

# ***NEUE WERKSTOFFE FÜR REINSTEDIENSYSTEME***

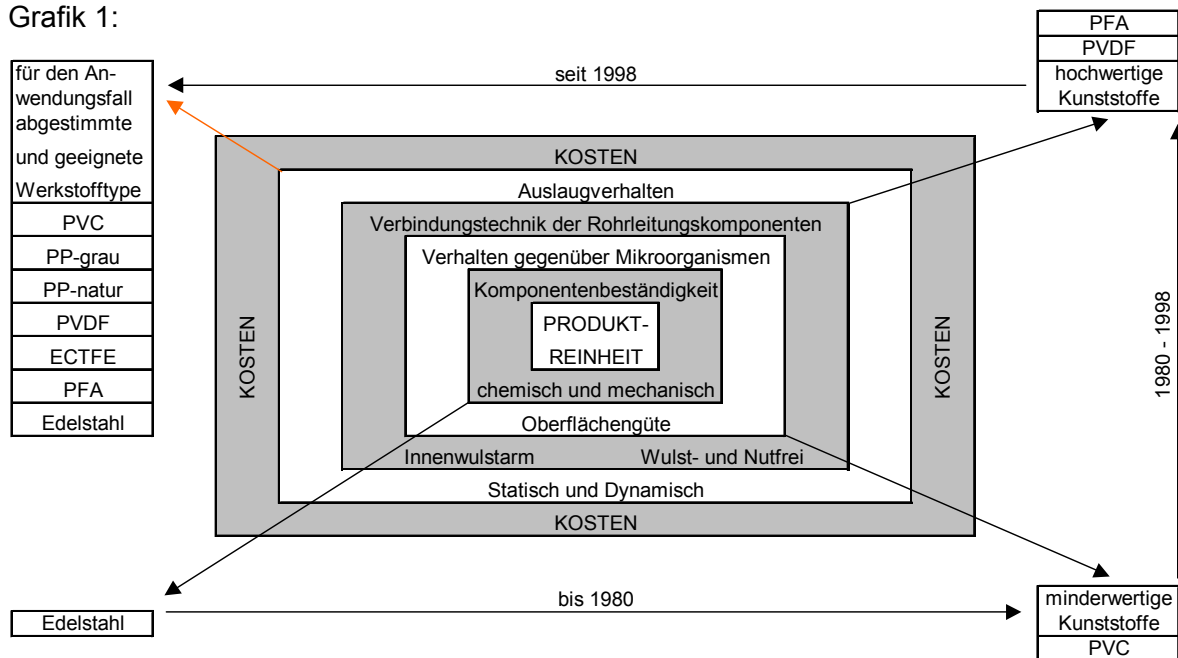
Ing. Albert Lueghamer  
AGRU KUNSTSTOFFTECHNIK GmbH  
4540 Bad Hall  
Austria

# 1 Werkstoffauswahl

Die Werkstoffauswahl hat bzw. wird auch in der Zukunft eine äußerst wichtige Rolle bei der Auslegung von Reinstmediensystemen spielen. Hatten am Beginn Werkstoffe wie Edelstahl und minderwertige Kunststoffe bei Anwendungen in der Reinstmedierversorgung eine wichtige Rolle, so stehen dem Anwender heute eine Vielzahl von hochwertigen Kunststoffmassen zur Verfügung.

Die Kriterien bei der Auswahl von Werkstoffen zum Einsatz in Reinstmedienleitungen haben sich in den vergangenen Jahren wesentlich verändert (Grafik 1), um den technischen Trends der Reinstmedien, basierend auf wesentlich mehr meßtechnisch erfaßter Erfahrung und des sehr wichtig gewordenen Kostenfaktors, gerecht zu werden.

Grafik 1:



In allen Bereichen der Industrie spielen die Kosten bei der Errichtung von Anlagen eine maßgebliche Rolle. Reinstmediensysteme und damit verbunden die dafür verwendeten Werkstoffe sind daher sowohl in technischer als auch kommerzieller Hinsicht ein bedeutender Faktor.

In der Reinstmedierversorgung werden bis heute vorwiegend bzw. ausschließlich folgende Werkstoffe eingesetzt (Tabelle 1).

