folge von Temperaturschwankungen ist grösser als diejenige der metallischen Materialien (vgl. lineare Ausdehnungskoeffizienten in Tabelle 1). Werden die Rohrleitungen ausserhalb des Erdreiches, vor der Wand oder in Schächten verlegt, sind die Längenänderungen durch geeignete Massnahmen so aufzufangen, dass keine überlagerten Zusatzbeanspruchungen entstehen. Das ist speziell wichtig, wenn die Rohrleitungen durch wechselnde Betriebsbedingungen beansprucht werden. Zur Aufnahme der Längenänderung kommen Biegeschenkel, Dehnungsbögen oder Kompensatoren in Frage. Grundsätzlich sollte die Längenänderung durch Anordnung von Fixpunkten im Leitungsabschnitt aufgeteilt werden. Dabei sind die Armaturen unmittelbar zu befestigen, d. h. als Fixpunkte auszubilden. Als Abstützungen zwischen den Fixpunkten sind lose Rohrschellen zu verwenden.

Rohrschellenabstände

Kunststoffrohrleitungen erfordern in Abhängigkeit vom Werkstoff, der mittleren Rohrwandtemperatur und dem spezifischen Gewicht des Durchflusstoffes bestimmte Unterstützungsabstände. Diese hängen auch vom Durchmesser und der Wanddicke des Rohres ab. Die Rohrschellenabstände müssen nicht jedesmal berechnet werden, sondern es liegen Tabellen von Herstellern

vor. Sie wurden unter Zugrundelegung einer bestimmten, für zulässig angesehenen Durchbiegung des Rohres zwischen zwei Schellen ermittelt.

Qualitätsniveau

Das hohe Qualitätsniveau von modernen Kunststoffittings und Armaturen wird durch ein umfangreiches Prüfprogramm gewährleistet. So werden beispielsweise in einem PVC-Fittingswerk 10 bis 15% der Teile vor der Freigabe eines Loses geprüft. Die Prüfungen erfolgen durch Bersten oder Quetschen der Formteile, welche damit zerstört werden. Die zerstörenden Prüfungen sind der Preis für das hohe Qualitätsniveau der Fittings. Die Armaturen können durch eine nicht zerstörende Prüfung getestet werden. Jede Armatur wird vor dem Verlassen des Werkes auf Funktion und Dichte geprüft. Zudem werden die Fabriken in regelmässigen Abständen von Inspektoren externer, oft staatlicher Prüfinstitute besucht.

Anwendungsgebiete von Kunststoffrohren

Der Entscheid für einen Werkstoff wird in der Regel aufgrund des Druck-Temperatur-Diagrammes (Bild 1) gefällt. Die Angaben basieren auf einer Lebensdauer von 20 Jahren bei 20 °C/Wasser. Beim Einsatz von Chemikalien wird zusätzlich eine Liste der chemischen Widerstandsfähigkeit von Thermoplast-Werkstoffen konsultiert. Die Widerstandsfähigkeitsliste muss auch

Angaben über die Beständigkeiten von Elastomeren als Dichtungsmaterial enthalten.

Die Anwendung von PVC hat ihren eindeutigen Schwerpunkt in der Wasseraufbereitung. Überall dort, wo Wasser gebraucht wird, für die Herstellung von Getränken, Lebensmitteln, Heilmitteln, Chemikalien, Leder, Textilien und Papier, findet sich PVC. PVC ist beständig gegen die in der Wasseraufbereitung verwendeten Chemikalien, die z. T. sehr korrosiv sind. Nicht zuletzt ist Wasser selbst korrosiv. PVC wird für folgende Komponenten verwendet: Rohre, Fittings, Armaturen, Filter, Umkehrosmosen, Ionentauscher, Regeneratoren, Sterilisatoren, Entkeimer, Pumpen und Tanks.

