

Polyurethan-Taschenbuch

Konrad Uhlig

ISBN 3-446-40307-8

Leseprobe

Weitere Informationen oder Bestellungen unter
<http://www.hanser.de/3-446-40307-8> sowie im Buchhandel

5 Wie wird PUR hergestellt?

In Kapitel 2 wurde bereits kurz erwähnt, daß Polyurethane mengenmäßig weniger als fertiger Kunststoff, z. B. als TPU-Granulat oder Fasern, als vielmehr in Form seiner Vorprodukte, d. h. seiner flüssigen Rohstoffe in den Handel kommt. Dies hat zur Folge, daß der im technischen Sprachgebrauch als PUR-„Verarbeiter“ bezeichnete Betrieb nicht Polyurethane „verarbeitet“ sondern herstellt – im Unterschied zum Thermoplast-Verarbeiter, der physikalisch umformend tätig ist. Daraus folgt weiter, daß der *PUR-Hersteller chemisch und formgebend tätig* ist. Dazu sind besondere Anlagen erforderlich; sie sind gekennzeichnet durch die Bauelemente eines chemischen Reaktors: Behälter mit Rührwerken, Pumpen, Rohrleitungen, Ventile etc. Über diese PUR-typische Verfahrenstechnik hinaus sind fertige Polyurethane mit einer Fülle anderer Verfahrenstechniken, einschließlich derer in der Kautschuk- und Gummi-Industrie, ver- und bearbeitbar. Deshalb soll im folgenden nur auf die PUR-typische Variante eingegangen werden.

5.1 Allgemeine Grundlagen der Verfahrenstechnik

Bei der Herstellung von Polyurethanen werden flüssige, ggf. auch aufgeschmolzene, gelöste und/oder dispergierte Rohstoffe zur chemischen Reaktion gebracht. Dabei wird Wärme frei. Es gibt zwei Möglichkeiten der Reaktionsführung: Entweder läßt man alle Komponenten gleichzeitig („one-shot-process“) oder nacheinander in zwei Stufen (Präpolymer-Verfahren) reagieren (vgl. Kap. 6.2).

Die Errichtung und der Betrieb von PUR-Anlagen einschließlich des Transports und der Lagerung der Rohstoffe unterliegen Genehmigungen z. B. nach dem Bundesimmissionsschutzgesetz (BImSchG). Darüber hinaus sind Sicherheitseinrichtungen zu berücksichtigen, z. B. metallische Schutzwannen für Lagertanks u. a. Gebinde, Überfüllsicherungen, Absaug- und Temperieranlagen sowie Maßnahmen zum Körperschutz (Schutzbrille, -anzug, -handschuhe u. ä.). In Bild 55

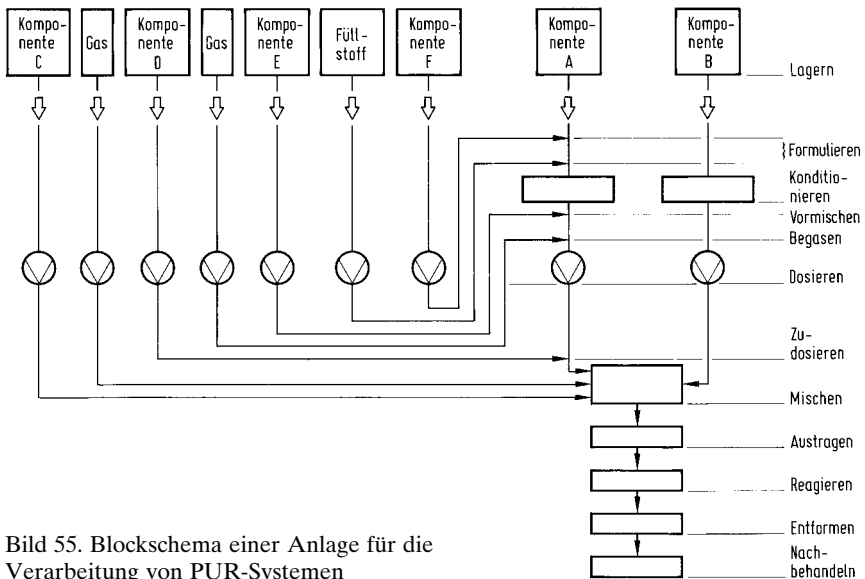


Bild 55. Blockschema einer Anlage für die Verarbeitung von PUR-Systemen

sind der Aufbau und die Funktionen einer PUR-Anlage schematisch dargestellt. Die Hauptkomponenten A und B (Polyisocyanat und Polyol siehe Kap. 6.3) werden aus den Lagertanks in die Arbeitsbehälter überführt, auf die vorgeschriebene Temperatur gebracht und über Dosieraggregate dem Mischkopf zugeleitet. Daraus wird die Reaktionsmischung auf eine Unterlage oder in eine Form ausgetragen, wo sie ausreagiert. Die häufig festen Rohstoffe für PUR-Elastomere müssen im Arbeitsbehälter erst aufgeschmolzen, entwässert und entgast werden. In diesen Fällen ist einer der Zusatzstoffe (Komponenten C bis F in Bild 55) immer ein Vernetzer oder Kettenverlängerer (s. Abschn. 6.3.3). Durch eine separate Zudosierung von Zusatzstoffen einschließlich Gasen hat der PUR-Hersteller die Möglichkeit, Rezepturen und damit die Eigenschaften seines Produktes zu steuern. Die Orte der Zudosierung können sowohl saug- als auch druckseitig von der Dosierpumpe liegen. Auch die direkte Einspeisung in den Mischkopf wird praktiziert.

PUR-Anlagen können z. T. extremen verfahrenstechnischen Voraussetzungen angepaßt werden:

- Verarbeitung von bei Raumtemperatur flüssigen Rohstoffen mit Viskositäten von 5 bis 20 000 mPa · s einschließlich geschmolzener Polyesterpolyole (s. Abschn. 6.3.2) bei höherer Temperatur
- Dosieren und Mischen der Rohstoffe in Verhältnissen von 1 : 100 bis 1 : 1 für Formteilgewichte von wenigen g bis zu 100 kg
- Anpassung der Förderleistung der Dosieraggregate an die Reaktivität des Systems
- Austragstechniken für kontinuierlich und Einfülltechniken für diskontinuierlich arbeitende Anlagen
- Verarbeitung auch füllstoffhaltiger Komponenten mit körnigen, schuppigen oder faserigen Zuschlagstoffen.