Tabelle 1:

Materialtypen	Vorwiegende Anwendungsgebiete
Edelstahl	Reinstmediensysteme in der Pharmaindustrie
C-PVC	Reinstwasserversorgung
PVDF	Reinstwasserversorgung, (UPW)
PFA	Rohrsysteme für Reinstchemikalien
PP	Reinstwasserversorgung (Rücklauf)

Neue sowie weiterentwickelte Werkstoffe stehen nun dem Planer und Anwender zur Verfügung, womit künftig technisch bessere bzw. kostengünstigere Lösungsmöglichkeiten für den jeweiligen Anwendungsfall gegeben sein werden.

Diese neuen Werkstoffe sind:     **PP-R natur (Polypropylen Random Copolymer natur)**  
  **ECTFE natur (Ethylenchlortrifluorethylen)**  
  **S-PVDF           (Suspensions – Polyvinylidenfluorid)**

## **2 Neue Werkstofftypen**

### **PP-R natur (PP-n)**

Polypropylen - ein bereits seit Jahrzehnten im industriellen Rohrleitungsbau eingesetzter Werkstoff - bietet eine Vielzahl von Eigenschaften, welche dessen Anwendung auch für Reinstmedienrohrsysteme empfehlen. Bis dato wurde der Werkstoff grau/beige (RAL 7032) eingefärbt als Rohrsystem angeboten und seit ca. 8 Jahren optionell in Reinstmedien-systemen (z.B. DI-Ringleitungssysteme im Rücklauf) eingesetzt.

PP-R natur bietet aufgrund seines Eigenschaftsbildes besondere Vorteile, welche die Anwendung für die verschiedensten Bereiche in Reinstmediensystemen ermöglicht.

Anwendungsgebiete:

- UPW-Rohrsysteme
- Transportleitungen von Chemikalien in DSP- und CMP-Systemen im Bereich der Halbleiterindustrie
- Verrohrungen in Naßbänken (Wet Stations)
- Photochemische Verteilersysteme
- Prozeßleitungen in der Biochemie
- Prozeßleitungen in der Lebensmittelindustrie
- Abflußleitungen für Fertigungsanlagen in der Halbleiterindustrie

PP-R natur (PP-n) enthält keinerlei Farbadditive und zeichnet sich durch folgende Eigenschaften besonders aus:

- ◆ niedrige Dichte von 0,91 g/cm<sup>3</sup> (PVC 1,40 g/cm<sup>3</sup>)
- ◆ hohe Zeitstandfestigkeit
- ◆ sehr gute chemische Beständigkeit
- ◆ Beständigkeit gegenüber Mikroorganismen
- ◆ hohe Alterungsbeständigkeit
- ◆ sehr gute Abrasionsbeständigkeit
- ◆ elektrisch nicht leitend
- ◆ ausgezeichnete akustische Dämpfungseigenschaften
- ◆ hervorragende Schlagzähigkeit
- ◆ ausgezeichnete Verschweißbarkeit

Neben den angeführten positiven Eigenschaften hat PP-R natur aufgrund seiner Materialzusammensetzung ein sehr gutes Auslaugverhalten. Die im statischen Auslaugversuch (gemäß SEMATECH-Norm) ermittelten Prüfergebnisse zeigen geringe Auslaugwerte (Tabelle 2), womit sich die in der praktischen Anwendung gemachten sehr guten Erfahrungen im dynamischen Auslaugverhalten bestätigt haben.

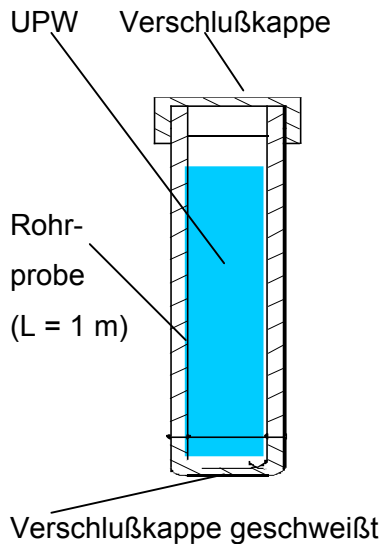


Tabelle 2:

