

# ***Fluorkunststoff-Beschichtungen***

- **ECTFE (HALAR®)**
- **PFA**
- **PTFE (Antihafbeschichtung)**
- **PVDF (HYLAR®, KYNAR®, SOLEF®)**

## Fluorkunststoff-Beschichtungen

## Allgemeine Informationen

### Anwendung und Bedeutung

Forderungen nach erhöhter Betriebssicherheit nehmen vermehrt Einfluss auf die technische Ausstattung von Einrichtungen. Dem Schutz von Kontaktflächen gegenüber Korrosion und weiterer chemisch physikalischer Beanspruchungen kommt somit eine vorrangige Bedeutung zu. Aufgabenstellungen solcher Art werden vorrangig durch Beschichtungsverfahren mit Hilfe von Kunststoffen angegangen. Ihrer ausgezeichneten Barriere-Eigenschaften wegen wird besonders den Fluorkunststoffen eine Ausnahmestellung eingeräumt. Deren Nutzungsvielfalt äußert sich besonders mit folgenden Merkmalen:

- **Hohe Alterungsbeständigkeit**
- **Ausgezeichnete Chemikalienresistenz**
- **Günstiges Gleit- und Reibungsverhalten**
- **Isolatorische Effekte (Elektrizität und Wärme)**
- **Physiologische Unbedenklichkeit**
- **Verschleißminderung**

Diese positiven Merkmale haben zur Anwendung beschichteter Erzeugnisse in vielen Sektoren industrieller (und privater) Nutzung beigetragen, als da sind:

- **Chemie**
- **Anlagenbau und Verfahrenstechnik**
- **Pharmazie und Lebensmittel**
- **Elektrotechnik**
- **Maschinenbau**
- **Energie- und Wasserversorgung**
- **Abfall- und Entsorgungswirtschaft**
- **Verpackungsindustrie**

Für die Oberflächenvergütung mit Fluorkunststoffen eignen sich aus Gründen einer unumgänglichen Wärmebehandlung (+180 und +380 °C) bevorzugt metallische Konstruktionen. Verfahrenstechnisch haben folgende Vorgehensweisen praktische Bedeutung erlangt:

- **Elektrostatische Pulverbeschichtung**
- **Dispersionsbeschichtung**
- **Wirbelsinterverfahren**

### Elektrostatische Pulverbeschichtung

Das vorgeheizte Bauteil wird im elektrostatischen Feld mit Kunststoffpulver besprüht. Hierbei wandern die Kunststoffpartikel in Richtung des als Kathode geschalteten Werkstücks. Die anliegende Gleichspannung und die kinetische Energie der Partikel sorgen für eine gleichmäßige Verteilung auf dem vorbereiteten Untergrund. Durch die Wärmebehandlung haften die auftreffenden Pulverteilchen auf der Oberfläche und beginnen zu schmelzen. Eine wiederholte Erwärmung über den Schmelzpunkt des verwendeten Kunststoffes führt zur Vernetzung der Partikel. Die mehrfache Wiederholung dieses Vorganges sorgt schließlich für den Aufbau der geforderten Schichtdicke.

### Dispersionsbeschichtung

Im Unterschied zu den "trockenen" Pulverbeschichtungen werden bei diesem Verfahren die Partikel zum Zweck der Auftragung mit einem geeigneten Lösungsmittel solvatisiert. Die dispergierten Kunststoffteilchen werden auf die zu schützende Oberfläche aufgesprüht, ggf. aufgewalzt.

Im Sinterofen wird primär das Lösungsmittel abgedampft. Durch weitere Temperaturerhöhung werden die Kunststoffpartikel geschmolzen und auf Basis wiederholter Auftragung porenfrei vernetzt. Das zusätzliche Einlaminiertwerden von Glasgewebe stellt eine nützliche Variante dieses Verfahrens dar. Neben erhöhten Materialwandstärken werden Festigkeit und Elastizität begünstigt, was mit verbessertem Abriebverhalten und erhöhter Wandhaftung einhergeht.