Die Entwicklung und der Einsatz geeigneter Meß-, Steuer-, Regel-, Überwachungs- und Datenverarbeitungssysteme ermöglichen einen hohen Automatisierungsgrad für die PUR-Maschinen- und Anlagentechnik. Die Verknüpfung von Rohstoff- und Verarbeitungsdaten mit entsprechenden Modellen bezüglich signifikanter Qualitätsmerkmale durch Anbindung von *Expertensystemen* gestattet ferner, den Prozeß zu optimieren und den Bediener unter anderem auf mögliche Fehler hinzuweisen und ihn gleichzeitig in Fragen notwendiger Maßnahmen online per Bildschirm zu beraten [82]. Dazu tragen Meßwertaufnehmer sowie entsprechende Stellglieder bei. Sie messen und kontrollieren folgende Verfahrensparameter:

- Temperatur der Rohstoff-Komponenten
- Volumen- und Massestrom; stöchiometrisches Verhältnis der Komponenten
- Dichten der Komponenten
- Mischzeiten
- Arbeits-, Injektions- und Kreislaufdrücke
- Gasbeladung
- Werkzeugtemperaturen
- Steighöhenprofil

Ferner können mit Hilfe graphischer On-line-Darstellungen sog. „lebende Schichtprotokolle“ erhalten werden. Schließlich ermöglichen On-line-Schaltungen via Modem/Telefon/ISDN weltweite Kontakte zwischen Maschinenlieferanten und Kunden als effizientes Servicesystem [16].

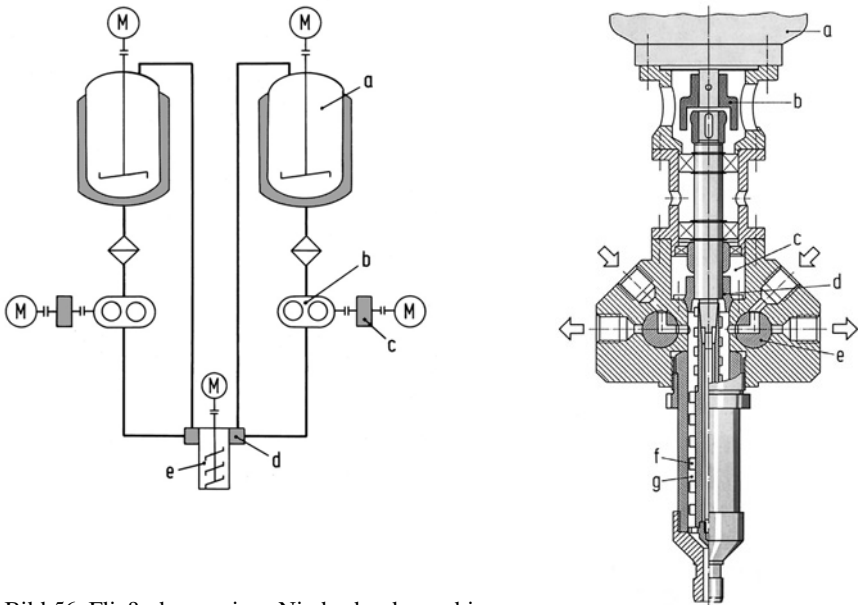


Bild 56. Fließschema einer Niederdruckmaschine

Links: a: Arbeitsbehälter; b: Dosierpumpe; c: Getriebe; d: Umschaltorgane; e: Rührwerksvermischung mit Rührwerksmischkopf für intermittierenden Betrieb

Rechts: a: Antriebsmotor; b: Kupplung; c: Schmierflüssigkeitsvorlage; d: Gleitringdichtung; e: Umschaltorgan, f: Blattrührer, g: Mischkammer

In *Niederdruckmaschinen* werden zur Dosierung höherviskoser Rohstoffe langsamlaufende Zahnradpumpen mit Arbeitsdrücken von max. 40 bar eingesetzt. Die Vermischung erfolgt mit mechanischen Rührwerken (Bild 56).

Dieser Maschinentyp wird auch vorteilhaft in der Formteilherstellung für niedrigen Gesamtdurchsatz (2 l/min), bei hohen Viskositäten der Reaktanten und/oder externen Mischungsverhältnissen verwendet. Schußgewichte im Grammaßstab zählen zum Stand der Technik.

Hochdruckmaschinen sind zur Dosierung niedrigerviskoser Rohstoffe mit Kolbenpumpen unterschiedlichster Bauart ausgerüstet und fördern mit Arbeitsdrücken von 100 bis 300 bar die Rohstoffe zu einem Injektionsmischkopf. In ihm werden die Reaktanten unter Ausnutzung ihrer kinetischen Energie im Gegenstrom turbulent vermischt (Bilder 57 und 58).

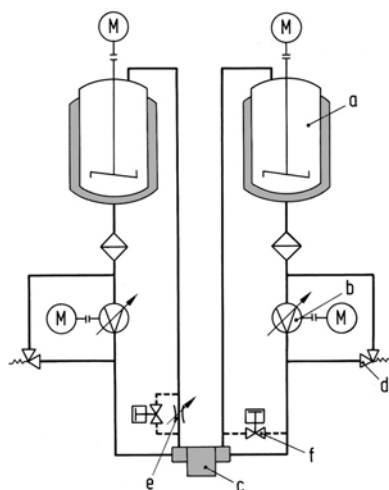


Bild 57. Fließschema einer Hochdruckmaschine (Kreislaufsystem)

a: Arbeitsbehälter; b: Dosieraggregat;
c: Mischkopf; d: Sicherheitsventil;
e: Kreislaufdrossel; f: Niederdruck-Kreislaufventil



Bild 58. Blick in das aufgeschnittene Misch- und Auslaufrohr – Stromfäden der nach dem Gegenstromprinzip vermischten Komponenten

Die Anwendung dieses Vermischungsprinzips ist in Bild 59 funktionell und in Bild 60 in der Ansicht dargestellt.

Entscheidende Vorteile des Hochdruckverfahrens sind neben der exakten Dosierung und Einhaltung des Schußgewichts die Möglichkeit, „schnelle“, d. h. hochreaktive Systeme zu verarbeiten, minimale Materialverluste und geringe Umweltbelastung vor allem bei Verwendung selbstreinigender Injektionsmischer. Die niedrigeren Kosten einer Niederdruckmaschine wiegen diese Vorteile nicht auf. Anhand der Tabelle 21 gewinnt man einen schnellen Überblick zu den PUR-spezifischen Verfahrenstechniken.

Bei der *Kombination von Hoch- und Niederdruck-Technik* werden die Komponenten mit Kolbenpumpen unter Hochdruck in eine (Niederdruck-)Rührwerksmischkammer eingedüst. Dieses Verfahren findet dann Anwendung, wenn außer den beiden Hauptreaktanten „ISO“ und „POLY“ noch mehr als zwei Zusatzstoffe separat dosiert werden sollen. Dabei nutzt man die größere Dosiergenauigkeit der Kolbenpumpen aus.