Wo ein breiterer Temperatureinsatzbereich gefordert ist, wird Polypropylen verwendet. Vor allem die Grosschemie, Metallveredelungs- und Farbenindustrie setzt PP ein. Spezielle Einsatzgebiete sind Abgasleitungen, wo die Gase 80 bis 100 °C erreichen und korrosive Verbindungen enthalten, für Wasser und Abwasser, sauer oder alkalisch, sowie für Wasser und Abwasser, wo mit grossen Temperaturschwankungen zu rechnen ist. Im Inneren von Gebäuden werden PP-Rohre meist unverstärkt verlegt. Für den Ausseneinsatz, unter besonderen Beanspruchungen und für den Tank- und Reaktorbau wird PP zusätzlich mit GFK armiert.

Polyäthylen-Druckrohre zeichnen sich durch geringe Versprödung bei niederen Temperaturen aus und werden deshalb häufig für Gas sowie Druckluft im Innern, aber auch draussen verlegt. Die

Bild 2. Prüfstand für Kunststoffarmaturen. Vor der Freigabe zur Fabrikation werden die Armaturen den härtesten Langzeittests unterworfen

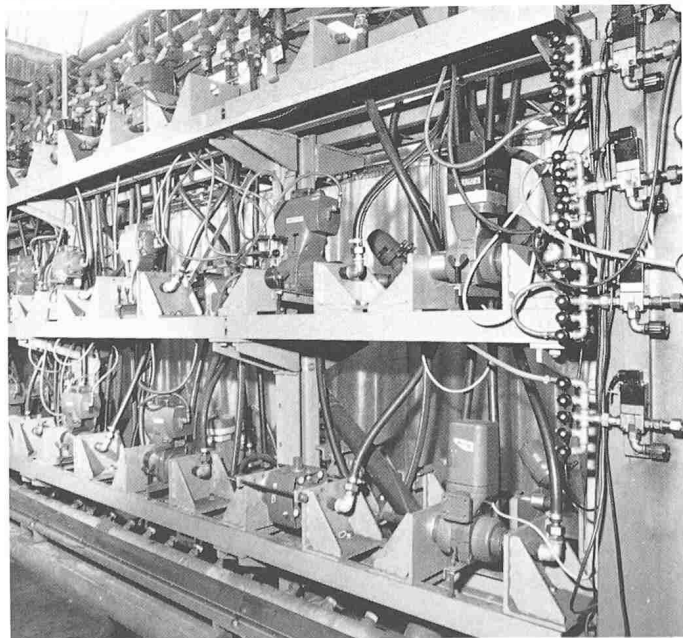
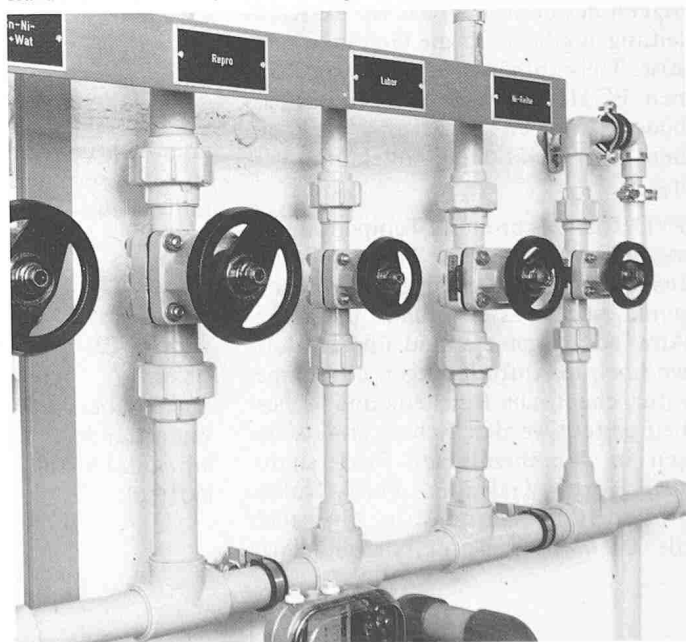