### Wirbelsinterverfahren

Diese Technologie beschränkt sich im Wesentlichen auf Bauteile mit kleineren Abmessungen. In ein geschlossenes System, das zum Teil mit Beschichtungspulver angefüllt ist, erfolgt durch Einleitung von Luft eine Verwirbelung der Kunststoffpartikel. Das vorgewärmte Werkstück wird in das Pulver eingetaucht, wodurch die Partikel anhaften und zum Schmelzen gebracht werden. Zur Erreichung einer definierten Materialwandstärke wird auch dieser Vorgang mehrfach wiederholt.

### Gestaltung und Ausführung der Konstruktionen

Für den Oberflächenschutz metallischer Konstruktionen mit organischen Werkstoffen gelten die VDI-Richtlinien 2532, die Beachtung der Konstruktionsrichtlinien nach DIN 28051 sowie die Anforderungen an Metalloberflächen nach DIN 28053. Im Vorfeld ist zu abzusichern, dass die erforderliche Wärmebehandlung zur Beschichtung mit Fluorkunststoffen (180 - 380 °C) nicht zur Verformung der Bauteile führt. Dies ist von besonderer Bedeutung bei großflächigen und/oder dünnwandigen Konstruktionen.

### Vorbehandlung der Beschichtungsfläche

Eine intensive Reinigung, ggf. eine Entfettung bzw. Neutralisierung der Oberfläche, möglichst unmittelbar vor Beginn der Beschichtung, wird als unverzichtbar angesehen. Vorzugsweise wird ein Sandstrahlen nach DIN 55928 Teil 4 Reinheitsgrad SA 2 ½ angewandt, wodurch gleichzeitig eine solide Haftgrundlage geschaffen wird.

### Werkstückabmessungen

Beim einzelnen Bauteil sind Maximalabmessungen von:

$$L \times B \times H \leq 3000 \times 2500 \times 2000 \text{ (mm)}$$

zu berücksichtigen. Darüber hinaus ist eine ausreichende Zugänglichkeit der zu schützenden Oberflächen sicherzustellen. Querschnitte < 50 mm sollten vermieden werden. Kleinere Durchmesser eignen sich nur für sehr kurze Bau-längen (100 - 150 mm). Hinterschneidungen erweisen sich ebenfalls als kaum hantierbar.

### Prüfungen und Qualitätssicherung

Hochspannungsprüfung:

Mit geeignetem Porensuchgerät erfolgt bei definierter Hochspannung ein Abtasten der Oberfläche nach Poren, Rissen und anderen Fehlstellen. Voraussetzungen sind elektrisch leitende Trägermaterialien und elektrostatisch nicht ableitfähige Auskleidungswerkstoffe.

Schichtdickenprüfung:

Für metallischen Untergrund haben sich Ultraschall- bzw. Wirbelstromverfahren bewährt, während für ferromagnetische Trägerwerkstoffe induktive Verfahren vorzuziehen sind.

Visuelle Prüfungen:

Diese Art der Inspektion beschränkt sich auf die Suche nach Einschlüssen, Fehlstellen und Blasen..

## HALAR® (ECTFE)

HALAR® (Ethylenchlortrifluorethylen) ist ein thermoplastischer Fluorkunststoff des Herstellers AUSIMONT Inc. USA. Auf der Grundlage seiner chemischen Struktur - ein 1:1 alternierendes Copolymer von Chlortrifluorethylen und Ethylen - resultiert ein vorzügliches Eigenschaftsbild. Mit HALAR® lassen sich mit Schichtstärken ab etwa 250µ mit 3 kV Prüfspannung porenfreie Oberflächen erreichen, die sich durch hohe Abriebfestigkeit, Elastizität und Schlagzähigkeit auszeichnen.

