

## Aufgeschäumtes

Das Jahr 1935 brachte für die Textilindustrie ein weittragendes Ereignis: Der amerikanische Chemiker **Wallace Hume Carothers** hatte ein neuartiges Material entwickelt, das sich zu seidenähnlichen Fäden verarbeiten ließ. Er nannte es „**Nylon**“. Für die Kunstseide entstand dadurch erstmals eine scharfe Konkurrenz.

Chemisch gesehen ist Nylon ein **Polyamid**. Die griechische Silbe „poly“ darin bedeutet „viel“. Was hier viel auftritt, ist eine Molekülkombination, die der Chemiker so beschreibt: – NH – CO – und die er „**Amidgruppe**“ nennt.

Amid ist abgeleitet von **Ammoniak** oder besser von den Ammoniaksalzen. In diesem Wort lebt vermutlich der altägyptische Sonnengott Ra Ammon weiter, der einer Oase den Namen Ammon verliehen hatte, nach der man das von dort kommende Salz lateinisch „sal ammoniacum“ nannte. Dieses „Salmiak“ war schon den Ägyptern, Ammoniumcarbonat bereits den Arabern bekannt. So tummelt sich in „Polyamid“ fröhlich unser ägyptisch/griechisch/arabisch/römisches Erbgut.

Die Amidgruppe besteht aus je einem Atom Stickstoff (N), Wasserstoff (H), Kohlenstoff (C) und Sauerstoff (O). Die Striche links vom N und rechts vom O deuten an, dass es dort weitergeht, dass sich da jeweils die nächste Amidgruppe angliedert. Und so fort – im Dutzend, im Hundert, ja im Tausend. Daher die Silbe poly = viel. Den Vorgang einer solchen Aneinanderreihung nennt man **Polymerisation**.

Das Besondere der Polyamidkette ist die außerordentlich starke Bindung zwischen einzelnen Gliedern der Kette. Und eben dies gibt dem Produkt Nylon seine hohe Festigkeit.

Mit dem Nylon begann eine neue Epoche der Kunststoffchemie. Schon zwei Jahre später, also 1937, glückte dem deutschen Chemiker **Otto Bayer** der nächste große Wurf: Aus einem **Polyalkohol** und einem **Polyisocyanat** – beides vorwiegend hellfarbene Flüssigkeiten – gewann er einen Kunststoff, der sich später unter dem Sammelnamen „**Polyurethan**“ (abgekürzt PUR) zu einem der universellsten Kunststoffe überhaupt entwickeln sollte. Der Ausdruck „urethan“ stammt von dem lateinischen Wort urea = Harnstoff und dem französischen Èthanol für Alkohol. Enthält doch die Urethangruppe die wesentlichen Bausteine dieser beiden Stoffe. Die chemische Formel für die Urethangruppe sieht so aus: – NH – CO – O –. Sie ähnelt stark der vorhin genannten Amidgruppe, unterscheidet sich von ihr jedoch durch ein zusätzliches Sauerstoffatom. Somit ist am Polyurethan die Tatsache bemerkenswert, dass seine Molekülketten ähnliche Bausteine enthalten wie das Polyamid.

### **PUR – vielseitigster Kunststoff**

Wir sagten, Otto Bayer habe seinen neuen Kunststoff aus „einem“ Polyalkohol und „einem“ Polyisocyanat gewonnen. Es gibt nämlich von beiden Stoffgruppen mehrere Spielarten, weshalb man Polyurethan in vielen Varianten herstellen kann: hart oder weich, mehr oder weniger elastisch, extrem leicht oder schwer, geschäumt oder massiv.

Wegen dieser Variationsbreite zählt das Polyurethan heute zu den wichtigsten Kunststoffen überhaupt. Es lassen sich daraus so unterschiedliche Produkte herstellen wie Fernsehgehäuse, Stretchcord, Fabrikhallen, Autositze und Stoßstangen, Polstermöbel, Skier, Schuhsohlen, Kühlschränke, Matratzen, Rollschuhe, Notunterkünfte.

Weil Polyurethane gummielastische Eigenschaften besitzen können, befasst sich die Kautschukindustrie mit diesen Materialien und weil es zwischen elastischen Produkten aus Kautschuk und solchen aus Nicht-Kautschuk keine klare Grenze gibt, benutzt man heute für alle gummielastischen Materialien den Oberbegriff „**Elastomere**“, gleich, ob sie aus der Richtung „Kautschuk“ oder dem Bereich „Kunststoffe“ kommen.

## **Grundstoff Erdöl**

Sowohl die Polyalkohole, kurz „**Polyole**“ genannt, als auch die **Polyisocyanate** werden im Allgemeinen aus Erdöl gewonnen, genauer gesagt aus dem Leichtbenzin im Erdöl. Das wird chemisch in zwei Stoffgruppen umgewandelt: zu **Aliphaten**, bei denen die Kohlenstoffatome im Molekül kettenförmig aneinandergereiht sind und zu **Aromaten**, deren Kohlenstoffatome Ringe bilden.

