

Total Quality Management für High-Purity Kunststoff-Rohrsysteme

Dipl.-Ing. (FH) Stephan Füllgrabe

FRANK GmbH
64546 Mörfelden

1 Einleitung und Festlegung der Qualitätskriterien

Für hochreine Kunststoff-Rohrsysteme, die in der Regel als Versorgungssysteme für Reinstmedien eingesetzt werden, gelten sehr hohe Qualitätsmaßstäbe. Nur so lassen sich Folgekosten, hervorgerufen durch fehlerhafte Endprodukte, Produktionsausfälle (aufgrund mangelnder Betriebssicherheit), verspätete Produktionsanläufe aufgrund ungenügender Reinheitswerte etc., vermeiden.

Die Qualität eines Rohrsystems wird von verschiedenen Einflußgrößen bestimmt, die bereits bei der Herstellung des Rohmaterials ansetzen. Deswegen empfiehlt sich die ganzheitliche Betrachtung vom Rohstoff bis zum fertigen Rohrsystem – *Total Quality Management* (TQM). Die Qualitätskette vom Hersteller des Rohstoffs, über die Produktion der Komponenten bis hin zur Installation und Inbetriebnahme darf nicht unterbrochen werden! Eine Verknüpfung der einzelnen Qualitätsmanagementsysteme (QM-Systeme) von den in der Qualitätskette integrierten Unternehmen zu einem einzigen QM-System läßt sich nur durch gute Kommunikationswege bzw. intensiven Erfahrungsaustausch vollziehen. Dadurch können Fehlerquellen schneller lokalisiert und der gesamte Prozeß kontinuierlich verbessert werden.

Für jedes Anwendungsgebiet müssen die Qualitätskriterien neu definiert werden. So sind die Anforderungen an ein Abwasserrohrsystem (hohe Flexibilität, Widerstand gegen Wurzeinwuchs etc.) ganz andere als bei HP-Rohrsystemen (günstiges Auslaugverhalten, glatte Innenoberfläche usw.). Zur Festlegung der Qualitätskriterien empfiehlt sich, diese aus dem Ziel abzuleiten.

Das Ziel für hochreine Rohrsysteme heißt:

„Das Durchflußmedium muß ohne maßgebliche Veränderung der Reinheit bzw. Zusammensetzung und sicher vom Herstellungsort oder Zwischenlager zum Verbraucher gefördert werden.“

- Die Reinheit eines Mediums wird direkt beeinflusst durch die Reinheit des Rohrsystems und damit jeder einzelnen Komponente und durch die Montage bzw. Installation des Systems. Beide Einflüsse müssen minimiert werden, wobei Auslaugverhalten bzw. Partikelemission und Keimzahl bzw. Keimwachstum im Vordergrund stehen.
- Die Betriebssicherheit des Gesamtsystems hingegen wird bestimmt durch den verwendeten Werkstoff, die Komponentenproduktion, die Installation bzw. Montage und durch die Prozeßkontrolle nach Inbetriebnahme.

Unter die Formulierung „in die Qualitätskette integrierte/involvierte Unternehmen“ fallen:

- ◆ Rohstoffhersteller,
- ◆ Komponentenhersteller und -lieferanten,
- ◆ Hersteller von Vorprodukten,
- ◆ Betreiber/Hersteller des Endproduktes,
- ◆ Planungsunternehmen,
- ◆ Installations-/ Montageunternehmen.

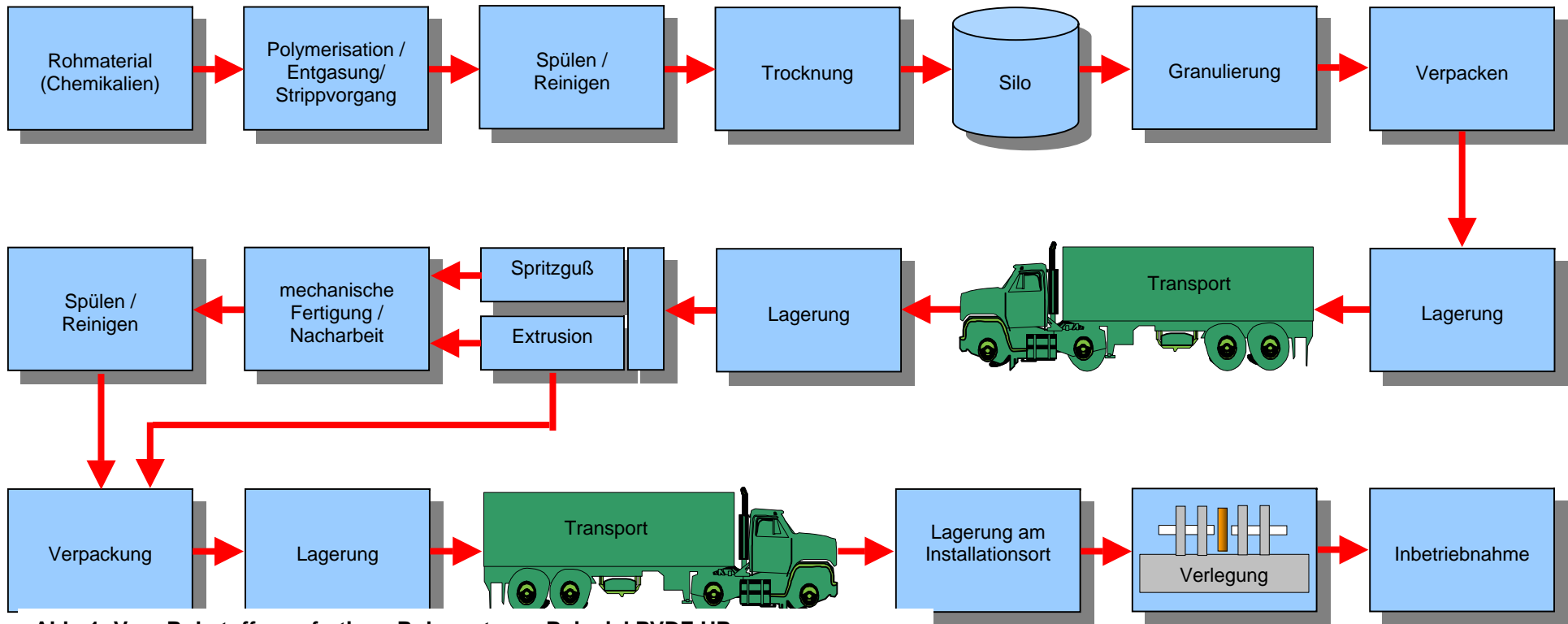


Abb. 1: Vom Rohstoff zum fertigen Rohrsystem – Beispiel PVDF-HP

Für die Planung eines HP-Rohrsystems gilt es, alle beteiligten Unternehmen frühzeitig mit einzubeziehen, um die Vorteile der in allen Unternehmen parallel laufenden Produktentwicklungen optimal ausnutzen zu können. Darunter fallen sowohl Material- als auch Prozeßentwicklungen.

In den nachfolgenden Ausführungen werden die beiden Hauptqualitätskriterien Reinheit und Festigkeit eines HP-Systems näher betrachtet und einige Einflußmöglichkeiten der beteiligten Unternehmen erörtert, wobei in der Reihenfolge der Prozeßkette vorgegangen wird. Es wurde sich auf die im Reinstmediensektor weit verbreiteten Materialien PP, PVDF und ECTFE konzentriert, jedoch lassen sich unter Berücksichtigung von materialspezifischen Erfordernissen auch Parallelen zu anderen Werkstoffen ziehen.