		Auslaugperiode [Tage]	Auslaugwerte PP-R natur Testtemperatur 20°C	
			[ $\mu\text{g}/\text{m}^2$ ]	[ppb]
<u>Anionen:</u>	Fluor	7	0,49	0,04
	Chlor	7	13,17	1,06
	Nitrit	7	4,43	0,35
	Bromid	7	-	-
	Nitrat	7	0,73	0,03
	Phosphat	7	0,23	0,02
	Sulphat	7	10,6	1,28
<u>Kationen:</u>	Lithium	7	-	-
	Natrium	7	2,05	0,34
	Potassium	7	0,25	0,02
	Magnesium	7	11,96	1,46
	Kalzium	7	7,67	0,63
<u>Metalle:</u>	Eisen	7	0,44	0,04
	Kupfer	7	0,11	0,02
	Nickel	7	0,16	0,01
	Zink	7	7,22	0,39
	Kobalt	7	-	-

Testmethode gemäß SEMATECH-Standard:

- Auslaugbedingungen: 7 Tage bei 20 °C (68°F)
- Anionen-Analyse mittels IC (Ionenchromatographie) mit geringer Leitfähigkeit (ausgelöste Werte wurden aufgezeichnet)
- Kationen-Analyse mittels IC mit geringer Leitfähigkeit und nachträglicher Ableitung mit PAR (Nachsäulenreagenz) (ausgelöste Werte wurden aufgezeichnet)

Die physiologische Unbedenklichkeit wurde für diesen Werkstoff in verschiedenen Zulassungen nachgewiesen:

EU: EU-Richtlinie 90/128/EEC: Annex II Liste A, 92/39/EEC, 93/9/EEC, 95/3/EEC und 96/11/EEC

USA: FDA, Code of Federal Regulations CFR 21, §177.1520 „Olefin polymers“ (1998)













PP-R natur ist daher auch für den Einsatz im Bereich der Lebensmittel- und Biotechnologie zugelassen.

Die sehr gute chemische Widerstandsfähigkeit gegenüber den meisten Säuren und Laugen auch bei höheren Temperaturen empfiehlt den Einsatz dieser neuen Werkstofftype auch für Reinstchemikalienversorgungssysteme als Alternative zu PFA. In der Reinstchemikalienversorgung gibt es auch die Anforderung größere Nennweiten einzusetzen und PFA bietet

den Kunden nur ein sehr begrenztes Dimensionsspektrum. PP-R natur ist auch in größeren Nennweiten verfügbar und zudem einfacher bei der Verbindungstechnik.

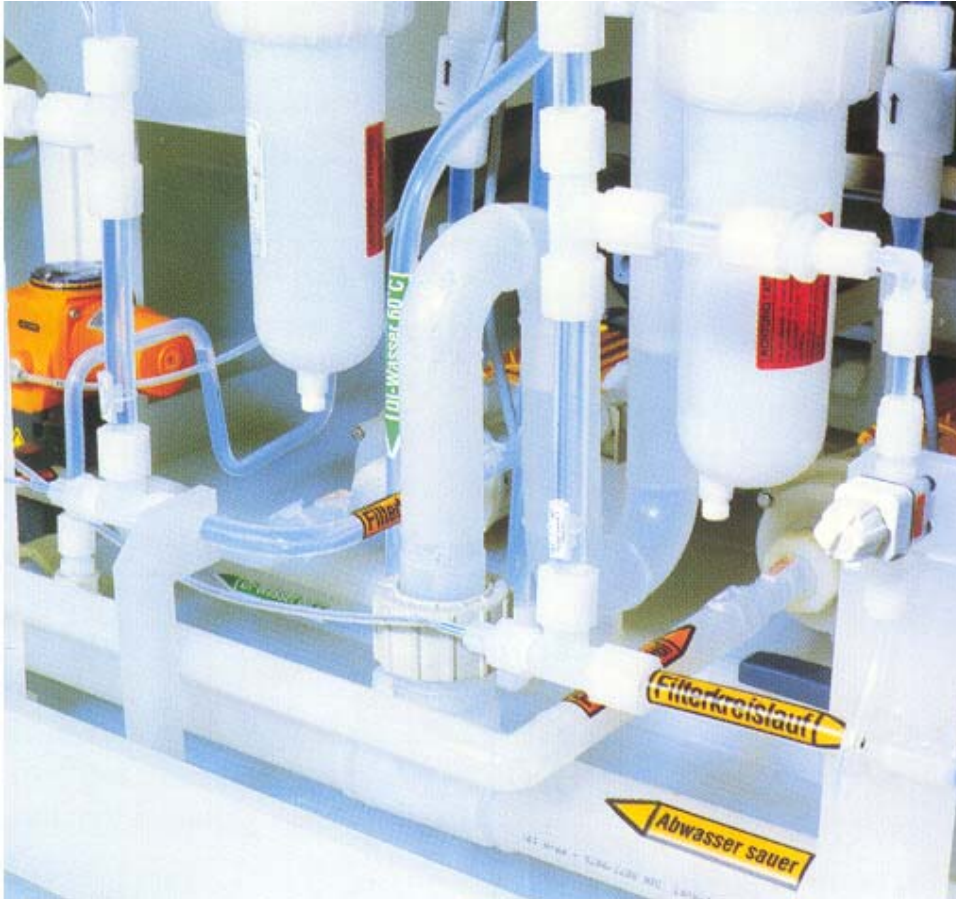
Seine transparente Erscheinung aufgrund der nicht vorhandenen Farbadditive ist ein weiterer Vorteil von PP-R natur und ermöglicht damit einen besseren visuellen Eindruck verlegter Rohrsysteme sowie eine verbesserte Kontrollierbarkeit von Kontaminationen.