### Thermischer Verwendungsbereich

Die Eignung von HALAR® erstreckt sich für kontinuierliche Gebrauchstemperaturen im Bereich von -75 bis +150 °C.

### Chemische Beständigkeit

Es ergeben sich gute bis sehr gute Beständigkeiten gegenüber Mineralsäuren, oxidierenden Säuren, Laugen und Salzen. Auch gegenüber Lösungsmitteln werden bis ca. 120 °C weder Auflösungen noch Spannungsrisse beobachtet. Chlorierte Kohlenwasserstoffe führen allerdings zur Quellung, verändern jedoch die physikalischen Eigenschaften nur unwesentlich. Analog zu anderen Fluorkunststoffen sollte ein Kontakt mit geschmolzenen bzw. komplex gelösten Alkali- bzw. Erdalkalimetallen sowie mit heißen Aminen (z. B. Anilin und Dimethylformamid) unterbleiben.

### Diffusionsverhalten

Die Permeabilität gegenüber Wasserdampf und anderen Gasen gilt als vergleichsweise gering. Gegenüber Chlorgas, Kohlendioxid, Sauerstoff und Salzsäure wird eine um 10- bis 100-fach niedrigere Durchlässigkeitsrate beobachtet als bei den meisten anderen Fluorkunststoffen. Andererseits ist einer möglichen Thermodiffusion mit besonderer Vorsicht zu begegnen, da z. B. bei dampfbeheizten Teilen bzw. bei Einsatz von Dampfreinigungsgeräten Ablösungserscheinungen auftreten können.

### Mechanische Eigenschaften

Im gesamten Temperaturbereich von -75 bis +150 sind hohe Abriebfestigkeit, Formstabilität, Schlagfestigkeit und Zähigkeit zu verzeichnen.

### Verarbeitungsmethoden

Sämtliche typisch thermoplastischen Verfahren wie Extrusion, Pulverbeschichtung (elektrostatisch), Spritzgußverarbeitung, Wirbelsinterverfahren sowie die Rotationstechnik können mit diesem Werkstoff angewandt werden. Auch die Verarbeitung von Plattenmaterial hat eine praktische Bedeutung erlangt.

### Schweißbarkeit

HALAR® lässt sich - bevorzugt unter Schutzgas - thermoplastisch verschweißen. Hierdurch wird u. a. die Reparatur eines Bauteiles vor Ort ermöglicht.

Diese günstigen Produkteigenschaften haben dem Werkstoff HALAR® ein breites Anwendungsgebiet erschlossen:

### Chemische Industrie und Pharmazie

Beschichtung von Behältern, Reaktoren und Tanks, Pumpen, Rührwerken, Wärmetauschern und Zentrifugen. Ferner Abscheider, Filter, Rohre und Schläuche bis hin zu Verpackungen für aggressive Chemikalien.

### Elektroindustrie

Kabel- und Drahtisolierungen, Klemmen, Fassungen, Verbindungselemente sowie Teile von Pumpen, Motoren und Getrieben ferner Membranen und Batteriegehäuse sind Beispiele für die Verwendungsvielfalt auf diesem Einsatzgebiet..

### Maschinenbau

Die Oberflächenvergütung von Armaturen, Rohren, Förder-schnecken, Laufrädern und Verbindungsteilen trägt entscheidend zum Langzeitnutzen dieser Einrichtungen bei.

### Spezielle Bereiche

Im Fahrzeug- und Flugzeugbau sowie in der Raumfahrt sind es vor allem die hoch beanspruchten Zubehörteile, die durch Oberflächenbehandlung mit HALAR® ihre entscheidende Verbesserung erfahren. Letztlich gelang es durch Verwendung in der Reinraumtechnik (Herstellung von Pharmazeutika; Bauteile der Mikroelektronik) Zugang zu weiteren zukunftsorientierten Technologien zu erhalten.