2 Granulatherstellung / Einfluß des Rohstoffherstellers

Großen Einfluß sowohl auf die Reinheit als auch auf die mechanischen Eigenschaften einer Bauteilkomponente hat das Herstellverfahren des Rohstoffs bzw. die Vorkehrungen, die zum Erhalt der Eigenschaften getroffen werden.

2.1 Reinheit

Produktionsbedingte Kontaminationen können minimiert werden, wenn Schmelze und Granulat führende Anlagen-, Rohrleitungsteile sowie Silos etc. in hochwertigen Edelstählen oder mit Polymerbeschichtungen ausgeführt sind. Weiterhin sollten die einzelnen Prozeßschritte abgeschirmt unter Reinraumbedingungen ablaufen. Dennoch auftretende Verunreinigungen werden weitgehend durch Spül- und Reinigungsvorgänge eliminiert. Um den Herstellungsprozeß weiter zu verbessern, werden Auslauguntersuchungen am Granulat bzw. dessen Vorprodukten vorgenommen, so daß die einzelnen Prozeßschritte gezielt optimiert werden können. Kontrollen bezüglich der im Granulat enthaltenen flüchtigen Bestandteile bzw. Monomeren, die nicht in die Polymerkette eingebunden sind, gehören ebenfalls zum Standard.

Mit am weitesten ist die Entwicklung bei PVDF-HP-Granulat, die in der weiten Verbreitung im Reinstmediensektor (Elektronikindustrie, Pharmazie und Biotechnologie) begründet ist. So werden z.B. bei der Herstellung von Solef 1008 oder Solef 1010 (Werkstoffbezeichnungen der Fa. Solvay) die nachfolgend aufgeführten Kontrollschritte zusätzlich vorgenommen:

- ◆ Die Ursprungschemikalien werden bereits auf ihre Reinheit hin geprüft.
- ◆ Alle Anlagenteile bestehen aus veredelten Stählen und sind weitgehend tottraumfrei.
- ◆ Sämtliche Produktionseinheiten laufen abgeschirmt unter Reinraumklasse 10.000 ab.
- ◆ Die verwendete Prozeßluft (z.B. zur Granulattrocknung) entspricht Reinheitsklasse 10.000.
- ◆ Die Verpackung erfolgt ebenfalls im Reinraum und ausschließlich in Fässern mit zusätzlicher Folienverpackung.



Abb. 2: Verpackung Granulat

Nicht bei allen Materialien wird dieser erhöhte Produktionsaufwand betrieben, z.B. wird Polypropylengranulat für HP-Anwendungen sowohl in pigmentierter als auch in Naturausführung unter „normalen“ Produktionsbedingungen hergestellt. Die HP-Produktion be-

ginnt dann erst mit der Weiterverarbeitung zum Halbzeug. Dadurch werden im Granulat enthaltene Verunreinigungen bis zum Rohrsystem durchgeschleust und führen zu einem nicht optimalen Auslaugverhalten (Kationen).

Allgemeine Bemerkung

Pigmente und andere Zuschlagsstoffe werden dazu verwendet, spezifisch das Eigenschaftsbild zu verbessern. Je nach Anwendungsfall muß die Rezeptur überprüft werden. Da PVDF als „Naturware“ verarbeitet wird, entfällt dieser Punkt für PVDF. Bei dem jedoch ebenfalls gebräuchlichen PP-grau-HP sind Zusätze enthalten, die dazu führen, daß das Auslaugverhalten der einzelnen Komponenten herstellerabhängig ist. Beispiel Auslaugverhalten PPR und PPH – beides sind Polypropylentypen, wie sie in der „normalen“ industriellen Anwendung gebräuchlich und zugelassen sind. Messungen zeigen, daß PPR in diesem Punkt besser abschneidet (siehe Abb. 3). TQM heißt auch, diesen Punkt bereits bei der Planung (Auswahl der Materialtype) zu prüfen.

2.2 Qualitätskontrollen zur Überwachung der mechanischen, thermischen und rheologischen Eigenschaften

Um die Eigenschaften des Rohstoffs gewährleisten zu können und damit auch die weitere Verarbeitbarkeit, werden umfangreiche Kontrollen am Granulat durchgeführt. Die nachfolgend aufgeführten Festigkeitswerte werden nach genormten Untersuchungsmethoden in der Regel an gespritzten Probekörpern ermittelt:

- ◆ Elastizitätsmodul
- ◆ Streckspannung
- ◆ Streckdehnung
- ◆ Reißfestigkeit
- ◆ Reißdehnung
- ◆ Biegespannung
- ◆ Kugeldruckhärte
- ◆ Schlagzähigkeit
- ◆ Kerbschlagzähigkeit
- ◆ Gleiteigenschaften (Poisson-Zahl)

Je besser diese Eigenschaften sind, um so hochwertiger können die aus dem Granulat gefertigten Folgeprodukte hergestellt werden. Damit hat die Qualität des Rohstoffs einen wesentlichen Einfluß auf die Druckbelastbarkeit, Dichtigkeit von mechanischen Verbindungen, Bauteilfestigkeit bei Wechselbeanspruchung und schnelle sowie langsame Rißfortpflanzung in einem Rohrsystem.

Weiterhin müssen die thermischen und rheologischen Eigenschaften regelmäßig geprüft werden, um neben der Temperaturbelastbarkeit, die materialschonende Weiterverarbeitung zum Spritzguß- bzw. Extrusionsteil, die Schweißseignung und damit die erzielbare Schweißnahtfestigkeit zu gewährleisten. Ein Maß für die Verschweißbarkeit ist der MFR-Wert, bei dem die Fließfähigkeit der Schmelze bei definierter Kraft- und Temperatureinwirkung gemessen wird. In den gültigen Schweißrichtlinien (DVS 2207) sind MFR-Grenzwerte für jedes Material festgelegt, innerhalb derer die ordnungsgemäße Verschweißung möglich ist.

3 Komponentenherstellung

3.1 Allgemeines zur Reinheit von Rohwerkstoffen

Um die Reinheit eines Produktes zu beurteilen, bedarf es verschiedener Untersuchungen, wobei die Messung des Auslaugverhaltens eines Werkstoffes zu den wichtigsten gehört. Die beim Auslaugtest bzw. Spülvorgang freiwerdenden Ionen, TOC (Total Organic Compounds), Partikel und Keime können insbesondere bei der Produktion von elektronischen Mikrobauelementen zu Produktionsfehlern führen, wenn sich diese in die Mikrostrukturen setzen und z.B. Spannungsfehler provozieren, die zu Produktionsausschuß führen.

Grundsätzlich zeigen die einzelnen Kunststoffe unterschiedliche Auslaugcharakteristiken, die im wesentlichen von der Zusammensetzung der Polymere bzw. den zur Verbesserung der Grundeigenschaften zugesetzten Stoffen abhängen. So ist z.B. der Fluoranteil aufgrund der Molekularstruktur bei PVDF oder E-CTFE deutlich höher als bei PPR. Andererseits kann man ebenfalls deutliche Vorteile der Fluorpolymere bei der Kationen- und Anionenmessung feststellen. Wichtig ist, daß nur Meßwerte verglichen werden, die der gleichen Versuchsanordnung entstammen, da kein direkt quantifizierbarer Zusammenhang zwischen Auslaugwerten besteht, die einer unterschiedlichen Apparatur, unterschiedlichen Medien (Wasser, Chemikalien) oder anderen Temperaturen entstammen. Die Materialfrage wird durch das erlaubte Maß an Verunreinigungen beantwortet, die wiederum vom Prozeß bzw. in erster Linie vom herzustellenden Produkt abhängig sind.