Bei entsprechender chemischer Umsetzung ergeben die Aliphate **Polyether** und **Polyester**, also Polyole.

Die Aromaten hingegen führen zu **Isocyanaten**. Da haben wir, was wir für die PUR-Produktion brauchen! Nebenbei bemerkt: Man kann verschiedene Polyole auch aus anderen Rohstoffen gewinnen, z. B. aus Zucker, aus Rüben, aus Stärke, aus Kartoffeln und aus dem Zuckeraustauschstoff Sorbit, großtechnisch hergestellt aus Mais. Die Polyurethan-Produzenten sind also nicht ausschließlich auf Erdöl angewiesen.

## **Ein Zufall führt zum Schaumstoff**

Als im Jahre 1940 der Chemiker **August Höchtlen** in Leverkusen im Labor Polyurethan herstellte, entwickelte der von ihm verwendete Polyester beim Mischen mit dem Isocyanat Kohlendioxid und das entstehende Polyurethan war von Bläschen durchsetzt. Höchtlens Polyester enthielt etwas Wasser, das mit dem Isocyanat reagierte und Kohlendioxid-Gas freisetzte. Höchtlens Bemühungen, den Polyester vor dem Mischen mit dem Isocyanat zu entwässern, misslangen, was ihn auf die Idee brachte, den Wassergehalt des Polyesters nicht zu vermindern, sondern im Gegenteil zu erhöhen. Das Resultat war verblüffend. Das Polyurethan enthielt so viele Blasen, dass es wie ein erstarrter Schaum wirkte – die Geburtsstunde des Schaumstoffs!

## **Die Schaumstoff-Fertigung**

Wie alle Polyurethane, lässt sich auch PUR-Schaum in den verschiedensten Varianten herstellen, von daunenweich bis extrem hart, von leicht (spezifisches Gewicht  $0,02 \text{ g/cm}^3$ ) bis schwer ( $0,8 \text{ g/cm}^3$ ), von grob- über mittel- bis feinporig – abhängig von den verwendeten Ausgangsstoffen und von der Fertigungsmethode.

Ausgangsstoffe für PUR-Schaum sind zunächst einmal Polyol und Isocyanat. Beide Substanzen werden aus **Vorrattanks** in den **Mischkopf** der Schäummaschine gepumpt.

In den Mischkopf werden ferner verschiedene **Zusatzmittel** eingedüst:

**Beschleuniger**, die für einen rascheren Ablauf der chemischen Reaktion sorgen,

**Stabilisatoren**, die bewirken, dass sich die Ausgangsstoffe gut vermischen und stabile Zellen entstehen,

**Treibmittel**, welche die Schaumbildung bewirken (für Weichschaum Wasser oder Kohlendioxid, für Hartschaum Pentan oder andere ozon-unschädliche Stoffe) und schließlich

**Farbpasten** zum Einfärben der Schaumstoffe. Bei der intensiven Vermischung aller Komponenten kommt es auf präzise Einhaltung der Temperatur und auf genaue Dosierung der eingesetzten Rohstoffe an.

### **Block- oder Formschaum?**

Will man Blockschaum herstellen, lässt man die gemischte, noch nicht aufgeschäumte Flüssigkeit rasch und zügig auf ein fortlaufendes Papierband auslaufen. Erst dort, an der freien Luft, schäumt die Masse hoch. Gewaltig hoch. Wächst doch ihr Volumen auf das 20- bis 60-fache. Dennoch dauert dieser Prozess nur zwei Minuten. Am Ende ergibt sich ein Endlos-Strang von bis zu 2,4 m Breite und 0,7 bis 1,2 m Höhe, der in der Regel alle 60 m durchgeschnitten wird. Allerdings ist das Produkt dann noch nicht ganz fertig.

Es muss **nachreagieren**, sozusagen ausreifen. Dies geschieht im Laufe von etwa 24 Stunden in einem Reifelager. Von hier laufen dann die 60 m langen Blöcke zu einer **Schneideanlage**, wo sie zugeschnitten werden: in kleinere Blöcke, in Streifen, in Platten von cm- oder sogar mm-Stärke und auch in lange Bahnen, die in Rollen bis 2,4 m Durchmesser aufgewickelt werden.

Aus diesem aufgeschnittenen Material lassen sich Zuschnitte und Stanzteile fertigen. Dichtungen beliebiger Form und Größe, Platten für stoßsichere Verpackungen, Einzelteile für Polstermöbel und Campingartikel, Matratzenkerne, Polster und Polsterplatten für Fahrzeuge, Schwämme, Isoliermaterial.

Bei der Fertigung von **Formschaumartikeln** gibt man ein genau bemessenes Quantum des vorbereiteten Gemischs in eine **Metall- oder Kunststoffform**, in der dann der Schäumprozess abläuft. Das Gemisch füllt innerhalb von Sekunden die Form völlig aus. Nach dem Öffnen der Form kann das fertige Teil herausgenommen werden. Auf diese Weise lassen sich Gegenstände auch komplizierter Form in einem einzigen Arbeitsgang herstellen: Fernsehgehäuse, Sonnenblenden, Armaturenbrett-Abdeckungen und Sitze für Automobile, Fahrradsättel, Schuhsohlen, Tische, Stühle und vieles andere.