Typische Eigenschaften		Testmethode	Einheit	Wert
mechanisch	Dichte	DIN 53 479	g/cm <sup>3</sup>	1,68
	Reißfestigkeit	DIN 53 455	MPa	45 - 55
	Reißdehnung	DIN 53 455	%	250 - 260
	Biegefestigkeit	DIN 53 452	MPa	43
	Zug-E-Modul	DIN 53 457	MPa	1700
	Härte	DIN 53 505	Shore D	75
	Reibungskoeffizient (dyn.)	(Vergleich zu Stahl)		0,19
thermisch	Schmelzpunkt	DTA / DSC	°C	240
	Lin. Ausdehnungskoeffizient (50 - 85 °C)	DIN 53 752	°K <sup>-1</sup>	4 - 8 · 10 <sup>-5</sup>
	Wärmeleitfähigkeit	DIN 52 612	W/m · °K	0,15
	Thermischer Anwendungsbereich		°C	-70 bis +150
elektrisch	Dielektrizitätskonstante	DIN 53 483	10 <sup>2</sup> - 10 <sup>4</sup> Hz	2,5
	Spez. Durchgangswiderstand	DIN VDE 0303 Teil 30 IEC 93	Ω · cm	5,5 · 10 <sup>16</sup>
	Oberflächenwiderstand	DIN VDE 0303 Teil 30 IEC 93	Ω	> 10 <sup>17</sup>
allgemein	Wasseraufnahme	DIN 53 472	%	> 0,1
	Flammwidrigkeit	UL 94		94 V-O
	Verarbeitungswandstärke		µ	300 - 1200

## PFA (Perfluoralkoxy-Polymer)

PFA (Perfluoralkoxy-Polymer) ist ein Copolymer aus Tetrafluorethylen mit voll fluorierten Alkoxy-(Perfluorvinyl-ether-) Seitenketten. Aus diesem dem PTFE vergleichbaren Molekulaufbau erklären sich die ausgezeichneten Materialeigenschaften von PFA. Die gegenüber PTFE vorhandenen Alkoxy-Seitenketten verändern die Schmelzviskosität und ermöglichen eine thermoplastische Verarbeitung. Die vorzüglichen Eignungsmerkmale von PFA lassen diesen Werkstoff eine Spitzenstellung innerhalb der Fluorkunststoffe einnehmen.

### Thermischer Verwendungsbereich

Anwendungen mit PFA sind im Temperaturbereich von -200 bis +260 °C bei statischer Anwendung und von -40 bis +200 °C in dynamischer Anwendung möglich.

### Chemische Beständigkeit

Die außerordentliche Chemikalienresistenz von PTFE gilt nahezu unverändert auch für den Werkstoff PFA. Einschränkungen sind nur für wenige Stoffgruppen zu beachten. So sollten florierte Kohlenwasserstoffe (Frigen- bzw. Freon-Typen) wegen Quellung des PFA vermieden werden. Benzylchlorid, Dimethylformamid, Styrol sowie konzentrierte Salpetersäure können insbesondere bei erhöhten Temperaturen eine Gefügezerstörung des PFA verursachen. Fluor sowie Halogenverbindungen untereinander (z. B. Chlortrifluorid) sind ohne nennenswerten Einfluss bei Raumtemperatur, lassen jedoch andererseits eine merkliche Veränderung der mechanischen Eigenschaften bei erhöhten Temperaturen erwarten. Letztlich sollte der Kontakt von Alkali- und Erdalkalimetallen in geschmolzener und komplex gelöster Form mit PFA vermieden werden (Verfärbung, Gefügebeeinflussung).

### Mechanische und thermische Eigenschaften

Über einen weiten Temperaturbereich bleiben sowohl die Formbeständigkeit als auch die anderen mechanischen Eigenschaften auf hohem Niveau erhalten. Dies unterstreicht die herausragende Bedeutung von PFA im Vergleich zu den anderen Fluorkunststoffen.