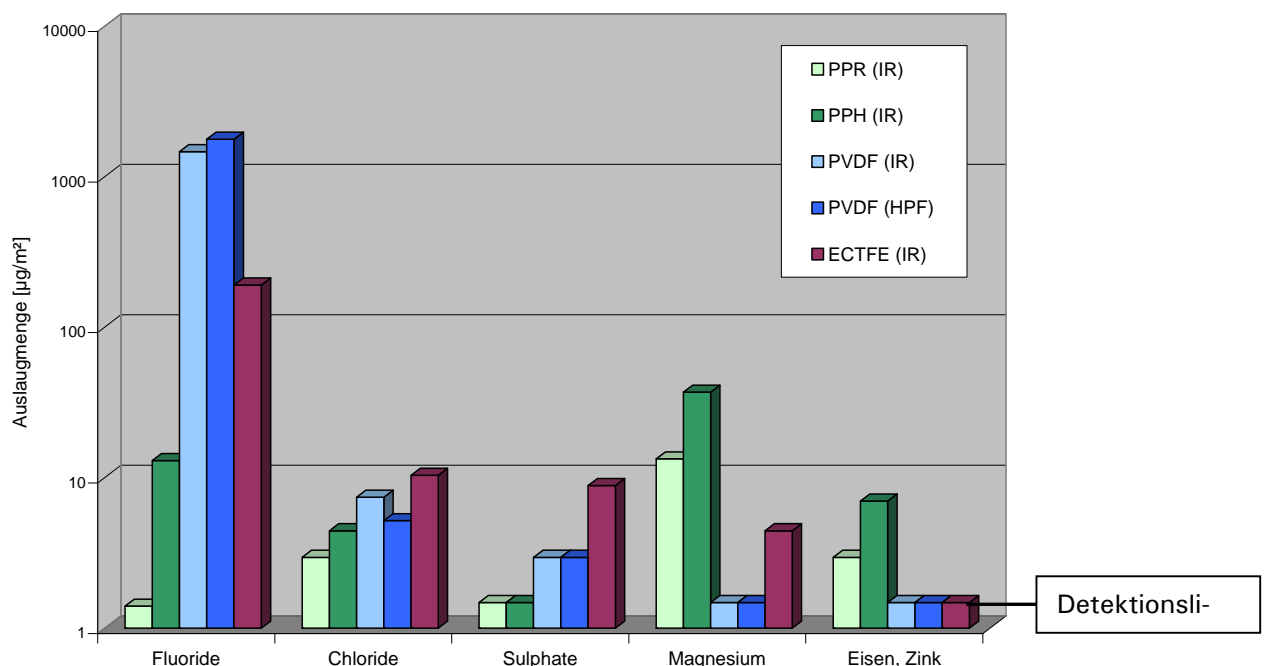


Abb. 3 a: Auslaugverhalten (Ionen) in Abhängigkeit von Material und Schweißtechnik nach SEMASPEC-Standard, 20°C, 7 Tage

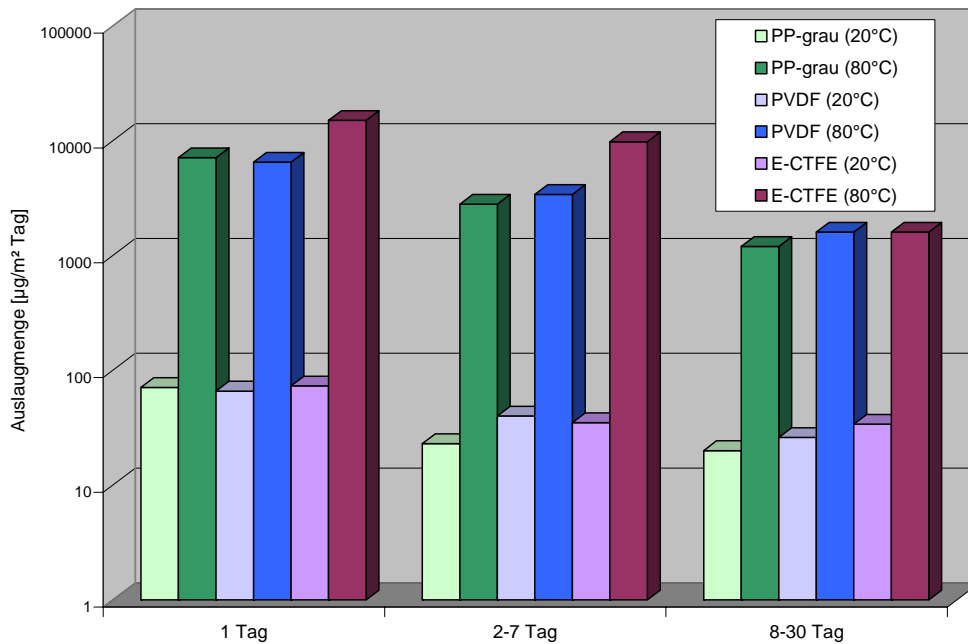


Abb. 3 b: Auslaugverhalten (TOC) in Abhängigkeit von Material und Temperatur nach „Japanese method“

3.2 Einfluß der Komponentenherstellung auf die Reinheit

Der Einfluß des Komponentenherstellers ist dadurch, daß dieser in der Regel als Systemlieferant (Hersteller von Rohren, Formteilen, Halbzeugen, Ventilen, Meßtechnik und Schweißtechnik) auftritt, wahrscheinlich am größten. Die Entwicklung von neuen Materialien, Verarbeitungs- und Verbindungstechniken legt den Grundstein für alle weiteren Maßnahmen und Möglichkeiten.

Stand der Technik ist es heute, daß mit Beginn der Verarbeitung wesentliche Instrumente greifen, um eine HP-Komponente mit maximaler Reinheit herzustellen. Folgende Voraussetzungen sind dabei zu erfüllen:

- ◆ Produktion von Rohren, Formteilen und Armaturenkörpern im Reinraum Klasse 100 (RR-Kl.100), räumlich getrennt von anderen Produktionszweigen u.a. durch den Einsatz von Material- und Personalschleusen.
- ◆ Vermeidung von Materialabrieb bei direkt mit dem Produkt in Berührung kommenden Maschinenteilen innerhalb des Spritzguß- oder Extrusionsprozesses (z. B. durch Verwendung von spez. Legierungen, durch Oberflächenveredelung oder Beschichtung).
- ◆ Spanloses Ablängen und HP-gerechtes Verpacken von Rohren direkt im Anschluß an die Rohrproduktion ebenfalls im RR-Kl.100.
- ◆ Verpackung der Rohre mit Folienbeutel und Kappen an den Enden sowie mit einer zweiten Folienverpackung und zusätzlichem Schutzrohr.
- ◆ Werkzeugwechsel an der Spritzgußmaschine außerhalb des Reinraumes. So können zusätzliche Kontaminationen vermieden werden.
- ◆ Spülung/Reinigung von Spritzgußteilen, die mechanisch nachbearbeitet werden, mit UPW (TOC < 10 ppb, UPW-Temperatur 70°C, > 18 Mohm, Ultraschallbäder etc.) im RR-Kl. 100. Eine mechanische Nacharbeit ist z.B. zur Entfernung des Angusseses notwendig.