Auch die für den Bau von Reinstmedienrohrsystemen erforderlichen Bauteilkomponenten sind aus dieser neuen Werkstofftype bereits komplett für den Anwender verfügbar.

	Rohre, für IR- und Stumpfschweißung	20 25 32 40 50 63 90 110
	Bogen 90°, für IR- und Stumpfschweißung	20 25 32 40 50 63 90 110
	Winkel 45°, für IR- und Stumpfschweißung	20 25 32 40 50 63 90 110
	Winkel 90°, für IR- und Stumpfschweißung	20 25 32 40 50 63 90 110
	T-Stücke, für IR- und Stumpfschweißung	20 25 32 40 50 63 90 110
	V-Bunde, für IR- und Stumpfschweißung	20 25 32 40 50 63 90 110
	Verschraubungen	20 25 32 40 50 63 90 110
	Reduktionen konzentrisch	63/16 110/63
	Reduktionen konzentrisch	25/20 32/20 32/25 63/32
	Membranventile handbetätigt	20 25 32 40 50 63 90 110
	Losflansche mit Stahleinsatz (DIN, ANSI)	20 25 32 40 50 63 90 110
	Rundstäbe extrudiert	16 - 315

Optional sind auch Vortex Durchflußmeßsysteme, reduzierte T-Stücke, Meßadapter, Festpunktformstücke, Sonderformteile, Kugelhähne, Schweißdrähte und Platten in den verschiedensten Abmessungen und Dimensionen erhältlich. Die Rohrleitungsteile sind für die in der Reinstmedierversorgung üblichen Schweißmethoden IR- und Stumpfschweißung ausgelegt und können auch auf den dafür abgestimmten Schweißgeräten einwandfrei verschweißt werden.

Die Fertigung von Rohrleitungskomponenten aus PP-R natur erfolgt ausschließlich unter Reinraumbedingungen, wobei nur eine ausgewählte Rohmaterialtype für Rohr, Formstück und Ventil eingesetzt wird.



Installation von PP-R natur in Naßbänken

Folgende Eigenschaften zeichnen auf, warum PP-R natur eine neue alternative Werkstofftypen für Reinstmedierversorgung ist:

- ◆ Werkstoff mit ausgezeichnetem Auslagverhalten und Oberflächengüte
- ◆ Einfache Verbindungstechnik (Infrarotschweißtechnologie)
- ◆ Besonderer Kostenvorteil

### **ECTFE**

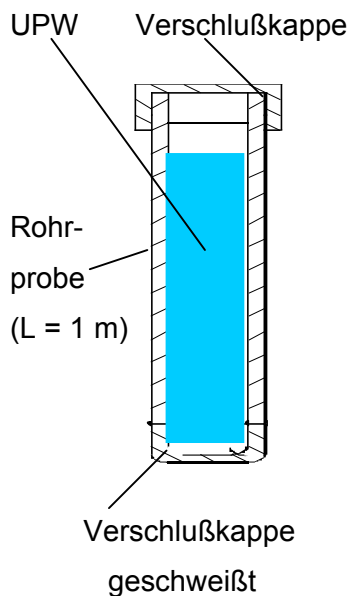
ECTFE (Ethylenchlorotrifluorethylen) gehört zur Gruppe der Fluorpolymere und ist ein Copolymer von Ethylen und Chlortrifluorethylen. Es ist ein thermoplastisches Material, welches auf dem Markt auch unter der Produktbezeichnung HALAR bekannt, ist ohne Additive und in seinem Erscheinungsbild ebenfalls transluzent (ähnlich PVDF).