Bild 59. Schematische Darstellung des MX-Mischkopfes (Bauart Hennecke)

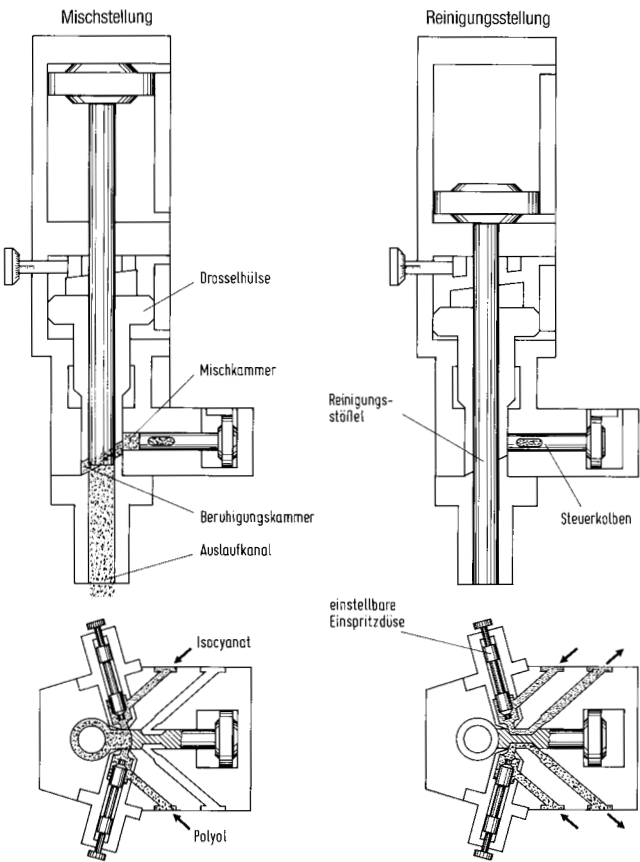


Bild 60.
Auch ästhetisch gelungen:
Der MX-Mischkopf

Tabelle 21. PUR-Systeme und Verfahrenstechnik

PUR-Systeme/Verfahrensschritte	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14
Weichschaum														
Block	x				x		x	x		x				
Form	x					x			x			x		x
Füll	x					x			x			x		x
Hartschaum														
Block	x				x		x	x		x				
Hohlraum	x		x			x			x			x		x
Platten	x		x	x		x		x			x			
Rohre	x		x			x			x					
Ortschaum	x					x			x					
Integralschaum hart + flexibel	x		x	x		x			x			x	x	x
Elastomere														
Heißgieß		x					x		x			x		x
Kaltgieß	x						x	x	x			x		x
Sprüh	x						x	x						
Gießharze	x						x		x			x		x
PUR-Kautschuk		x							x			x		x
Thermoplast	x	x					x	x						
	One-Shot-Prozeß	Prepolymer-Prozeß	Vormischen	Begasen	Zudosieren	Hochdruck-Injektionsvermischung	Niederdruck-Rührwerkvermischung	Kontinuierliche Fertigung	Diskontinuierliche Fertigung	Block-Anlage	Doppelband-Anlage	Formen-Träger	RIM-Anlage	Entformen

Ob Nieder- oder Hochdruck – beiden Verfahren ist das *Kreislaufprinzip* der Rohstoffe gemeinsam. Ursache dafür sind steigende qualitative Anforderungen an das Fertigteil. Vor jedem Misch- und Füllvorgang zirkulieren die Komponentenströme bereits im gewünschten Mengenverhältnis sowie unter dem für die Injektion erforderlichen Druck. Die Umsteuerung von Kreislauf- auf Injektionsstellung erfolgt in Hochdruckinjektionsmischern mit zwangsgesteuerten Umschaltelementen. Alle für den einwandfreien und synchronen Komponenteneintritt in die Mischkammer verantwortlichen Schaltelemente werden zwangsweise mechanisch oder hydraulisch betätigt. Das in der Mischkammer verbleibende Reaktionsgemisch wird nach dem Füllvorgang durch Reinigungskolben ausgestoßen oder mit Preßluft sauber geblasen.

Spritz- oder Sprühmaschinen können sowohl nach dem Nieder- als auch nach dem Hochdruckprinzip konstruiert werden. Während bei ersteren zusätzlich eingeblasene Luft für einen geeigneten Sprühstrahl sorgt, kann im zweiten Fall der erzeugte hohe Vermischungsdruck diese Aufgabe mit übernehmen. Der Einsatz pneumatisch angetriebener Einzylinder-Kolbenpumpen ist dabei ebenso üblich wie Schlauchlängen bis zu 100 m. Der Mischkopf muß in allen Fällen leicht und von Hand gut bewegbar sein. Er wird meist selbstreinigend ausgelegt. Die Austragsleistung von Sprühmaschinen liegt zwischen 2 und 7 l/min.

5.2 Spezielle Verfahrenstechnik und Anlagen

Generell wird zwischen *kontinuierlich* arbeitenden Anlagen zur Produktion von Halbzeug und *diskontinuierlich* arbeitenden Anlagen unterschieden. Hierbei werden offene oder geschlossene Formwerkzeuge oder Hohlräume schußweise mit Reaktionsgemisch gefüllt.

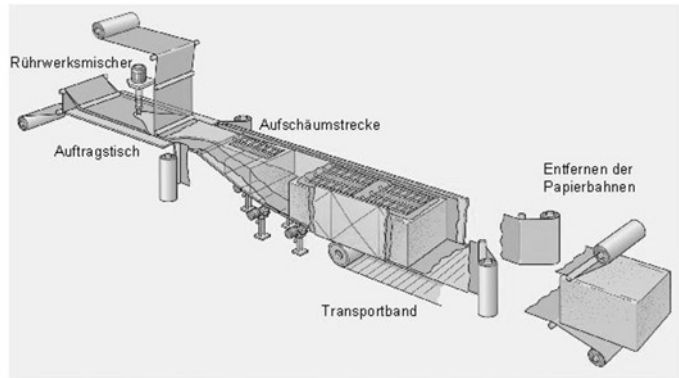
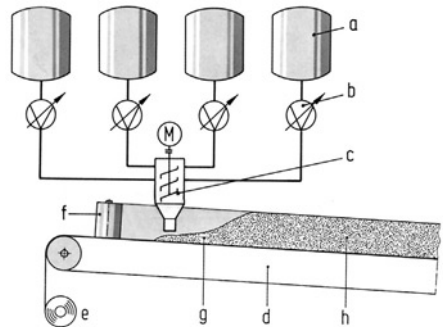
Vorwiegend *kontinuierlich* werden Schaumstoffblöcke gefertigt. In Bild 61 ist dies am Beispiel von *Weichblockschaumstoffen* im Prinzip sowie als eine Ausführungsform zur Verringerung von Schnittverlusten durch Rechteckkalibrierung auf der Blockoberseite dargestellt. Rechteckige Querschnitte von 2,20 m Breite und 1,20 m Höhe sind heute Stand der Technik. Bei Rohdichten der Schaumstoffblöcke zwischen 15 und 60 kg/m³ und Bandgeschwindigkeiten bis zu 10 m/min errechnen sich daraus Austragslei-