- ◆ Spülung/Reinigung von Sonderformteilen, die aus gespritzten oder extrudierten Vorprodukten hergestellt werden mit UPW (TOC < 10 ppb, UPW-Temperatur 70°C, > 18 Mohm, Ultraschallbäder etc.) im RR-Kl. 100.
- ◆ Verpackung von gespülten/gewaschenen Teilen mit doppeltem Folienbeutel aus PE/PA im RR-Kl. 100. Füllung des inneren Beutels mit reinem Stickstoff.

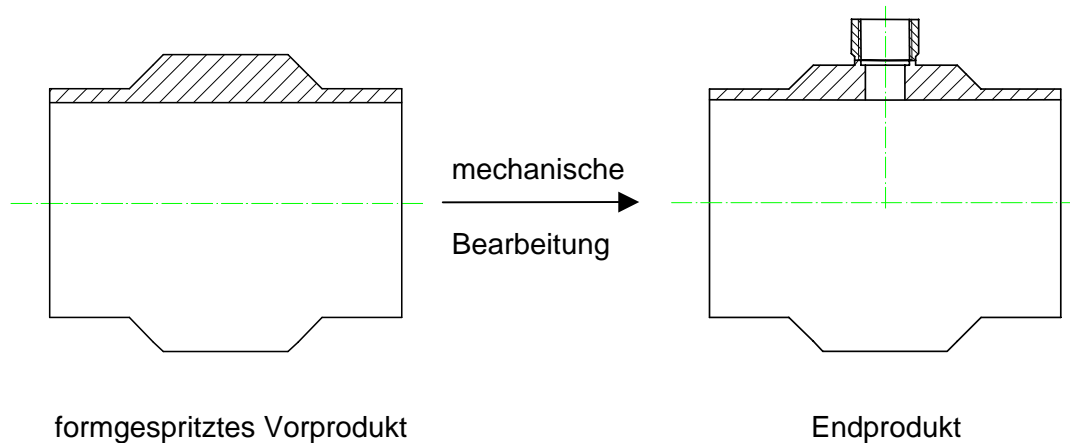


Abb. 4: Sonderformteil (Instrumentenformteil mit Gewindeanschluß)

Ein wesentlicher Punkt der Einflußnahme liegt auch in der herstellbaren Oberflächenqualität der Bauteile, die Auswirkung auf das Anhaften von Verunreinigungen hat. Zum einen hängt die Qualität der Produkte von den einzelnen Produktionswerkzeugen (Extrusionsdüse, Spritzgußwerkzeug, Zerspanungswerkzeuge) ab und zum anderen von der Produktionssteuerung (z.B. Extrusionsgeschwindigkeit).

Da das Abbildungsvermögen einer Polymerschmelze jedoch materialspezifisch ist, gibt es zwischen den verschiedenen Kunststoffen Unterschiede, die sich in Rauigkeitswerten (mittlere Rauhtiefe Ra nach DIN 4768) ausdrücken lassen:

	PVDF	E-CTFE	PP
Rohr (d 20-225 mm)	0,25	0,25	0,4 - 1,5
Rohr (d 250-315 mm)	0,5	0,5	
Gespritzte Formteile und Ventilkörper bis d 225 mm	0,38	0,38	0,4 - 1,5
Gespritzte Formteile und Ventilkörper ab d 225 mm	0,5	0,5	

Abb. 5: max. Rauigkeitswerte

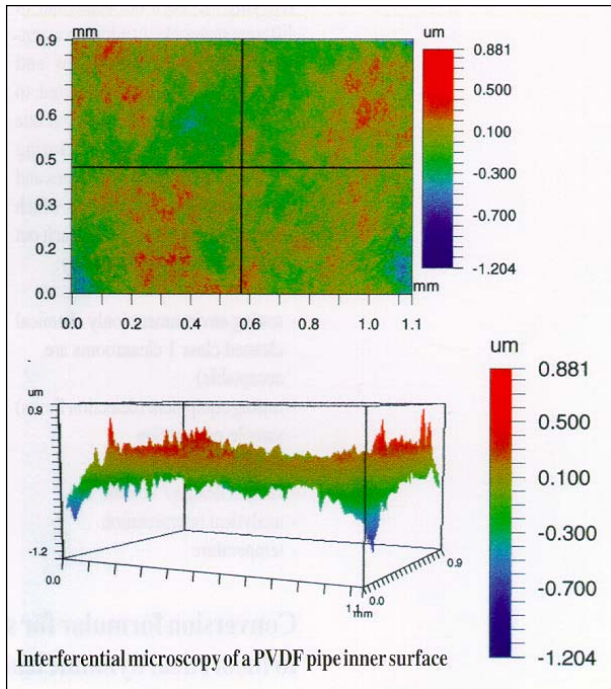


Abb. 6: Rauigkeitsmessung/Profil



Abb. 7: Rohrextrusion im Reinraum



Abb. 8: Verpackung Formteil

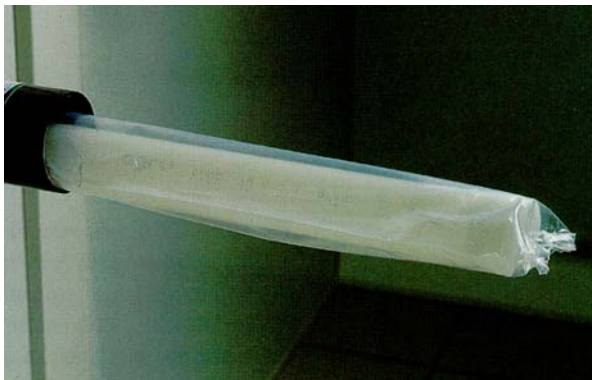


Abb. 9: Verpackung Rohr

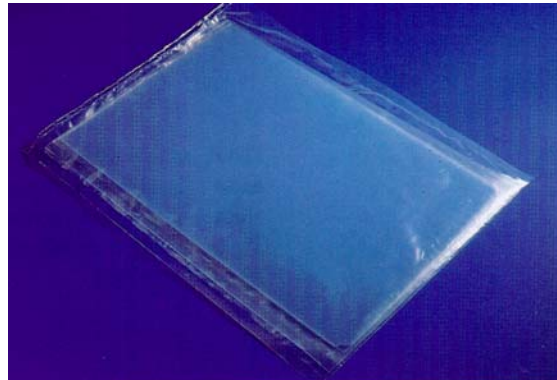


Abb. 10: Verpackung Platte

3.3 Wichtige Instrumente der Qualitätssicherung

3.3.1 Eingangsprüfung

Jede Rohstofflieferung muß vor der Übernahme einer Eingangsüberprüfung durch das Labpersonal unterzogen werden. Dabei werden die wesentlichen Qualitäts- und Verarbeitungsmerkmale (z.B. Feuchte, Schmelzindex, Reinheit) überprüft und mit den festgelegten Lieferspezifikationen verglichen. Nur wenn alle Prüfungen gemäß dem vorgegebenen Prüfplan durchgeführt wurden und die gemessenen Werte innerhalb der zulässigen Toleranzgrenzen liegen, ist die Ware zu übernehmen. Bei Abweichungen der Meßwerte zu den Lieferspezifikationen wird die Ware unverzüglich zurückgesandt.