Bild 3. Verteilerbatterie in der Galvanikindustrie, PP-Verteilerbatterie mit Hand-Membranventilen, Verschraubungen und geschweissten Fittings



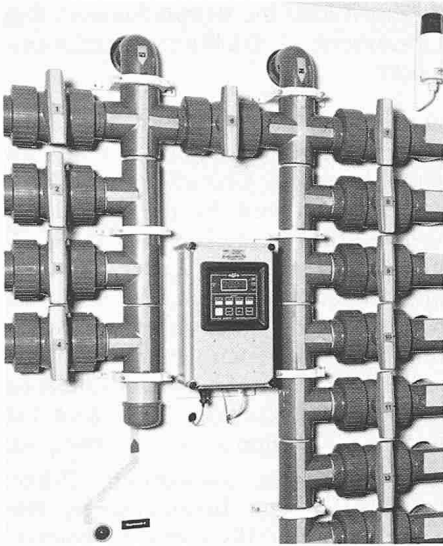
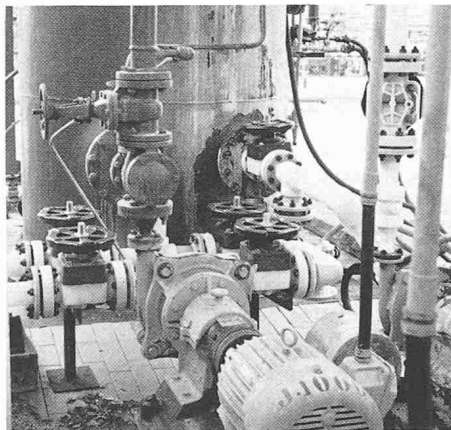


Bild 4. Wasseraufbereitungsanlage in einem Kantonsspital. PVC-Rohrleitungssystem mit Fittings, Kugelbahnen und Durchflussmesser

Bild 5. Schwefelsäureanlage in der Petrochemie. PVDF-Membranventile beaufschlagt mit 99% Schwefelsäure bei 70 °C und 3 bar. Die Anlage steht unter freiem Himmel



Industrie verwendet PE, wo z. B. bei Lösemittelanteilen die chemische Beständigkeit besser als bei PVC ist. PE-Kühlleitungen gibt es für die Getränkeindustrie, Tiefkühlhäuser und Kunsteisbahnen. PE-Heizleitungen werden in Fussböden, Rampen-, Brücken-, Weichenheizungen und Sonnenkollektoren verlegt.

PVDF hat das breiteste Temperatureinsatzgebiet von allen Thermoplasten. Insbesondere ist es über den Siedepunkt von Wasser hinaus beständig. Anwendungsgebiete sind überall dort, wo höchste Anforderungen an Temperatur, chemische Resistenz und Sicherheit gestellt werden. Schwerpunkte liegen in der chemischen Prozessindustrie, Textil-, Galvanik-, Foto-, Nuklear- und Halbleiterindustrie. Aber auch die Brom-, Chlor-, Zelluloseindustrie

und der Bergbau verwenden PVDF-Rohrleitungssysteme. Die Verlegung erfolgt drinnen, draussen und im Erdboden. Für zusätzliche Druckbelastungen, grosse Dimensionen, Tank- und Reaktorbau wird PVDF mit GFK armiert.

PVDF besitzt eine bemerkenswerte Resistenz gegenüber den meisten anorganischen und organischen Säuren, Oxidationsmitteln, aliphatischen und aromatischen Kohlenwasserstoffen, Alkoholen und halogenierten Lösungsmitteln. Es ist beständig in Gegenwart von Halogenen, insbesondere Brom, und schwachen Laugen. Erst von rauchender Schwefelsäure, einigen stark alkalischen Aminen, heissen, konzentrierten Laugen und Alkalimetallen wird es angegriffen.