### Weitere Oberflächeneigenschaften

Ausgezeichnete Witterungs- und UV-Stabilitäten sind über lange Verwendungszeiträume gegeben.

### Verarbeitung

Nahezu alle für Thermoplaste geeigneten Verfahren sind zur Verarbeitung von PFA anwendbar: Elektrostatische Pulverbeschichtung, Extrusion, Roto-Moulding, Spritzguss, Tiefziehen und Transferpressen. Von hohem Stellenwert ist weiterhin die Schweißbarkeit dieses Werkstoffes.

Diese Palette der Verarbeitungsmöglichkeiten in Kombination mit den vorzüglichen Eigenschaften führen zu zahlreichen Anwendungen in Chemie, Elektrotechnik, Elektronik und weiterer Einsatzgebiete.

### Chemischer Apparate- und Anlagenbau

Korrosionsbeständige Auskleidungen und Beschichtungen von Behältern, Rohren und weiteren Anlagenbauteilen. Weiterhin für den Einsatz von Armaturen, Absperrorganen, Pumpen sowie als Membranen und Faltenbälge mit hoher Elastizität.

### Elektronik- und Halbleiterindustrie

Auskleidungen mit glatten antihaftenden Oberflächen eignen sich für Transport und Lagerung hochreiner Medien sowie für Isolierungen mit hoher elektrischer Durchschlagfestigkeit.

### Fertigungstechnik, Maschinen- und Apparatebau

Neben der rissfreien Ummantelung von Metallteilen kommt der Herstellung komplizierter, großer ggf. geschweißter Bauteile besondere Bedeutung zu. Ebenso der Fertigung von Laminaten, Schläuchen und Rohren mittels Wickeltechniken und der Verschweißung von Folien. Die Verwendung in der Lagertechnik auf Basis hochwertiger Compounds mit günstigen Gleiteigenschaften und guter Abriebbeständigkeit kennzeichnet gleichfalls ein wichtiges Einsatzgebiet.

Typische Eigenschaften		Testmethode	Einheit	Wert
mechanisch	Dichte	DIN 53 479	g/cm <sup>3</sup>	2,12 - 2,17
	Reißfestigkeit	DIN 53 455	MPa	24 - 32
	Reißdehnung	DIN 53 455	%	300
	Biegefestigkeit	DIN 53 452	MPa	650 - 700
	Zug-E-Modul	DIN 53 457	MPa	650
	Härte	DIN 53 505	Shore D	60 - 65
	Reibungskoeffizient (dyn.)	(Vergleich zu Stahl)		0,2 - 0,3
thermisch	Schmelzbereich	DTA / DSC	°C	300 - 310
	Lin. Ausdehnungskoeffizient (50 - 85 °C)	DIN 53 752	°K <sup>-1</sup>	12 - 20 · 10 <sup>-5</sup>
	Wärmeleitfähigkeit	DIN 52 612	W/m · °K	0,22
elektrisch	Thermischer Anwendungsbereich		°C	- 200 bis + 260
	Dielektrizitätskonstante	DIN 53 483	10 <sup>4</sup> Hz	0,2
	Spez. Durchgangswiderstand	DIN VDE 0303 Teil 30 IEC 93	Ω · cm	10 <sup>18</sup>
	Oberflächenwiderstand	DIN VDE 0303 Teil 30 IEC 93	Ω	10 <sup>17</sup>
allgemein	Wasseraufnahme	DIN 53 472	%	0,03
	Flammwidrigkeit	UL 94		94 V-O
	Verarbeitungswandstärke		μ	50 - 800

## PTFE-Antihaftbeschichtung

Auf der Grundlage seiner herausragenden Produkteigenschaften nimmt PTFE eine Spitzenstellung im Bereich der Kunststoffe ein. In der Anwendung dieses unverzichtbaren Werkstoffes offenbart sich ein breites Spektrum günstiger Eigenschaften hinsichtlich chemischer und physikalischer Anforderungen.