3.3.2 Produktionsbegleitende Prüfungen

Während durch die beschriebene Eingangskontrolle weitestgehend sichergestellt werden kann, daß die angelieferten Rohstoffe den geforderten Qualitätsstandards entsprechen, müssen während und nach der Produktion ebenfalls eine Vielzahl von Prüfungen durchgeführt werden. Dies beginnt bei produktionsbegleitenden Prüfungen an den Maschinen, geht über stichprobenartige Kontrolle der gefertigten Serien bis hin zu zerstörungsfreien und zerstörenden Laborprüfungen.

Diese Prüfungen sind im einzelnen:

- ◆ Röntgenprüfung (Formteile),
- ◆ Warmlagerungsversuche,
- ◆ Maßkontrollen (Durchmesser, Wanddicke und Ovalität),
- ◆ Kontrolle der Oberfläche,
- ◆ Prüfung der Homogenität (Mikrotomschnitte),
- ◆ Überprüfung der Kennzeichnung,
- ◆ Prüfung der Baulänge,
- ◆ Kurzzeitversuche (Innendruck- und Berstversuche),
- ◆ Langzeitversuche (Innendruck- und Berstversuche),
- ◆ Oberflächenrauhigkeitsmessung,
- ◆ Bestimmung der thermischen Stabilität (OIT),
- ◆ Dichtemessung,
- ◆ MFR-Prüfung am produzierten Teil (Rohr und Formteil),
- ◆ Endkontrolle (bei Formteilen nach mechanischer Bearbeitung),
- ◆ Kontrolle der Verpackung.

Alle erforderlichen Prüfschritte müssen in Prüfplänen (Bestandteil des QM-Handbuches) festgelegt sein, wobei neben den durchzuführenden Tätigkeiten auch die entsprechende Dokumentationsform und die jeweilige Verantwortlichkeit für die Prüfungen angegeben sein müssen. Damit ist sichergestellt, daß die Produktionsprozesse regelmäßig überprüft und durch Abweichungen von den in der Werksnorm festgelegten Kennwerten eventuelle Fehlerquellen festgestellt werden können. Darüber hinaus wird durch eine hohe Prüfdichte sichergestellt, daß eine Abweichung bestimmter Abmessungen oder technischer Eigenschaften der Produkte frühzeitig erkannt und fehlerhafte Produkte ausgesondert werden können. Die im Text angeführte Röntgenuntersuchung wird leider noch nicht grundsätzlich von allen Her-

stellern in Form einer regelmäßigen produktionsbegleitenden Prüfung angewandt. Deswegen wird nachfolgend noch einmal intensiver auf diesen Punkt eingegangen.

Die Röntgenuntersuchung hat insbesondere bei spritzgegossenen Teilen eine sehr hohe qualitative Aussagekraft über Homogenität und Festigkeit, wie sie von keiner zerstörungsfreien Prüfmethode erreicht wird. Fehl- bzw. Hohlstellen können problemlos im Bauteil lokalisiert werden. Weiterhin kann bei Formstücken mit Einlegeteilen, wie z.B. PP-Losflanschen mit Stahleinlage, gleichzeitig die Lage des Einlegeteils kontrolliert werden. Die Röntgenprüfung sollte vom Bedienpersonal und der Qualitätssicherung während des Produktionsprozesses von spritzgegossenen Formteilen mehrfach am Tag durchgeführt werden, so daß auf Qualitätsveränderungen umgehend reagiert werden kann. Die Prüfhäufigkeit ist bei kritischen Formteilen, wie z.B. Vorschweißbunden in großen Nennweiten, zu erhöhen. Werden an einem Teil in der Röntgenprüfung Lunker festgestellt, so müssen alle Formteile der Serie auf Lunker hin untersucht (100%-Kontrolle) und fehlerhafte Teile aussortiert werden.

3.3.3 Werkszeugnisse

Sämtliche internen Aufzeichnungen über die serienbezogenen Prüfungen müssen gesammelt werden, so daß sie zur Ausstellung der Werks- bzw. Abnahmeprüfzeugnisse herangezogen werden können. Bei Anwendungen im Reinstmediensektor ist es üblich, die Qualität mit Abnahmeprüfzeugnissen 3.1 B nach EN 10204 zu dokumentieren. Dadurch hat der Anwender die Sicherheit, daß sämtliche ausgelieferten Produkte den erforderlichen Standards gemäß einschlägiger Produktnormen entsprechen und zu jeder ausgelieferten Serie alle Ergebnisse der internen Produktprüfungen explizit vorliegen. Diese Dokumente sollten für einen Zeitraum von mindestens 10 Jahren aufbewahrt werden, wodurch jederzeit eine nachträgliche Zeugnisausstellung sichergestellt werden kann.

Damit eine Zuordnung der einzelnen Werkszeugnisse zu den jeweiligen Produktionsserien der Rohre und Formteile möglich ist, wurde von vielen Formteil- und Rohrherstellern bereits seit Jahren ein Seriennummernsystem aufgebaut. Dadurch ist eine lückenlose Rückverfolgbarkeit sämtlicher Parameter bis hin zur Rohstoffcharge und den zugehörigen Prüfergebnissen der Rohstoffhersteller sichergestellt.

4 Installation und Verlegetechniken

Die Verlegung hat als letztes Glied in der Prozeßkette vor der Inbetriebnahme ebenfalls großen Einfluß auf die Qualität des Rohrsystems und wird bestimmt durch das gewählte Schweißverfahren, durch die Verlegetechnik, durch die Installationsumgebung und durch das Verlegepersonal.

Für „normale“ industrielle Anwendungen gibt es seit langem umfangreiche Normen und Richtlinien, die sowohl die Verbindungstechnik als auch Installation und Druckprüfung regeln. Auch die Qualifikation des Verlegepersonals und der Schweißmaschinen wird z.B. vom DVS geregelt. Die Ausbildung von geprüften Kunststoffschweißern hat so z.B. gemäß DVS 2212 Teil 1 Untergruppe 18 zu erfolgen. Für Reinstmediensysteme hingegen gilt es, besondere Vorkehrungen zu treffen, um Reinheit und Festigkeit des Systems zu gewährleisten. Neben den speziell für diesen Bereich entwickelten Schweißverfahren, die noch nicht in aktuellen Richtlinien berücksichtigt sind, bedarf insbesondere die Installationsumgebung und das Handling besonderer Aufmerksamkeit.

4.1 Schweißverfahren und Qualitätskontrollen

Zwar sind die reinstmediengerechten Schweißverfahren (IR, HPF...) noch nicht in veröffentlichten Richtlinien festgehalten (befinden sich noch im Entwurfstadium), jedoch bilden anerkannte Prüfstellen bereits Kunststoffschweißer für diesen Anwendungsbereich aus. Weiterhin bieten Hersteller Maschineneinweisungen bzw. Schulungen an, bei denen noch einmal intensiv auf die Verarbeitung mit der Maschinenteknik eingegangen wird. Bei einer solchen „Werksschulung“ sollten auch Probenähte erstellt werden, die im späteren Verlauf zu kontrollieren und auf mechanische Belastbarkeit zu testen sind. Das Werk stellt dann in der Regel eine Teilnahmebescheinigung aus, in der auch eine Aussage zu den abgegebenen Prüfschweißnähten enthalten ist. Als geeignete Schweißverfahren gelten die, die neben einer ausreichenden Schweißnahtfestigkeit keine zusätzlichen Kontaminationen verursachen und eine möglichst geringe Wulstausbildung zeigen.