Bild 61 rechts. Schematische Darstellung einer Anlage zum kontinuierlichen Herstellen von Schaumstoffblöcken

a: Arbeitsbehälter; b: Dosieraggregat; c: Rührwerksmischkammer; d: Transportband; e: Bodenpapier; f: Seitenpapier; g: Reaktionsgemisch; h: ausreagierter Schaumstoff

Unten: Quadro-Foamat-Anlage (QFM) zur Herstellung von flexiblen Rechteckschaumstoffblöcken

(Quelle: Hennecke)



stungen von 50 bis 600 l/min des Reaktionsgemisches. Daraus resultieren Bandlängen von 30 bis 100 m – je nach Rezeptur und Aushärtezeit. Die Schäumenanlage verlassen Kurz- (10 m) oder Langblöcke bis zu 120 m, die zur Abkühlung im sog. Reaktionslager bis zu 12 Stunden zur Erreichung ihrer endgültigen Eigenschaften aufbewahrt werden. Es schließen sich Transportbandsysteme mit nachfolgenden Querschneide- und Besäumeinrichtungen sowie Weiterverarbeitungs- bzw. Konfektionierungsmaschinen an. Mit Hilfe der CNC-Technik, entsprechenden Computerprogrammen und Wasserstrahlschneidern macht z.B. das Kopier- und Konturenschneiden Schaumstoffteile in nahezu unbegrenzter Formenvielfalt möglich. Die Wasserstrahl-Hochgeschwindigkeitsschneider (bis max. 60 m/min) arbeiten mit einem geringen Wasserverbrauch je nach Druck und Düsengröße von 0,11 bis 1,18 l/min; der Wasserdruck kann von 500 bis 3500 bar

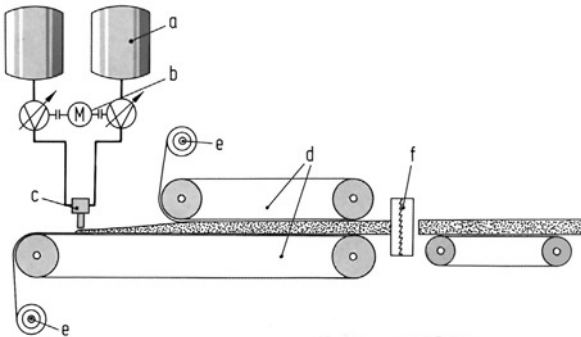
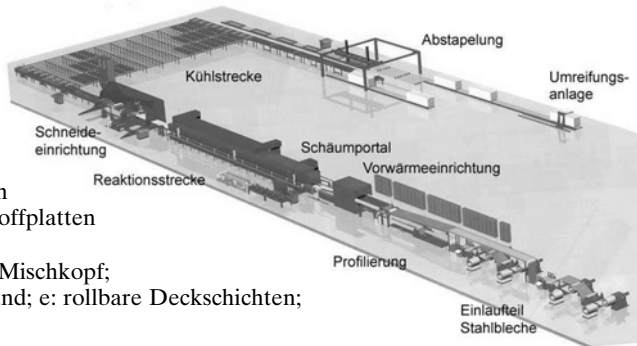


Bild 62 oben.
Schematische Darstellung einer Anlage zum kontinuierlichen Herstellen kaschierter Schaumstoffplatten
a: Arbeitsbehälter; b: Dosieraggregat; c: Mischkopf;
d: Doppeltransportband; e: rollbare Deckschichten;
f: Querschneider



Unten: 3D-Ansicht einer rund 350 m langen Anlage zur Herstellung von profilierten Metallverbundelementen mit dämmendem PUR-Hartschaumstoffkern (Quelle: Hennecke)

und die Weite der Saphir- oder Diamand-Düsen am Schneidkopf von 0,10 bis 0,20 mm variiert werden [17]. Darüber hinaus werden auf Karussell- und Langblock-Spaltmaschinen oder Walzenschlagaggregaten Folien in beliebiger Länge und in Dicken von 0,5 bis 30 mm hergestellt. Bei der Herstellung hochelastischer (HR-)Schaumstoffe muß sich eine Vorrichtung zum Aufdrücken der teilweise geschlossenen Zellen anschließen. Bei Standard-Weichschaumstoffen kann die ohnehin recht gute Luftdurchlässigkeit durch nasse (*Bauer-Verfahren* mit wäßrigem Alkali) oder bevorzugt trockene chemische Nachbehandlung weiter verbessert werden. Dabei wird der Schaumstoff in Druckbehältern einer Knallgasexplosion durch elektrische Zündung eines H_2/O_2 -Gemisches unterworfen, wobei restliche Zellmembranen zerstört oder auf die Zellstege aufgeschmolzen werden (*Chemotronics-Verfahren*). Die nach diesem Prozeß gewonnenen

Produkte werden *retikulierte Schaumstoffe* genannt. *Hartschaumblöcke* werden auf analogen Anlagen hergestellt und hauptsächlich zu Plattenware weiterverarbeitet, die nach der *Hüllbauweise* z. B. mit Blechdeckschichten zu Bauelementen weiterverarbeitet werden können. *Hartschaumplatten mit oder ohne Deckschichten* werden kontinuierlich auf sog. *Doppeltransportbändern* gefertigt. Im Unterschied zu den Blockanlagen, bei denen große Mengen an Reaktionsgemisch ausgetragen werden müssen, werden auf den Doppelbandanlagen z. B. mittels „Gießrechen“ sehr dünne Schichten auf der Unterlage gleichmäßig verteilt (Bild 62). In diesem Fall sind dem „Naßteil“ der „Schäumanlage“ Haspelvorrichtungen für wickelbare, oder Aufgabestationen für starre und Profiliereinrichtungen für metallische Deckschichten vorgeschaltet; Kraftpapier, Aluminium, Span- und Gipskartonplatten, Stahl vom Coil oder gesickte Bleche und beschichtete Glasfaserfliese sind einige Materialbeispiele. Nachgeschaltet sind Querschneider. Hartschaumplatten von 0,5 bis 1,30 m Breite und 5 bis 200 mm Dicke sind marktüblich. Die Produktionsgeschwindigkeiten reichen bei modernen Doppeltransportbändern bis zu 20 m/min. Schnellläufer werden auch um 40 m/min betrieben. Rohdichten von 20 bis 60 kg/m³ bedingen Austragsleistungen von 1 bis 200 l/min. Hieraus ergeben sich Doppelbandlängen zwischen 12 und 45 m.