PTFE kann wegen seiner ungewöhnlich hohen Schmelzviskosität jedoch nicht wie herkömmliche Thermoplaste verarbeitet werden. Vielmehr waren spezielle Beschichtungsverfahren zu entwickeln, denen trotz methodischer Besonderheiten Grenzen gesetzt sind. So gelingt es mit der Sprüh-Sinter-Technik nur vergleichsweise dünne Materialwandstärken (0,05 bis 0,25 mm) aufzutragen. Auch eine porenfreie Gestaltung der Oberfläche kann nur bedingt erreicht werden, da aus den erwähnten Gründen keine ausreichende Erweichung des PTFE eintritt.

Ungeachtet dieser Einschränkungen haben die außerordentlich günstigen Antihaf- und Trockenlaufeigenschaften der Anwendung der PTFE-Beschichtungstechnik einen bedeutenden Stellenwert verschafft.

Dieser Anwendernutzen basiert auf folgenden Materialeigenschaften:

### Antihafverhalten

Der niedrige Reibungskoeffizient verhindert Anhaften oder Aufbau von Produkt oder Fremdstoffen.

### Feuchtigkeitsabsorption

Die praktisch bedeutungslose Aufnahme von Wasser eröffnet den Zugang zur Elektrotechnik und zur Elektronik.

### Thermischer Anwendungsbereich

Dauertemperaturen im Bereich von -180 °C bis +260 °C gestatten zahlreiche praktische Anwendungen.

### Trockenlaufeigenschaften

Selbst unter Belastung resultieren niedrige Gleitwiderstände, woraus Selbstschmiereffekte und Notlaufeigenschaften abzuleiten sind.

### Elektrische Eigenschaften

PTFE offenbart über einen weiten Temperatur- und Frequenzbereich eine niedrige Dielektrizitätskonstante. In paralleler Betrachtung mit Oberflächen- und Durchgangswiderstand resultiert ein idealer Isolationswerkstoff mit ausgezeichnetem Strahlen- und Witterungsbeständigkeit.

Anhand der ausgewiesenen Produktmerkmale lässt sich der praktische Nutzen an folgenden Beispielen verdeutlichen:

### Chemische Industrie

Oberflächenbehandlung von Abstreifern, Behältern, Rohren, Rührwerken, Schnecken, Trichtern und Trocknern.

### Haushaltswaren und Einrichtungen

Vergütung von Backformen, Pfannen und Töpfen, sowie Bügeleisen und Verdampferanlagen von Kaffee- und Espresso-Maschinen.

### Lebensmittelproduktion

Abstreifmesser, Ausstecher, Backbleche, Behälter, Formwalzen, Knet- und Mischeinrichtungen und Produkttrutschen werden zur Vermeidung von Anhaftungen und Verkrustungen sowie zur einfacheren Reinigung beschichtet.

### Maschinenbau

Bewegliche Bauteile wie Drehgelenke, Gleit- und Leitrollen und Laufräder erfahren durch eine PTFE-Behandlung eine kontrollierte Schmierung mit verbessertem Lauf- und Verschleißverhalten.

### Möbel- und Holzverarbeitung

Leimspender, Leitbleche, Messer, Pressplatten, Säge- und Schneidwerkzeuge erlauben nach Behandlung mit PTFE eine Zunahme der Produktionsgeschwindigkeit, kontinuierliche Arbeitsabläufe und einen geringeren Verschleiß.

### Textilindustrie

Beschichtete Färbewannen, Kalender, Produktführungen, Rollen und Walzen schaffen saubere und trockene Oberflächen für schnelleres Arbeiten und langzeitorientierte Abläufe.