- ◆ Zusätzliche Kontaminationen können bei der konventionellen Stumpf- oder Muffenschweißtechnik schnell durch den Kontakt mit Heizelementen entstehen, wenn die PTFE-Beschichtung des Heizelementes beschädigt ist oder Rückstände von früheren Schweißvorgängen nicht vollständig entfernt wurden, was im übrigen nur schwer möglich ist.
- ◆ Durch ein ungünstiges Wulstbild (großer Innenwulst, Hinterschneidungen etc.) kann aufgrund von Störungen im Strömungsverlauf (Toträume) die Möglichkeit zu Keimbildung/Keimwachstum geschaffen werden.

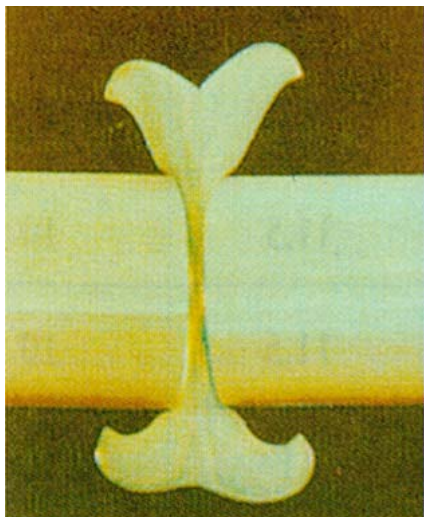


Abb. 11 a: ungünstiges Wulstbild
PVDF-Stumpfschweißnaht

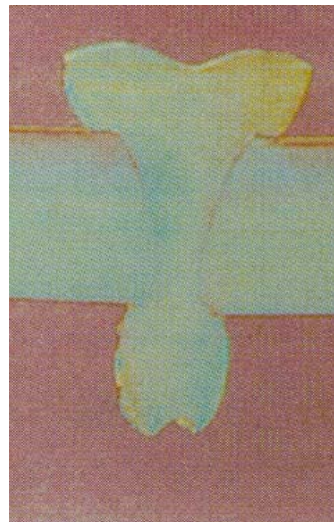


Abb. 11 b: günstiges Wulstbild
PVDF-IR-Schweißnaht



Abb. 11 c: günstige Nahtform
wulstfrei (HPF - ohne Ballon)

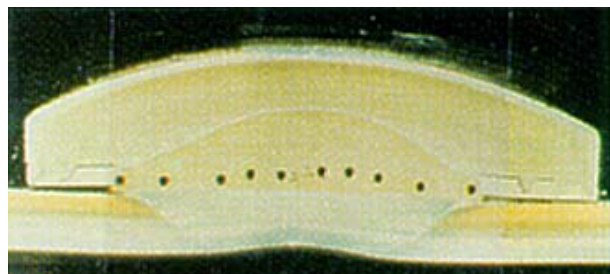


Abb. 11 d: günstige Nahtform
wulstfrei (HPF - mit Ballon)

Die Schweißverbindung entscheidet letztendlich auch über Beanspruchbarkeit des gesamten Rohrsystems. Die Qualität wird vom Material, der Maschine und im wesentlichen vom Hand-

ling des Montagepersonals bestimmt. Die Qualitätskontrolle ist in erster Linie durch den Schweißer selbst, direkt im Anschluß an den Schweißvorgang durchzuführen. Es empfiehlt sich aber in jedem Fall für den Endkunden, wenn dieser einen Qualitätsbeauftragten (QB) für die Überwachung der durchzuführenden Montagen einsetzt. Dieser sollte über entsprechende Sachkenntnis verfügen und auch für die Zulassung von Schweißern für die betreffende Baustelle zuständig sein. Empfohlen wird folgende Vorgehensweise:

- ◆ Es ist zu kontrollieren, ob es sich bei den Werkern um geprüfte Schweißer nach DVS 2212 Teil 1 handelt und diese über ausreichende Kunststoffkenntnisse verfügen.
- ◆ Prüfung, ob das Montagepersonal eine Bestätigung des Systemherstellers nachweisen kann, daß es auf den betreffenden Maschinen geschult wurde. Die Schulung kann auch unabhängig von Instituten (z.B. SKZ) durchgeführt werden, die entsprechende Lehrgänge anbieten.
- ◆ Überprüfung der Schweißmaschinen (automatische Protokollierfunktion?).
- ◆ Vor Baustellenbeginn sind unter Aufsicht des QB Testschweißnähte in der betreffenden Schweißtechnik und des in Frage kommenden Materials zu erstellen.
- ◆ Während der Montage sind vom QB Stichproben durchzuführen, in dem wahllos Schweißnähte ausgewählt und geprüft werden.
- ◆ Nach Abschluß der Baustelle ist die Vollständigkeit und Richtigkeit der Dokumentation zu prüfen. Die Dokumentation muß in jedem Fall folgende Dinge enthalten:
 - Schweißerzulassungen, Fähigkeitsnachweise,
 - Zulassungen des Installationsbetriebes,
 - Werkszeugnisse, möglichst nach DIN EN 10204 3.1 B,
 - Isometrie mit eingetragenen Schweißnähten (numeriert),
 - Schweißprotokolle,
 - Protokoll der Druckprobe,
 - Abschrift des Baustellenhandbuches .

Moderne Schweißmaschinen bieten die Möglichkeit, daß sämtliche Schweißparameter und Umgebungseinflüsse protokolliert werden:

- ◆ Umgebungstemperatur
- ◆ Umgebungsbedingungen (Reinraum?)
- ◆ Dimension
- ◆ Material
- ◆ Schweißtemperatur
- ◆ Fügedruck
- ◆ Fügedruckaufbauzeit
- ◆ Abkühlzeit
- ◆ Schweißeridentifikation
- ◆ Maschinentyp
- ◆ Maschinen Nr.

Weiterhin bieten solche Maschinen die Möglichkeit Etiketten zu drucken, auf denen die wesentlichen Parameter vermerkt sind und die zur Kennzeichnung der Schweißnaht und/oder der Isometrie dienen. Die Etiketten müssen reinraumgerecht und IPA-beständig sein.