Bei *diskontinuierlich* arbeitenden Anlagen wird das Reaktionsgemisch in einen Hohlraum, z. B. PUR-*Hartschaum* zur Kühltankschäumung oder in ein Formwerkzeug intermittierend eingetragen. So werden z. B. die Wände von LKW-Kofferaufbauten nach der *Füllbauweise* hergestellt, indem in pressenähnlichen Formen die Hohlkörper aus Stahlblech eingelegt und ausgeschäumt werden. Wesentliche Parameter zur Festlegung von Anlagenkonzeptionen sind Losgröße, Abmessung und Gestalt des Formteils. Bei der Fertigung von Klein- und Kleinstteilen werden die zu füllenden Werkzeuge auf Trägerpaletten bzw. kleinere Schließeinheiten gesetzt, die sich kontinuierlich oder taktweise fortbewegen. Es werden Rundtische (Bild 63) oder Ovalbänder eingesetzt.

Das Einfüllen des Reaktionsgemisches kann aus maximal zwei Mischköpfen in das offene Werkzeug erfolgen. Bei kontinuierlich durchlaufenden Formträgern wird der Mischkopf während des Füllvorganges mitgeführt. Das Reaktionsgemisch wird dabei punkt- oder zeilenförmig ein-

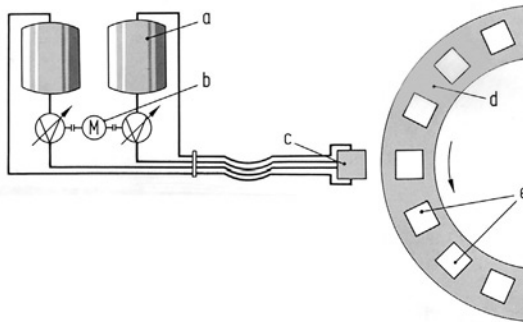


Bild 63. Schematische Darstellung einer Anlage mit beweglichen Werkzeugen und in Beschickungsrichtung beweglichem Mischkopf

a: Arbeitsbehälter; b: Dosieraggregat; c: Mischkopf; d: Rundtisch; e: Werkzeuge

getragen. Bei taktweise bewegten Formenträgern nach dem Stop-and-go-Prinzip (Plattenschubanlagen oder Rundtische) kann das Reaktionsgemisch zur besseren Benetzung der Werkzeugoberfläche über Roboter eingetragen werden. Ein 24stelliger Rundtisch mit zwei Werkzeugen pro Palette erzielt z. B. eine Produktionsleistung von 600 Teilen/h. In beiden Anlagensystemen kommen vorwiegend Hochdruckmaschinen zum Einsatz. Beispiele hierfür sind *Weichformschaumstoffe für Autositze*, die je nach Rohstoffsystem als Kalt- oder Heißschaum hergestellt werden. Im erstgenannten Fall durchlaufen die Formteile eine Anlage zum Aufdrücken der geschlossenen Zellen und im letztgenannten einen Heiztunnel zur vollständigen Aushärtung vor der Entformung.

Für große und besonders komplizierte Formteile arbeitet man wirtschaftlich mit stationären Anlagen. Werden dabei nur wenige, räumlich eng zusammenstehende Werkzeuge installiert, kann die Füllung entweder von der stationären Maschine über flexible Leitungssysteme mit einem Mischkopf vorgenommen werden, oder die Anlage fährt an den Werkzeugen vorbei. Die stationäre Anlage hat sich auch überall dort durchgesetzt, wo profilähnliche, lange Formteile gefertigt werden. Die Werkzeuge werden dabei stern- oder halbkreisförmig aufgebaut. Beispiele hierfür sind *flexible Füllschaumstoffe*, sie werden durch Hinter-schäumen von Deckschichten (PVC-, ABS-Folien) in geschlossenen Formen hergestellt. Bei hochreaktiven Schaum- oder Massiv-Systemen sind

die Einfüllgeschwindigkeiten hoch und die Aushärtezeiten kurz, so daß ein Wegfahren des Mischkopfes und die anschließende Werkzeugverriegelung nicht mehr praktikabel ist. So wird z. B. das Reaktionsgemisch für *Integralschaumstoffe* in geschlossene Werkzeuge injiziert, wobei Schaumbildung und Werkzeugtemperatur so gesteuert werden, daß Formteile mit zelligem Kern und zellfreier Randzone entstehen. Dabei ist der Übergang von innen nach außen nicht abrupt, sondern kontinuierlich (s. Kap. 4, Bilder 41 und 42).

Für die verfahrenstechnische Beherrschung dieser hochreaktiven PUR-Systeme mit besonders kurzen Formzeiten (formteilabhängig bis herab zu weniger als eine Sekunde) haben sich die Begriffe „Reaktions-schaumguß (RSG)“ oder international „Reaction Injection Molding (RIM)“, im Falle von verstärkten („reinforced“) Materialien „R-RIM“ durchgesetzt. Hierbei werden grundsätzlich Hochdruckmaschinen verwendet und jedem Werkzeug mit Schließeinheit ein fest installierter, selbstreinigender Injektions-Anbaumischkopf zugeordnet (Bild 64).

Die Verteilung der Komponentenströme erfolgt über Ringleitungen nach dem Kreislaufprinzip (s. o.). Glas kann als gemahlene Kurzfasern ($l = 140 - 240 \mu\text{m}$) einer der Komponenten, meistens dem Polyol, zugemischt und dosiert (R-RIM) oder als Glasmatte in der Form deponiert und im zweiten Schritt mit dem Reaktionsgemisch umgossen bzw. eingeschäumt werden (S-RIM = Structural RIM). Nach einem neueren Verfahren (Bild 65) können auch billigere Langfasern (Rovings) von 10 cm, vor-

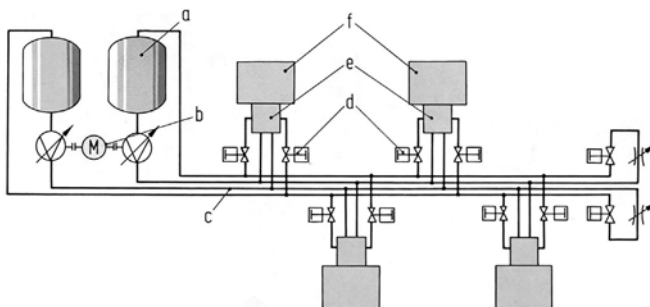
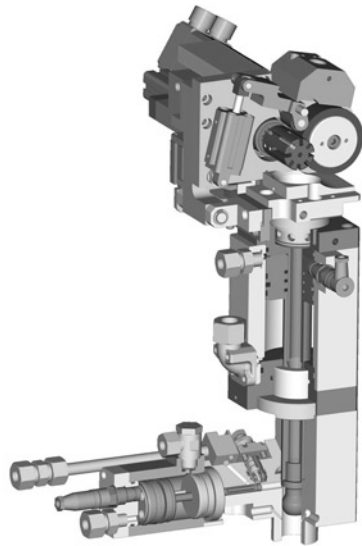


Bild 64. Schematische Darstellung einer Anlage mit stationären Werkzeugen, Anbaumischköpfen und Mehrstellendosierung (RIM-Anlage)
a: Arbeitsbehälter; b: Dosieraggregat; c: Ringleitungssystem; d: Zuschaltventile;
e: Anbaumischköpfe; f: Schließeinheiten mit Werkzeugen



Bild 65 oben. Direkter Eintrag von Glasrovings mit dem Reaktionsgemisch in das Werkzeug

Rechts: LFI-Prozeßkopf in 3D-Darstellung (Quelle: Krauss-Maffei)



zugsweise von 5 cm in einem Schritt mit dem Reaktionsgemisch direkt in das Werkzeug eingetragen werden (LFI-PUR = Long-Fiber Injection) [18].