Typische Eigenschaften		Testmethode	Einheit	Wert
mechanisch	Dichte	DIN 53 479	g/cm <sup>3</sup>	2,14 - 2,20
	Reißfestigkeit	DIN 53 455	MPa	≥ 23
	Reißdehnung	DIN 53 455	%	260
	Biegefestigkeit	DIN 53 452	MPa	ohne Bruch
	Zug-E-Modul	DIN 53 457	MPa	750
	Härte	DIN 53 505	Shore D	55 - 65
	Reibungskoeffizient (dyn.)	(Vergleich zu Stahl)		0,1
thermisch	Schmelzbereich	DTA	°C	320 - 340
	Lin. Ausdehnungskoeffizient (20 - 200°C)	DIN 53 752	°K <sup>-1</sup>	19,5 · 10 <sup>-5</sup>
	Wärmeleitfähigkeit	DIN 52 612	W/m · °K	0,25 - 0,5
	Thermischer Anwendungsbereich		°C	-200 bis +260
elektrisch	Dielektrizitätskonstante	DIN 53 483	10 <sup>3</sup> - 10 <sup>6</sup> Hz	2,1
	Spez. Durchgangswiderstand	DIN VDE 0303 Teil 30 IEC 93	Ω · cm	> 10 <sup>18</sup>
	Oberflächenwiderstand	DIN VDE 0303 Teil 30 IEC 93	Ω	> 10 <sup>17</sup>
allgemein	Wasseraufnahme	DIN 53 472	%	0
	Flammwidrigkeit	UL 94		94 V-O
	Verarbeitungswandstärke		μ	5 - 30

## KYNAR® PVDF (Polyvinylidenfluorid)

PVDF (Polyvinylidenfluorid) ist ein teilkristalliner Fluorkunststoff auf thermoplastischer Basis. Die vorzüglichen chemischen und physikalischen Eigenschaften sowie die besondere Eignung zur Pulverbeschichtung und zum Wirbelsinterverfahren haben diesen Kunststoff große praktische Bedeutung erlangen lassen. Gegenwärtig sind PVDF-Polymere mehrerer Produzenten in der Anwendung wie u.a. HYLAR® (Ausimont USA Inc.) KYNAR® (Elf Atochem) und SOLEF® (Solvay Kunststoffe GmbH)

### Thermischer Verwendungsbereich

Für dauerhafte Anwendungen kann PVDF im Temperaturbereich von -60 bis +140 °C empfohlen werden.

### Chemische Beständigkeit

Hervorzuheben sind gute Verträglichkeiten gegenüber anorganischen Säuren und Laugen, Kohlenwasserstoffen, Alkoholen und halogenhaltigen Lösungsmitteln. Die Beständigkeit gegenüber Halogenen insbesondere gegenüber Brom ist eine der bedeutsamsten Eigenschaften dieses Fluorkunststoffes. Demgegenüber sollte PVDF zur Anwendung mit heißer Salpetersäure, basischen Aminen und geschmolzenen bzw. komplex gelösten Alkali- und Erdalkalimetallen infolge chemischen Angriffs nicht in Betracht gezogen werden. Stark polare Lösemittel wie Aceton und Ethylacetat verursachen eine Quellung von PVDF, ohne allerdings die mechanischen Eigenschaften nachhaltig zu beeinflussen.

### Mechanische Eigenschaften

Neben guter Formbeständigkeit zeichnet sich PVDF durch hohe Abriebfestigkeit und günstige Antihafteigenschaften aus. Zur Einhaltung von Maßtoleranzen sind mechanische Nachbearbeitungen von Flächen insbesondere von Dichtflächen und Passungen mit geeigneten Techniken möglich.

### Sonstige Eigenschaften

Mit PVDF lassen sich ausgezeichnete Alterungs- und Witterungsbeständigkeiten erzielen. Die physiologische Unbedenklichkeit ist ein zusätzliches positives Merkmal dieses Fluorkunststoffes.