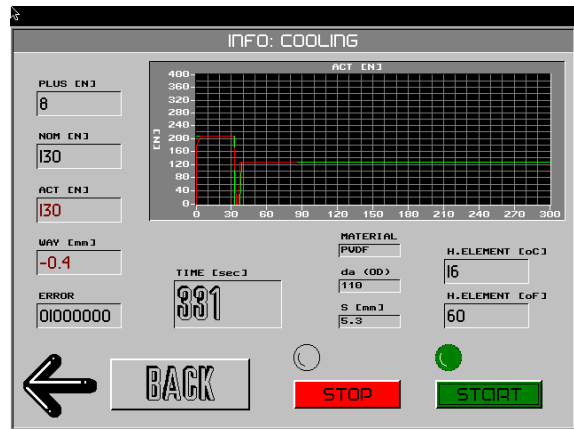


Abb. 12 a, b: Vollautomatische IR Schweißmaschine Typ Agru SP 110 mit automatischer Parameteraufzeichnung

4.2 Installationsumgebung

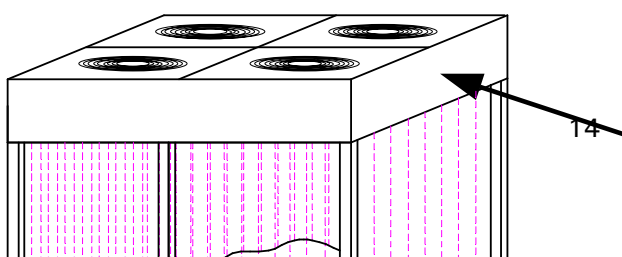
Bei der Entstehung von Produktionsanlagen laufen oftmals die verschiedensten Installationsvorgänge (Elektroinstallation, Stahlarbeiten usw.) parallel ab, so daß keine reinen Bedingungen am Arbeitsplatz vorherrschen. Dazu kommt, daß der eigentliche Reinraum, für den die hochreinen Rohrsysteme gedacht sind, vielfach erst in der Entstehung ist und damit noch nicht vorhanden. Es ist im Verhältnis jedoch weitaus einfacher und kostensparender, reine Komponenten zu verwenden und Vorkehrungen für eine reine Verlegung zu treffen, als ein System nachträglich zu reinigen. Deswegen sollte die Arbeitsstätte durch Behelfseinrichtungen von ungünstigen Umgebungseinflüssen abgeschirmt werden. Einen Ausweg schaffen Reinraum-Container, in denen die Vorfertigung von kompletten Rohrsträngen vorgenommen werden kann. Da sich aber die Aufstellung eines solchen Containers ebenfalls oft als in der Praxis nur schwer durchführbar herausstellt, werden vermehrt Lösungen in Form mobiler Laminarflows herangezogen. Diese schaffen eine auf kleinen Raum begrenzte reine Arbeitsatmosphäre, bringen aber nicht die Möglichkeit der Material- und Personenschleuse mit sich. Weiterhin kann die auftretende Luftströmung problematisch werden, wenn diese zu hoch ist und dazu führt, daß die Schweißtemperatur am Bauteil nicht erreicht oder der Abkühlprozeß unverhältnismäßig stark beschleunigt wird (führt zu Spannungen in der Schweißnaht).

Daß die Installationsumgebung Einfluß auf die Reinheit hat, zeigt eine Untersuchung bei der eine Meßstrecke unter Verwendung von Bauteilen gleicher Ausgangsqualität mit Hilfe der IR-Schweißtechnik bei unterschiedlichen Umgebungsbedingungen geschweißt wurde.

Umgebungsbedingungen:

- a) im Reinraum Klasse 100, mit Stickstoffspülung
 - b) im Reinraum Klasse 100, ohne Stickstoffspülung
- normale Arbeitsumgebung.

Die Meßstrecke wurde mit Reinstwasser gefüllt und in Betrieb genommen. Bei dem durchgeführten Auslaugtest wurden insbesondere die Kationen untersucht.



Laminarflow
z.B. Klasse 100 oder 10,
Luftgeschwindigkeit ca. 0,3 m/s

Abb. 14: mobiler Laminarflow

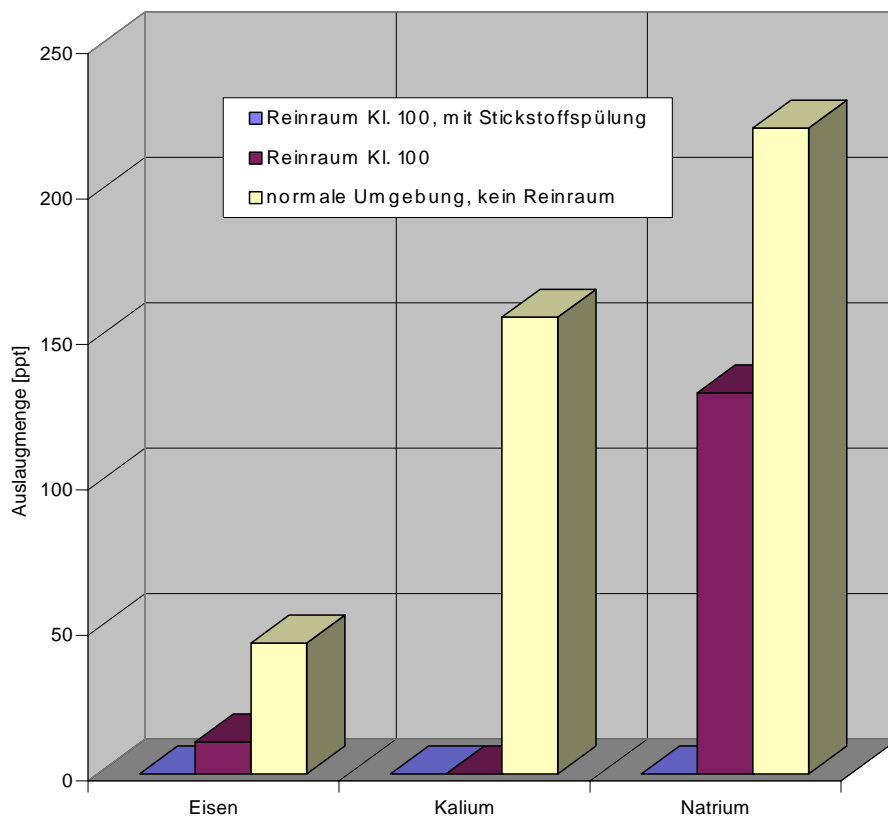


Abb. 15: Auslaugtest verschiedene Umgebungsbedingungen

Deutlich zu erkennen ist, daß die Auslaugmenge bei den untersuchten Kationen mit sinkender Umgebungsqualität ansteigt.

4.3 Allgemeines zur Montage im Reinraum

Folgende Grundregeln sollten darüber hinaus bei der Verarbeitung eingehalten werden, um keine Verunreinigungen einzubringen:

◆ **Wareneingang/Lagerung am Installationsort**

Alle ankommenden Komponenten für die Installation sind originalverpackt an einem vor Sonnenlicht geschützten, staubfreien Ort bei Raumtemperatur zwischen zu lagern. Wenn die Verpackung von Waren zu Kontrollzwecken geöffnet wird, sollte das in einem temporären Reinraum durchgeführt werden und danach wieder eine entsprechende Neuverpackung erfolgen.

Alle Teile sind deutlich auf der Verpackung gekennzeichnet, was auch Aussagen über die Reinheitsqualität zuläßt. Weiterhin läßt sich die Qualität des Bauteiles anhand des Werkszeugnisses (DIN EN 10 024-3.1 B ist Standard HP-Anwendungen, Ausnahme Sondererteile) zurückverfolgen.

Die Doppelverpackung ist erst vor der Vor- oder Endmontage zu öffnen.

◆ **Verlegung**

Die Komponenten sind grundsätzlich immer an den Enden mit Kappen oder Folienbeuteln zu verschließen. Die Innenoberfläche der Rohrkomponenten ist nicht zu kontaktieren. Eine Reinigung darf nur mit geeignetem Material (faserfreies Papier, Pinsel etc.) erfolgen. Sofern die Komplettmontage nicht im Reinraum möglich ist, sind alle Teilabschnitte in diesem zu fertigen und dann durch möglichst wenig Vorortschweißungen zu verbinden. Wenn keine Materialschleusen vorhanden sind, ist die Verpackung unmittelbar vor Eintritt in den Reinraum bzw. dem mobilen Laminarflow zu entfernen.