Das RIM-Verfahren bietet gegenüber der Thermoplast-Spritzgußverarbeitung einige bemerkenswerte Unterschiede: Mit PUR-RIM-Systemen können Fließwege bis zu 600 cm (bei 2 mm Wandstärke) realisiert werden gegenüber 20 bis 50 cm bei Thermoplasten; auch sind die Innendrucke der Formwerkzeuge und die Zuhaltekräfte bei RIM mit 3 bis 30 bar bzw. 0,2 bis 4 MN um Größenordnungen geringer als beim Spritzguß (70 bis 300 bar bzw. 25 bis 200 MN).

Während Hohlraum ausschäumungen und Formteilherstellung stets diskontinuierlich erfolgen, können überwiegend kontinuierlich gefertigte Polyurethane auch diskontinuierlich hergestellt werden, so z. B. *Weich- und Hartschaumblöcke* in einfachen und kostengünstigen Verfahren. Die Entscheidung für diese Methode ist außer von den relativ niedrigen Investitionskosten vor allem von der erwarteten Durchsatzmenge abhängig (Bild 66). Der im Fachjargon als „Kistenschäum“ oder „Goldener Eimer“ bezeichnete Prozeß funktioniert nach dem Prinzip „Faß ohne Boden“: Ein ebensolches wird auf den Boden einer Kiste gestellt,

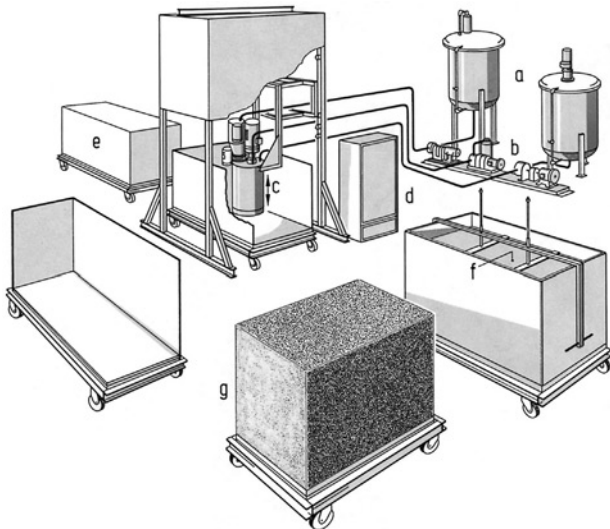


Bild 66. Diskontinuierliche Herstellung von Weichblockschaum

a: Rohstoffbehälter; b: Dosieragregat; c: Chargenmischer mit Hubvorrichtung;
d: Schaltschrank; e: Schäumbox; f: schwimmender Deckel; g: fertiger Schaumstoffblock

mit den von Hand abgewogenen Mengen PUR-Rohstoffen beschickt, der Inhalt vermischet und dann hochgezogen. Dabei breitet sich das flüssige Reaktionsgemisch auf dem Boden aus und schäumt auf; auch kann ein „schwimmender Deckel“ aufgegeben werden, um eine Schaumkuppe als Abfall zu vermeiden. Nach etwa 10 min ist der fertige Schaumstoffblock entformbar. Diese Methode kann für Weichschaumstoff bis zu einer Produktion von max. 800 t/a rationell betrieben werden. Für größere Durchsätze ist eine kontinuierliche Anlage vorzuziehen.

Bei einem den aktuellen Umweltanforderungen angepaßten, diskontinuierlichen „Lang-Block-Verfahren“ erfolgt die Schaumstoff-Herstellung in einer völlig gekapselten Anlage (Bild 67). Dabei wird das Ventilationssystem über Filterkombinationen im Kreislauf gefahren.

Ortschaum auf Basis PUR-Hartschaumstoff wird direkt am Verwendungsort mit Hilfe transportabler Schäummaschinen oder in Kleingebinden aus Druckbehältern als Ein- oder Zwei-Komponentenschaum hergestellt („Dosenschaum“) (Bild 68).

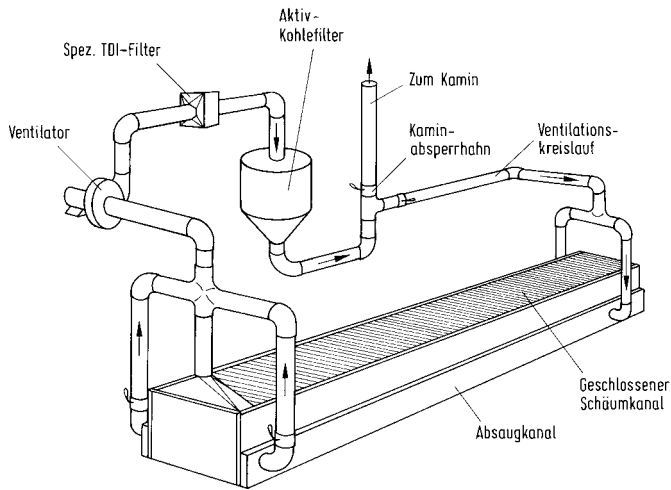


Bild 67.
Umweltfreundliche, gekapselte Anlage zur Herstellung von Weichschaumblöcken („E-Max-Verfahren“)



Bild 68.
Polyurethan-(PUR)-
Einkomponenten-
schaumstoffe

5.3 Sonderverfahren

Präpolymeranlage, Hand, Gießtisch und -maschine sind die wesentlichsten Merkmale der Verfahrenstechnik für *PUR-Elastomere*. Dabei ist die Verarbeitung „von Hand“ auf spezielle Einzelfälle für große und schwere (100 kg) Teile beschränkt, für die sich der seltene Einsatz entsprechend dimensionierter Maschinen und Anlagen nicht lohnt. Artikel aus PUR-Elastomeren werden überwiegend nach dem *Präpolymer-Verfahren* hergestellt. Dabei setzt der Verarbeiter die Polyole in dafür konzipierten Anlagen (Bild 69) mit einem Überschuß an Diisocyanat zu einem Voraddukt um. Dieses wird in der zweiten Stufe mit einem Vernetzer im Mischkopf einer kontinuierlich arbeitenden Gießmaschine vermischt und das Reaktionsgemisch innerhalb kurzer Zeit (Topfzeiten sec und min) in die beheizten Formen auf dem beheizten Gießtisch eingetragen. Bei heißhärtenden *Gießsystemen* erfolgt die Aushärtung in Heizschränken, bei kalthärtenden bei Raumtemperatur.