### Verarbeitungsmethoden

Vorrangig werden die Verfahren der elektrostatischen Pulverbeschichtung und die Wirbelsintertechnologie für die Beschichtung von Bauteilen herangezogen. Hierbei werden gut haftende, glatte und porenfreie Oberflächen auf typischerweise metallischem Unterbau erzielt. Demgegenüber bleiben die Extrusionsverfahren und die Spritzgußverarbeitung der Fertigung von kompletten Kunststoffteilen vorbehalten. Flächenverklebte PVDF-Platten haben ihre praktische Bedeutung im Tank- und Behälterbau.

Eine Besonderheit stellt das sogenannte "Wet-Lay-Up"-Verfahren dar, wobei zusätzlich zur Pulverbeschichtung eine Glasgewebeverstärkung aufgebracht wird. Dies führt zu einer Erhöhung der Materialwandstärken auf 1,2 mm und mehr und somit zu einer Verminderung der Permeationsrate. Gleichzeitig erfolgt eine mechanische Verstärkung des Kunststoffes bei gesteigerter Elastizität mit dem Effekt einer höheren Unterdruckbeständigkeit.

### Schweißbarkeit

Als Thermoplast ist PVDF der Heißgas-Schweißtechnik zugänglich. Die besten Ergebnisse werden unter Schutzgas erzielt. Mit entsprechender Schweißausrüstung sind kleinere Schadensstellen ohne Ausbau des Teiles vor Ort reparierbar. Großflächige Schäden lassen sich mit Hilfe der Plattentechnologie bzw. durch Entschichten und Neubeschichtung beheben.

Die einfache Handhabung und umfangreiche anwendungstechnische Vorteile haben PVDF zu einem wichtigen Werkstoff insbesondere in industrieller Nutzung werden lassen:

### Chemische Industrie und Pharmazie

Beschichtung von Behältern, Rohren und weiterer Anlagenbauteile speziell für den Einsatz von Brom und Bromverbindungen. Ferner Abscheider, Membranen, Filter, Gehäuse und Wannen im Umgang mit aggressiven Chemikalien sowie unter Berücksichtigung hoher Reinheitsforderungen.

### Elektroindustrie

Kabel-Isolierungen und Umwandlungen, Schrumpfschläuche und Filamente.

Typische Eigenschaften		Testmethode	Einheit	Wert
mechanisch	Dichte	DIN 53 479	g/cm <sup>3</sup>	1,76 - 1,79
	Reißfestigkeit	DIN 53 455	MPa	49 - 54
	Reißdehnung	DIN 53 455	%	200 - 450
	Biegefestigkeit	DIN 53 452	MPa	60 - 70
	Zug-E-Modul	DIN 53 457	MPa	550 - 950
	Härte	DIN 53 505	Shore D	65 - 70
thermisch	Reibungskoeffizient (dyn.)	(Vergleich zu Stahl)		0,14 - 0,17
	Schmelzbereich	DTA / DSC	°C	140 - 160
	Lin. Ausdehnungskoeffizient (50 - 85 °C)	DIN 53 752	°K <sup>-1</sup>	16 · 10 <sup>-5</sup>
	Wärmeleitfähigkeit	DIN 52 612	W/m · °K	0,16
elektrisch	Thermischer Anwendungsbereich		°C	- 60 bis + 130
	Dielektrizitätskonstante	DIN 53 483	10 <sup>4</sup> Hz	7 - 9
	Spez. Durchgangswiderstand	DIN VDE 0303 Teil 30 IEC 93	Ω · cm	2 · 10 <sup>14</sup>
allgemein	Oberflächenwiderstand	DIN VDE 0303 Teil 30 IEC 93	Ω	10 <sup>13</sup>
	Wasseraufnahme	DIN 53 472	%	> 0,04
	Flammwidrigkeit	UL 94		94 V-O
	Verarbeitungswandstärke		μ	300 - 1000