Neue Anwendungen

Die Halbleiterproduzierende Industrie stellt steigende Anforderungen; sie benötigt grosse Mengen von Säuren, um die Oberfläche von Siliziumwafern zu ätzen und in einem weiteren Arbeitsgang mit Wasser zu spülen. Seit der Miniaturisierung der Schaltkreise auf den Chips werden die Produktionstechniken immer anfälliger auf Verunreinigungen. Man weiss, dass heutzutage – trotz grossen Anstrengungen der Chipshersteller – die Ausbeuten in den Produktionsanlagen noch sehr unbefriedigend sind. Genaue Zahlen sind kaum zu erhalten, teils weil sie von den Herstellern geheim gehalten werden, teils weil bei mehrstufigen Prozessen die Gesamtausbeute schwer zu ermitteln ist. Tatsache ist aber, dass die schlechte Ausbeute mit den Verunreinigungen im Wasser zusammenhängt. So kann ein Partikel von 0,15 µm Durchmesser bereits einen 256-K-Chip untauglich machen, da die Breite der Leiterbahnen nur etwa 1,5 µm beträgt.

Grösste Anstrengungen werden unternommen, um die Qualität des Wassers zu verbessern und geeignete Rohrmaterialien und Verbindungstechniken zu finden.

Die American Society for Testing and Materials (ASTM) schlägt für Wasser elektronischer Qualität folgende Richtwerte vor:

Elektrischer Widerstand:	18 MΩcm
Silizium-Dioxid:	5 µg/l totales SiO ₂
Partikel:	höchstens 2000/l, nicht grösser als 1 µm

TOC (totaler organischer Kohlenstoff):
Keimzahl:

höchstens 50 µg/l
höchstens
1000 Mikroorganismen/l

Eine Lösung mit PVDF

Eine entscheidende Bedeutung kommt der Reinheit des Rohrleitungsmaterials zu. Während man mit PVC-Leitungen noch 18 MΩcm Widerstand erreichen kann, ist der geforderte TOC unerreichbar, weil heutzutage die ausgelaugten Spuren von Additiven aus dem PVC bereits schädlich sind. Die Wasseraufbereiter gehen deshalb dazu über, SYGEF® (Schutzmarke der Georg Fischer AG), ein komplettes Rohrleitungssystem inkl. Halbzug für den Anlagen- und Apparatebau, vorzusehen. Verlangt wird auch ein voll verschweisstes, unlösbares System, damit keine Probleme mit Kontamination infolge Dichtungsmaterialien auftreten und die Spülung/Sterilisation der Leitungen ohne Demontage erfolgen muss.

Als Absperrorgan wird das Membranventil aus PVDF mit Teflon-Membrane, welches weder benetzte Dichtungen noch bewegliche Teile aufweist, eingesetzt.

Grösste Probleme treten mit bakteriellem Befall auf. Die Wasserbakterien sind äusserst genügsam und können durch Infektion und Vermehrung, vor allem in Toträumen und Filtern, die Ausbeute an Mikrochips empfindlich vermindern. Man hält deshalb das Wasser ständig mit grosser Geschwindigkeit in Fluss, sterilisiert laufend mit UV-Strahlen und filtriert mit 0,2-µm-Filtern die toten Bakterien heraus. Tanks werden mit einem Kissen aus Stickstoff überschichtet. Trotzdem ist es schwierig, den Mikroorganismen beizukommen. Deshalb fordern gewisse Firmen den Betrieb der Reinstwasseranlagen bei 80 bis 90 °C. Auch hier wird PVDF eingesetzt, welches sowohl den Drücken als auch den Temperaturen standhält.

Adresse des Verfassers: Dr. ing. chem. C. Gehriger, Geschäftszweig Industrie-Systeme, Georg Fischer Aktiengesellschaft, Postfach, CH-8200 Schaffhausen.