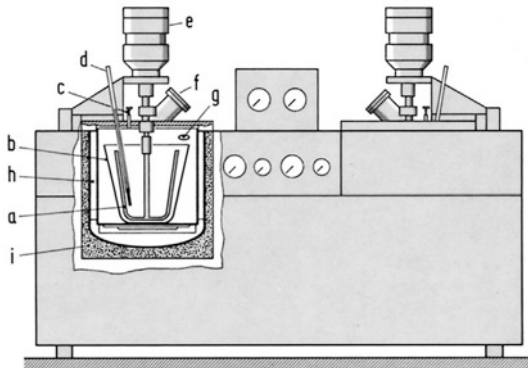


Bild 69. Doppel-Reaktionsapparatur

a: Ankerrührer; b: Gießtopf; c: Belüftungshahn; d: Thermometer; e: Getriebemotor; f: Füllstutzen; g: Vakuumschlauch zur Woulfischen Flasche; h: Heizmedium; i: Isolierung

Die Verarbeitung über den *One-shot-Prozess* erfolgt unter bestimmten, auch chemischen Voraussetzungen mit Hilfe von Niederdruckmaschinen. Hochaktive Systeme für die Reaktivbeschichtung (Topfzeiten von 5 bis 20 s) werden über vollautomatisch gesteuerte Gieß- oder Sprühanlagen (mit Druckluft) verarbeitet (Walzenbeschichtung) [19]. Mög-

lich ist auch die Airless-Verarbeitung über Hochdruckmaschinen. Die *Ort-Beschichtung* im Freien (Brücken, Sportstätten) erfolgt mit fahrbaren Dosier-, Misch- und Gießmaschinen, die Verteilung der Reaktionsmasse mit Rakeln.

Thermoplastische Polyurethane (TPU) werden im one-shot-Prozeß diskontinuierlich oder kontinuierlich hergestellt. Nach Vermischen der Komponenten in einem Kessel wird das Reaktionsgemisch auf ein laufendes Band ausgetragen. Dort reagiert das TPU aus und verfestigt sich zu Platten, die in einem Granulator zerkleinert und anschließend über einen Extruder zu einem gleichmäßigen Granulat (Linsen, Zylinder) verarbeitet werden. Zu einem gleichmäßigen Granulat gelangt man auch, wenn die Reaktion in einem Doppelschneckenextruder durchgeführt wird. Es kann über alle handelsüblichen Schnecken-spritzgußmaschinen mit Rückstromsperre verarbeitet werden. Die Extrusion erfolgt vorzugsweise über Einwellenextruder mit Baulängen von 20 bis 30 D mit paritätisch aufgeteilter Dreizonenschnecke im Kompressionsverhältnis von 1:2 bis 1:3. Die Massetemperaturen liegen je nach TPU-Typ zwischen 180 und 250°C, und die wassertemperierten Werkzeuge haben in der Regel Temperaturen zwischen 20 und 40°C. Für frisches und sofort verarbeitetes Granulat ist keine Vortrocknung erforderlich, sonst 1/2 bis max. 2 h bei 100 bis 110°C. Diese ist auf jeden Fall für sauberen und granulierten Abfall (Angüsse etc.) erforderlich; er kann bis zu 30 % der Frischware für Spritzguß zugemischt werden. Extruderabfall sollte separat wiederverarbeitet werden oder dem Spritzguß zugeführt werden. Hochbeanspruchte Fertigteile erreichen ihr optimales Eigenschaftsniveau nach einer Temperung über 15 bis 20 h bei 80 bis 90°C (bis 90 Shore A) bzw. 110 bis 120°C (> 90 Shore A), nicht getemperte Artikel nach 4- bis 6-wöchiger Lagerung nicht unter 20°C.

Die Herstellung der vulkanisierbaren Vorstufe für *PUR-Kautschuk* erfolgt nach dem Prinzip der PUR-Verfahrenstechnik. Die Weiterverarbeitung, d. h. die Vulkanisation erfolgt auf den Anlagen der Kautschuk- und Gummiindustrie. Dabei sind wegen des völlig anderen chemischen Aufbaus gegenüber Gummi einige Besonderheiten zu beachten, auf die hier jedoch nicht näher eingegangen werden soll.

Die Verarbeitung von *PUR-Lackrohstoffen* zu *PUR-Lacken* und *PUR-Anstrichmitteln* erfolgt mit der Verfahrenstechnik der Lackindustrie mit

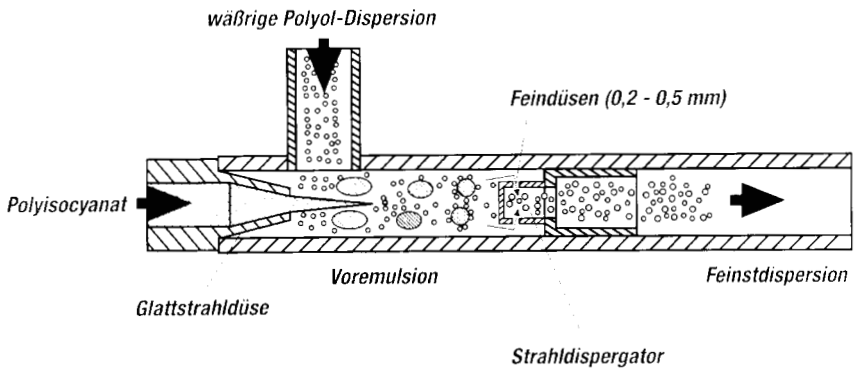


Bild 70. Strahldispersierung wäbriker PUR-Lack-Systeme

Hilfe spezieller Dispergieraggregate, Walzenstühlen, schnellaufender Dissolver, Rührwerkskugelmöhlen u.a. Eine neuartige Mischtechnik für wäbriige PUR-Lack-Systeme ist die Strahldispersierung [20]. Dabei wird das hydrophobe Polyisocyanat mit der wäbriigen Polyoldispersion über eine Glattstrahldüse (Bild 70) voremulgiert und über einen Strahldispersgator feinst dispersiert:

Für die Gewinnung von *PUR-Pulverlacken* wird das nach den Regeln der PUR-Verfahrenstechnik hergestellte trockene Harz über Extruder verarbeitet und nach Mahlen des Granulats auf eine Korngröße von 40 bis 60 μm von der Fraktion $> 100 \mu\text{m}$ durch Siebe getrennt.