Vorwiegend wurde dieser Werkstoff bis dato für Auskleidungssysteme im Tank- und Rohrleitungsbau (ausgekleidete Edelstahlrohre für Lüftungssysteme) eingesetzt.

ECTFE bietet Eigenschaften, welche diesen Werkstoff auch zukünftig für den Einsatz in Reinstmedienrohrleitungssystemen empfehlen. Im Gegensatz zu PVDF bietet ECTFE eine wesentliche höhere Schlagzähigkeit (geringe Sprödigkeit) in Verbindung mit sehr guten Zeitstandfestigkeits – Eigenschaften, die ebenfalls von besonderer Bedeutung für die Anwendung in Rohrsystemen sind.

Ein sehr geringes Auslaugverhalten auch bei hohen Temperaturen (Tabelle 3) und eine um bis zu 100% bessere Oberflächengüte der Fertigprodukte gegenüber PVDF werden zukünftig bei Reinstmediensystemen hoher Anwenderstandards von Bedeutung sein.

Tabelle 3:



		Auslaug- periode [Tage]	Auslaugwerte für ECTFE	
			Testtemperatur 20°C	
			[ $\mu\text{g}/\text{m}^2$ ]	[ppb]
<b>Anionen:</b>	Fluor	7	111,06	7,5
	Chlor	7	9,53	0,9
	Nitrit	7	3,66	0,25
	Bromid	7	<1,48	<0,1
	Nitrat	7	5,87	0,4
	Phosphat	7	<2,93	<0,2
	Sulphat	7	<5,87	0,4
<b>Kationen:</b>	Lithium	7	<1,47	<0,1
	Natrium	7	2,05	0,14
	Ammonium	7	4,77	0,325
	Potassium	7	0,73	0,05
	Magnesium	7	1,98	0,12
	Kalzium	7	19,96	1,36
<b>Metalle:</b>	Eisen	7	<1,47	<0,1
	Kupfer	7	1,84	0,12
	Nickel	7	<1,47	<0,1
	Zink	7	5,3	0,36
	Kobalt	7	<1,47	<0,1

Auslauguntersuchungen bei 80°C in Vorbereitung

#### Testmethode gemäß SEMATECH-Standard:

- Auslaugbedingungen: 7 Tage bei 20 °C (68°F)
- Anionen-Analyse mittels IC (Ionenchromatographie) mit geringer Leitfähigkeit (ausgelöste Werte wurden aufgezeichnet)
- Kationen-Analyse mittels IC mit geringer Leitfähigkeit und nachträglicher Ableitung mit PAR (Nachsäulenreagenz) (ausgelöste Werte wurden aufgezeichnet)

Die weiteren Eigenschaften von ECTFE sind:

- ◆ Dichte von 1,68 g/cm<sup>3</sup>
- ◆ Längenausdehnungskoeffizient um 20% geringer als PVDF
- ◆ 55% geringer als PFA
- ◆ sehr gute Verschweißbarkeit
- ◆ hervorragende chem. Beständigkeit (im besonderen gegen Laugen)
- ◆ sehr hohe Permeationsbeständigkeit

ECTFE ist auch ein Werkstoff, welcher von „Factory Mutual“ (FM) für den Einsatz in Reinstäumen aufgrund seines Brandverhaltens zugelassen und empfohlen ist. Aufgrund künftiger Anforderungskataloge, welche von Versicherungsgesellschaften für die Ausrüstung von Reinstäumen in Fabs vorgelegt werden, werden auch bei der Auswahl von Werkstoffen für











für Reinstmediensysteme in bestimmten Bereichen die Brandklasse sowie deren Zulassung von erheblicher Bedeutung sein.