Das gesamte System, insbesondere Abgänge von Haupt- zu Nebenleitung, ist tottraumfrei bzw. tottraumarm auszuführen, so daß bei der Mindestdurchflußmenge eine kontinuierliche Spülung gewährleistet wird. In der Regel stehen dem Verleger in fast allen Varianten entsprechend konstruierte Bauteile zur Verfügung. Dennoch entstehende Totvolumenbereiche können durch einen Bypass ausgeglichen werden. Bei Montagenähten sind reinstmediengerechte Heizwendelmuffen, Verschraubungen, Tri-clamps oder Flanschverbindungen mit HP- und kunststoffgerechten Dichtungen zu verwenden, wobei eine homogene Schweißverbindung immer einer mechanischen Verbindung vorzuziehen ist.

◆ **Druckprüfung**

Die nach der kompletten Installation durchzuführende Druckprüfung ist der letzte Abschnitt vor der Inbetriebnahme, bei dem Verunreinigungen in das Rohrsystem gebracht werden können. Bei normalen Leitungsnetzen wird die Druckprüfung gemäß DVS 2210, Teil 1 durchgeführt. Als Druckmedium werden flüssige Medien empfohlen. Für Reinstmediensysteme käme demnach z.B. Reinstwasser in entsprechender Reinheitsklasse in Frage. Wenn die notwendigen Drücke (1,5 x PN) nicht von reinstmediengerechten Pumpen aufgebracht werden können, ist das Rohrsystem vollständig mit Reinstwasser zu füllen und die Druckaufbringung über Stickstoff oder Reinstluft zu realisieren. Das Abdrücken ausschließlich mit einem gasförmigen Medium ist für die meisten der eingesetzten HP-Kunststoffe nicht ratsam, da aufgrund der Materialsprödigkeit eine Gefährdung von Mensch und Umwelt nicht ausgeschlossen werden kann (Ausnahme Systeme aus PE 100).

5 Normen und Richtlinien

Die zur Anwendung kommenden Kunststoffe sind bezüglich ihrer Güteanforderungen, Abmessungen und Kennzeichnung international weitgehend genormt oder in Richtlinien festgehalten. Aus diesen folgen u.a. auch die Einsatzgrenzen für die Werkstoffe, die bei der Planung zu berücksichtigen sind.

Die wichtigsten Normen und Richtlinien zur Auslegung von Rohrsystemen aus thermoplastischen Kunststoffen sind :

DIN 8074	Rohre aus Polyethylen (PE), Maße
DIN 8075	Rohre aus Polyethylen (PE), Allg. Güteanforderungen, Prüfung
DIN 8077	Rohre aus Polypropylen (PP), Maße
DIN 8078	Rohre aus Polypropylen (PP), Allg. Güteanforderungen, Prüfung
DIN 16962 T 1-13	Rohrverbindungen und Rohrleitungsteile für Druckrohrleitungen aus Polypropylen (PP), Maße, Allg. Güteanforderungen, Prüfung
DIN 16963 T 1-15	Rohrverbindungen und Rohrleitungsteile für Druckrohrleitungen aus Polyethylen (PE), Maße, Allg. Güteanforderungen, Prüfung
ISO 10931 T 1-5	Plastic piping systems for industrial applications – PVDF T 1: General (Allgemeine Güteeigenschaften) T 2: Pipes (Rohre Abmessungen, Kennzeichnung) T 3: Valves (Rohre Abmessungen, Kennzeichnung) T 4: Fitness for purpose of the system T 5: Recommendations for installation
ISO 12162	Thermoplastische Werkstoffe für Rohre und Formteile bei Anwendung unter Druck
TRR 120	Bauvorschriften – Rohrleitungen aus thermoplastischen Kunststoffen (Bestandteil der Druckbehälterverordnung)
DVS 2207 T 1	Schweißen von thermoplastischen Kunststoffen (PEHD)
DVS 2207 T 11	Schweißen von thermoplastischen Kunststoffen (PP)
DVS 2207 T 15	Schweißen von thermoplastischen Kunststoffen (PVDF) (Richtlinie für IR-Schweißung in Arbeit)
DVS 2208	Anforderungen an Schweißmaschinen und -geräte
DVS 2210 T 1	Industrierohrleitungen aus thermoplastischen Kunststoffen, Projektierung und Ausführung, Oberirdische Systeme
VDI 2083 Bl. 1	Reinraumtechnik, Grundlagen
VDI 2083 Bl. 6	Reinraumtechnik, Personal am reinen Arbeitsplatz
VDI 2083 Bl. 10	Reinraumtechnik, Reinstmedierversorgungssysteme
SEMI 2840	Specification for polymer components used in ultrapure water and liquid chemical distribution systems

In den kunststoffspezifischen Normen sind auch die zulässigen Bauteildrücke und die notwendigen Sicherheitsfaktoren, die u.a. die Sprödigkeit bzw. Flexibilität der einzelnen Materialien berücksichtigen, aufgeführt.

Über die Normung hinaus gibt es in Deutschland Zulassungen (DIBt), die den Einsatz von Materialien und Herstellern von Rohrsystemen für Anwendungen im Bereich des Transports von wassergefährdenden Medien regeln. Aufgrund der festgelegten Mindestanforderungen und den entsprechenden Verlegerichtlinien (DVS 2210 Teil 1 bzw. Herstellerangaben) kann die Systemauslegung vorgenommen und das richtige Material ausgewählt werden.

6 Schlußbetrachtung

Die vorangegangenen Ausführungen zeigen auf wie komplex und wichtig die Thematik des *Total Quality Management* ist. Weder die Reinheit des Systems, noch die Belastbarkeit wird durch einen einzelnen Faktor bestimmt. Erst ein prozeß- und firmenübergreifendes Qualitätsmanagement schafft Grundvoraussetzungen für ein sicheres und den Anforderungen angepaßtes System, wodurch wiederum Kosteneinsparpotentiale geschaffen werden.

Sinnvoll ist die Einrichtung eines entsprechenden Kontrollorgans, das die einzelnen Qualitäts Management Systeme bzw. die Qualitätssicherungsmaßnahmen zu einem „TQM“ bündelt und Überschneidungen in der Qualitätskette vermeidet. Diese Kontrollfunktion sollte vom Endkunden selbst oder von dem beauftragten Generalplaner übernommen werden. In diesem Zusammenhang sollte auch über die Möglichkeit nachgedacht werden Prüfinstitute zur Fremdüberwachung einzusetzen. Dieses Instrument zur Qualitätsüberwachung wird z.B. bei Baumaßnahmen zur Lagerung von grundwassergefährdenden Medien seit langem erfolgreich eingesetzt.

Grundsätzlich ist noch zu bemerken, daß es nicht der richtige Weg ist, dem stetig zunehmenden Kostendruck mit Lösungen zu entgegnen, die auf Kosten der Qualität und des Sicherheitspotentials gehen. Folgekosten durch verspäteten Produktionsanlauf, Produktionsunterbrechungen und Reparaturen sind in der Regel deutlich teurer als eine entsprechende Vorsorge bei Planung, Fertigung und Installation.