Auch *PUR-Beschichtungsmittel* werden mit Hilfe der ggf. auf die spezifische Chemie eingestellten PUR-Verfahrenstechnik hergestellt. Die Weiterverarbeitung, d. h. die Beschichtung von Textil, Leder und Papier erfolgt auf den Anlagen der einschlägigen Industrie (Direkt-, Umkehrbeschichtung). Bei der *Reaktiv-Umkehr-Beschichtung* wird das Reaktionsgemisch kontinuierlich auf eine Unterlage (Matritze) aufgetragen und zur Aushärtung auf das Substrat (z. B. Spaltleder) übertragen. Die Anlage ähnelt im Prinzip Bild 62 – ohne hier näher auf Details einzugehen.

Eine verfahrenstechnische Besonderheit ist jedoch die Erzeugung von *poromerem PUR-Kunstleder*. Die Herstellung einer „atmenden“, poromereren PUR-Schicht auf einem (Textil-)Flies ist ein komplizierter physikalisch-chemischer Vorgang. Unter Verzicht auf Einzelheiten möge der

Leser das Bild 71 einfach auf sich wirken lassen und sich evtl. beim Tragen seines (Kunst-)Ledermantels daran erinnern.

Für die Verarbeitung schnellreagierender PUR-Komponenten zu *PUR-Klebstoffen* werden je nach Reaktivität und Viskosität von der einfachen Niederdruckmaschine mit 10 bar Arbeitsdruck bis zu Hochdruckanlagen mit Arbeitsdrücken von 200 bis 400 bar verwendet (s. o.). Andererseits genügen für Lösemittel-Klebstoffe einfache Rührapparaturen.

PUR-Chemikalien als *Bindemittel* (PMDI) z. B. für *Holzspäne* verringern auf den Anlagen der Spanplatten-Industrie vor allem die Preßzeiten um 10 bis 30 %. Eine – vom PUR-Standpunkt – interessante verfahrenstechnische Variante ist die Verarbeitung von reaktiven PUR-Systemen als *Kernsand* bindemittel in der Gießereitechnik: Hierbei wird eine nur wenige Stunden haltbare PUR-Reaktivmasse (2 % PUR, 98 % Gießereisand) aus Vorratsbunkern direkt der Kernschießmaschine zugeführt und in den Kernkästen zu Formlingen verdichtet. Diese härten bei Raumtemperatur in wenigen Sekunden zu gebrauchsfertigen Kernen, indem mit Druckluft ein Aminkatalysator (s. Abschn. 6.3.4) durchgeblasen wird („Cold-Box“-Verfahren; Fa. Ashland).

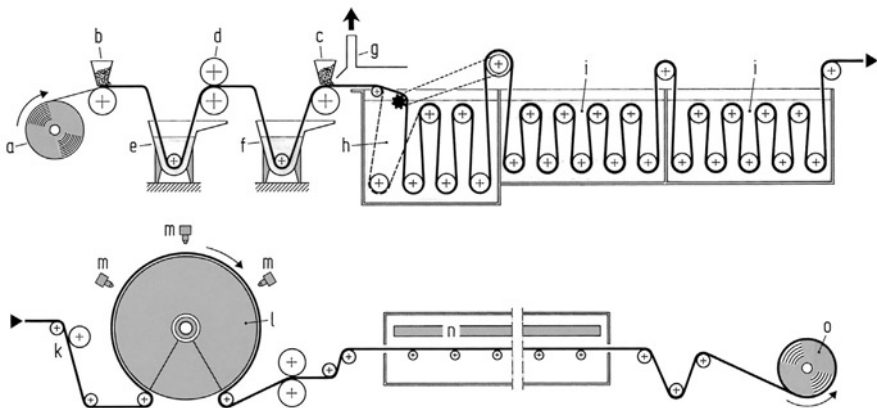


Bild 71. Herstellung von Kunstleder aus atmungsaktiven PUR-Poromeren: Prinzipskizze des Koagulationsverfahrens

a: Substrat; b: Vorbeschichtung; c: Hauptbeschichtung; d: Quetschung; e, f: kleine Koagulierbäder; g: Abzug Gelierluft; h: Koagulierbad; i: Waschbäder; k: Warenbahnsteuerung; l: Waschtrommel; m: Sprühdüsen; n: Spannrahmentrockner; o: Aufwicklung

PUR-Fasern (Elastane) werden nach dem Präpolymer-Verfahren kontinuierlich oder diskontinuierlich hergestellt. Die Verarbeitung der Spinnlösung (22 bis 36 % Elastan) zu Filamentgarnen erfolgt nach den allgemein für Synthesefasern üblichen Spinn- und Nachbehandlungsprozessen. Dabei ist der Reaktivspinnprozeß eine Besonderheit: Hier erfolgt die PUR- und Fadenbildung gleichzeitig im Reaktivspinnbad.

Die Herstellung von *PUR-Gelen* und *PUR-Mikrokapseln* erfolgt in konventionellen Chemie-Apparaturen ohne PUR-spezifische Besonderheiten. Für die Erzeugung der für die Mikrokapseln erforderlichen feinsten O/W-Emulsion (3 bis 10 μm) sind hohe Scherkräfte erforderlich. Dafür geeignet sind Dispergiergeräte mit variablen Frequenzen bis in den Ultraschallbereich (Ultra-Turrax®).

5.4 Woran liegt's?

Hinweise zu Herstellungsfehlern – Ursachen – Behebung

„Wenn der Schütze nicht trifft – liegt's immer am Gewehr“! Wenn's bei PUR schlecht schäumt, haftet, schrumpft, lunkert oder schliert – liegt's am Rohstoff, an der Prozeßführung, an der Maschine, an der Form! Oder doch – auch – an denen, die das Ganze in Gang gesetzt haben? Für sie ist es am leichtesten, einen Fehler festzustellen, oft am schwierigsten, dessen Ursache zu finden und dann wiederum leichter, ihn zu beheben. Deshalb sind A und O der Fehlerminimierung eine sachliche Kommunikation zwischen den (Fach-)Leuten. Sie, der Rohstofflieferant und der PUR-Hersteller, besitzen das Know-how – natürlich über die Vorteile – ihrer PUR-Systeme. Auch wird es im Detail als Betriebsgeheimnis gehütet und nur im konkreten Fall gelüftet. Darin liegt offenbar der Grund, daß in der allgemeinen PUR-Literatur kaum oder gar nichts über „PUR-Störungen“ zu finden ist. Im folgenden wird der Versuch gemacht, dem Leser anhand einiger skizzenhaften Tupfer die Blickrichtung zum Thema zu erläutern.

Das *ideale PUR-System an sich* ist makellos. Die *realen PUR-Systeme*, deren Herstellung und Verarbeitung einer umfassenden Qualitätskon-