Gerade bei der Ausrüstung von Prozeßanlagen (z.B. Wet Benches usw.) gibt es den Trend, Versorgungsleitungen bereits mit diesem Werkstoff - aufgrund seiner Brandeigenschaften, sehr guten chemischen Beständigkeit, einfachere Verarbeitbarkeit und des Auslaugverhaltens - einzusetzen.

Weitere Anwendungsbereiche für diesen Werkstoff in Reinstmediensystemen sind:

- Transportleitungen für Heiß-UPW
- Chemikalienversorgungssysteme in Ätzanlagen
- Ringleitungssysteme für UPW
- Rohrleitungen in UPW-Wärmetauschern

ECTFE Rohrleitungskomponenten, hergestellt in High-Purity-Qualität, sind in der Druckstufe PN 10 (10 bar zul. Betriebsdruck bei 20 °C) in einem umfangreichen Sortiment am Markt verfügbar.

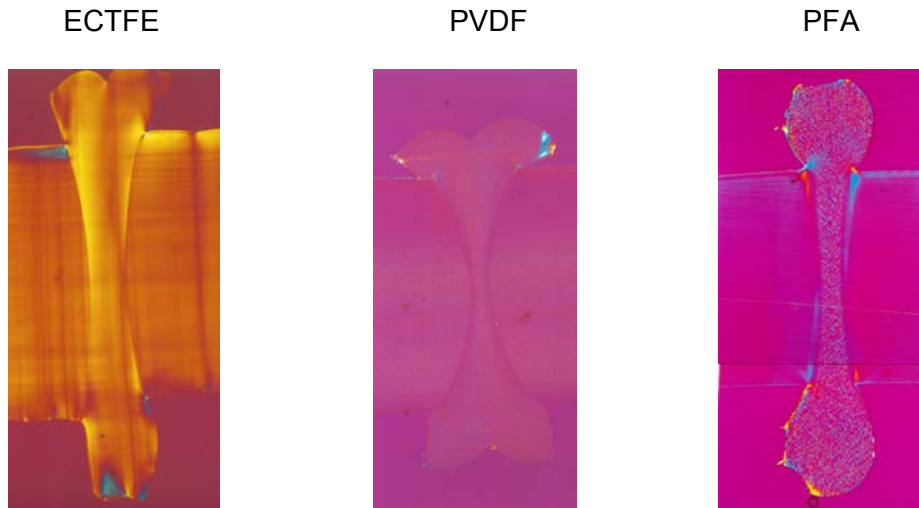
	Rohre, für IR- und Stumpfschweißung	20 25 32 40 50 63 90 110
	Bogen 90°, für IR- und Stumpfschweißung	20 25 32 40 50 63 90 110
	Winkel 45°, für IR- und Stumpfschweißung	20 25 32 40 50 63 90 110
	T-Stücke, für IR- und Stumpfschweißung	20 25 32 40 50 63 90 110
	V-Bunde, DIN und ANSI	20 25 32 40 50 63 90 110
	Verschraubungen	20 25 32 40 50 63 90 110
	Reduktionen konzentrisch	63/16 110/63
	Reduktionen konzentrisch	25/20 50/32 63/32 63/50 90/63 110/90
	Membranventile handbetätigt	20 25 32 40 50 63 90 110
	Endkappen verlängert	20 25 32 40 50 63 90 110

Zusätzlich sind Schweißdrähte und Platten in den verschiedensten Abmessungen und Dimensionen erhältlich. Diese Komponenten werden vorwiegend für Auskleidungen von Reinstmedienlagertanks verarbeitet.

Die Verschweißung von ECTFE Rohrleitungskomponenten ist mit der IR-Schweißtechnologie ausführbar und empfohlen. Entsprechende Schweißgeräte, welche für die Verschweißung von ECTFE Rohren programmiert sind, werden von den Systemlieferanten bereits angeboten. Die bei der Verschweißung auftretenden Schweißwülste sind im Vergleich zu PVDF

besonders an der Rohrinneinnenseite noch kleiner - ein zusätzlicher Vorteil dieses Werkstoffes für die Anwendung bei Reinstmedienleitungen (Bild 1).

Bild 1: Mikrotomschnitte von IR-Schweißnähten im Vergleich (Rohr DA 32)



ECTFE ist in der Gruppe der hochwertigen Kunststoffe einzuordnen und daher auch von den Kosten höher als PVDF jedoch wesentlich geringer als PEEK oder auch PFA einzustufen. Dieser Werkstoff wird in Zukunft eine alternative Werkstofftype sowohl in der Halbleiter- als auch in der Pharmazeutischen Industrie sein.

### **S-PVDF (Suspensions PVDF)**

PVDF ist der Kunststoff, welcher bis heute neben PFA und PVC am meisten im Bereich der Reinstmedierversorgung verwendet wird.

PVDF ist ein Fluorpolymer und ist in zwei verschiedenen Materialvarianten am Markt verfügbar:

Emulsion Grade	E-PVDF	TYPE I
Suspension Grade	S-PVDF	TYPE II

Das Suspensionsverfahren gestattet die Herstellung eines Polymerisats, welches weniger Fehlstellen in den Molekülketten und dadurch einen höheren Kristallinitätsgrad besitzt. Diese Fehlstellen können mittels NMR (Nuclear Magnetic Resonance) bestimmt werden, wobei die typischen Werte für S-PVDF 4% bzw. für E-PVDF bis zu 5,5% sind.

Ebenso sind Unterschiede beim Elastizitätsmodul festzustellen. So ist für S-PVDF ein typischer Wert 2200 MPa und für E-PVDF 1900 MPa. Die Kerbschlagzähigkeit verringert sich jedoch nicht.

Ein weiterer Vorteil ist, daß S-PVDF einen geringeren Farbindex als E-PVDF hat, was diesen Werkstoff weißer und dadurch auch reiner aussehen läßt.

Auch die thermische Stabilität von S-PVDF ist wesentlich günstiger und bewirkt eine bessere und einfachere Verarbeitbarkeit.

Weitere Eigenschaften von S-PVDF:

- ◆ Dichte von 1,78 g/cm<sup>3</sup>
- ◆ Sehr gute chemische Beständigkeit
- ◆ Gute Beständigkeit gegen UV- und Gammastrahlung
- ◆ Gute und einfache Bearbeitbarkeit
- ◆ Gute mechanische Eigenschaften
- ◆ Höhere Zeitstandfestigkeit (Druckbeständigkeit) als E-PVDF
- ◆ Physiologisch unbedenklich
- ◆ Schwer entflammbar
- ◆ Hervorragende Isolationseigenschaften
- ◆ Ausgezeichnete Abriebfestigkeit und sehr gute Gleiteigenschaften
- ◆ Geringere Sprödigkeit als E-PVDF

Aufgrund dieser besonderen Eigenschaften wird S-PVDF für folgende Anwendungen empfohlen und auch eingesetzt:

- UPW-Verteilungssysteme in der Halbleiter- und Pharmaindustrie
- Chemische Verteilungssysteme

Die Verschweißbarkeit ist gerade bei PVDF aufgrund seiner grundsätzlich höheren Kerbempfindlichkeit von entscheidender Bedeutung. S-PVDF bietet wesentliche Vorteile, da es infolge des guten Schmelzverhaltens und der geringeren Kerbempfindlichkeit im Vergleich zu E-PVDF eine höhere Sicherheit bei verlegten Rohrsystemen bietet.

Im Bereich der PVDF-Werkstoffe wird es zukünftig noch wesentliche Verbesserungen geben, welche im besonderen für Reinstmediensysteme Vorteile darstellen. Diese Verbesserungen haben zum Ziel, das Auslaugverhalten von PVDF bei gleichbleibenden mechanischen Eigenschaften und Verarbeitbarkeit (Verschweißbarkeit, Oberflächengüte) zu verringern. Erste Serienuntersuchungen haben bereits gezeigt, daß gerade im Auslaugverhalten von PVDF (Tabelle 4) noch wesentliches Verbesserungspotential vorhanden ist.

Tabelle 4:

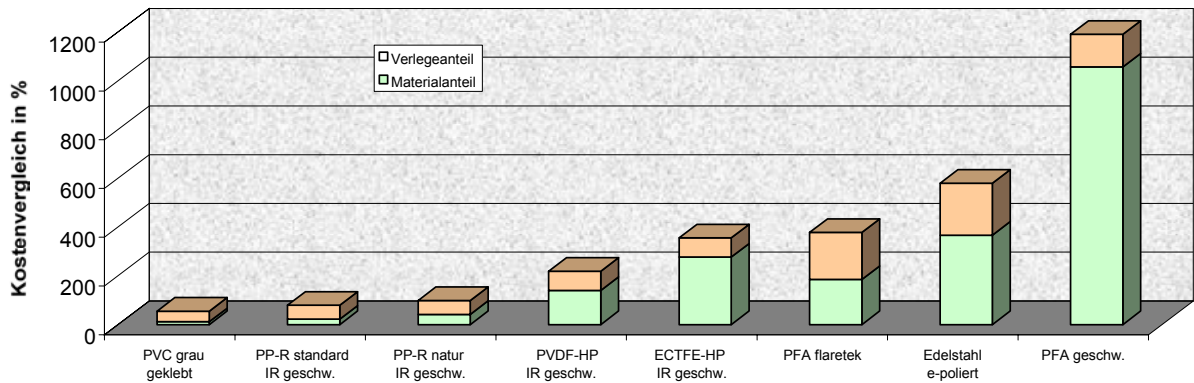
		Auslaug- periode [Tage]	Auslaugwerte	
			Prüftemperatur 85°C +/- 5°C [ppb,]	
			S-PVDF	S-PVDF neu
<u>Anionen:</u>	Fluor	7	3502	440
	Chlor	7	42,3	11,3
	Nitrit	7	<0,3	<0,5
	Bromid	7	2,9	1,4
	Nitrat	7	1,3	8
	Phosphat	7	12,7	1,6
	Sulphat	7	18,8	2,1
<u>Kationen:</u>	Lithium	7	<0,01	<0,02
	Natrium	7	0,01	0,12
	Ammonium	7	0,76	0,76
	Potassium	7	0,03	<0,02
	Magnesium	7	0,23	0,03
	Kalzium	7	1,19	0,36
<u>Metalle:</u>	Eisen	7	0,22	<0,10
	Kupfer	7	0,06	<0,10
	Nickel	7	0,07	<0,10
	Zink	7	0,12	<0,10
	Kobalt	7	<0,05	<0,10
<u>TOC</u>		7	2000	1400

Gemäß Semi Draft Doc. 2840 (rev. 5/14/98)

## **ZUSAMMENFASSUNG**

Die Weiterentwicklung von vorhandenen Werkstoffen sowie die Verfügbarkeit von neuen Werkstoffen wird für die Anwendung in Reinstmediensversorgungssystemen im 21. Jahrhundert eine wesentliche Rolle spielen. Steigende Anforderungen im Bereich der Reinstmedien werden künftig noch besser abgestimmte und ausgelegte Reinstmediensysteme verlangen. Es wird mehr Augenmerk auf die Erfassung von Meßdaten über den Einfluß der Qualität des Rohrsystems auf die Reinstmedienqualität gelegt werden und damit dem Anwender eine noch bessere Basis für die Auswahl des richtigen Systems gegeben.

Grundlage wird auch sein, internationale abgestimmte Normen, welche Meßmethodik und Prüfkriterien zur Erfassung dieser wichtigen Daten festlegen, auszuarbeiten. Einen repräsentativen Kostenvergleich (Grafik 2) verschiedener Materialtypen, welche für Reinstmediensysteme angewendet werden, zeigt die Notwendigkeit, zukünftig die Werkstoffauswahl wenn möglich für jeden einzelnen Anwendungsbereich im Fab abzustimmen, um damit eine Kostenoptimierung zu garantieren.



Grafik 2: Repräsentativer Kostenvergleich verschiedener Materialtypen für Reinstmedien-systeme

#### Grundlage für Kostenvergleich: Rohrsystem (da 32)

- 100 Meter Rohr
- 10 Stk. Winkel 90°
- 4 Stk. Verschraubungen
- 4 Stk. T-Membranventile/alternativ T-Stücke mit Membranventilen

Die vorgestellten Werkstoffe werden daher zukünftig dem Anwender weitere Auswahl- und damit verbundene Optimierungsmöglichkeiten bieten können wobei die Auswahlkriterien für Reinstmedien-systeme wie folgt einzuteilen sind:

- Dynamisches Auslaugverhalten des Werkstoffes
- Produktreinheit
- Oberflächengüte
- Eignung für gegebene Betriebsbedingungen (Druck, Temp., Medium)
- Brandklasse
- Verlegemethode/Verbindungstechnik
- Verfügbares Produktsortiment
- Systemkosten