## Wichtige Anwendungsgebiete: Matratzen ...

Bei einem der wichtigsten Schaumstoffartikel, der Matratze, kann der PU-Schaumstoff seine Variationsbreite voll ausspielen. Hier kann er nämlich den sehr unterschiedlichen Bedürfnissen der Menschen individuell angepasst werden. Und so gibt es für Matratzen ein ganzes Sortiment verschiedenartiger Schaumstoffe: festere und weichere, halbflexible, flexible und hochflexible, nachgiebige und stützende. Bei der Fülle der Möglichkeiten ergibt es sich fast wie von selbst, auch Kombinationen zu schaffen. So ist bei der Zweischicht-Matratze eine etwas härtere Schaumstoffunterlage mit einer weicheren, nachgiebigeren kombiniert, und nun kann man probieren und gegebenenfalls die Matratze wenden.

Noch raffinierter sind **Mehrfachkombinations-Matratzen** konstruiert (man muss hier tatsächlich schon „konstruiert“ sagen). Als Unterlage dient eine dicke, feste, tragende Schaumstoffschicht, darauf liegt eine dünnere weichere Zwischenschicht und ganz oben noch eine daunenweiche Abdeckung. Der Effekt: optimale **Körperanpassung**.

Stichwort: **Druckausgleich**. Der Idealfall, dass der Körper von der Schulter bis zum Oberschenkel mit annähernd gleichem Druck aufliegt, ist weitgehend Theorie. In der Praxis sollen die verwendeten Schaumstoffe dafür sorgen, dass sich die relativ hohen **Auflagedrücke** an Schulterpartie, Hüfte und Gesäß mit den niedrigeren Drücken an Rücken und Oberschenkeln ausgleichen. Rationell und perfekt gelöst wird diese Aufgabe mit Hilfe moderner CNC-gesteuerter **Konturenschneidanlagen**, die in den Schaumstoffkern **Luftkammern** hinein schneiden und dadurch aus ein- und derselben Schaumstoffqualität weichere Bereiche erzeugen können, was das Verkleben verschiedenartig profilierter Platten überflüssig macht.

Im Übrigen kann man bei der Matratzenfertigung der noch flüssigen Polyurethan-Mischung aus Gründen der Hygiene Pilz und Bakterien hemmende Substanzen begeben.

## ...und Autositze

So ein Autositz besteht aus dem Sitzpolster, der Rückenlehne und einer Kopfstütze. Dabei handelt es sich in der Regel um **Formschaumteile**, die schon beim Aufschäumen ihre Endform bekommen. Auch hier kombiniert man Teile mit unterschiedlichen Härtegraden.

Die **Anforderungen** an einen guten Autositz: luftdurchlässige Oberfläche (gegen das lästige Rückenschwitzen), große Zähigkeit und hohe Reißfestigkeit, sehr gute Stoß-Absorption und Schwingungsdämpfung und schließlich geringe Brandneigung.

## Unbegrenzte Möglichkeiten

Tatsächlich gibt es PUR-Schaumstoffe, die alle diese Eigenschaften aufweisen. Die Anwendungsmöglichkeiten von PUR-Schaumstoffen sind nahezu unbegrenzt. Wir finden sie als Unterschichten bei Teppichböden, als Formteile im Möbelbau, als Auskleidungsmaterial in Skischuhen, als Sportbodenbelag und Ball-Prallwände in Sporthallen, ganz allgemein im Bauwesen als Wandelement und Platten zur Wärme- und

Schallisolierung, im Maschinenbau als Dichtungen, Faltenbälge und dergleichen, um nur ein paar der zahllosen Anwendungen von PUR zu nennen.

Soll ein Stoßenergie aufnehmendes, steifes Material entstehen, so setzt man bei der PUR-Erzeugung Polyester-Polyole ein. Ist hingegen „Sprungelastizität“ erwünscht, nimmt man **Polyether-Polyole**. Im Übrigen lassen sich auch ganz bestimmte Spezial Eigenschaften erzielen, z. B. hohe Wärmebeständigkeit und verringerte Brennbarkeit oder hohe Wasseraufnahmefähigkeit (etwa bei Schwämmen) oder gezielte Porosität (vor allem für Filterzwecke).

### **Sonderfall „Integralschaum“**

Hier wird der Polyol-Isocyanat-Mischung als Treibmittel statt Wasser meist ein niedrig siedendes Lösungsmittel zugesetzt. Die Form, in der die **Aufschäumung** stattfindet, wird sorgfältig temperiert. Die Folge: Im Kern der Form schäumt das Polyurethan auf, im Wandungsbereich hingegen wird die Schäumung durch Kühlen von außen gestoppt. Das Ergebnis ist ein Schaumteil mit massiver Schale und zelligem Kern – eben ein „integrales“ Teil. Auf diese Weise fertigt man Armlehnen, Lenkräder, Stoßstangen, Kotflügel und Bugspoiler für Automobile.

### **Umwelt und Recycling**

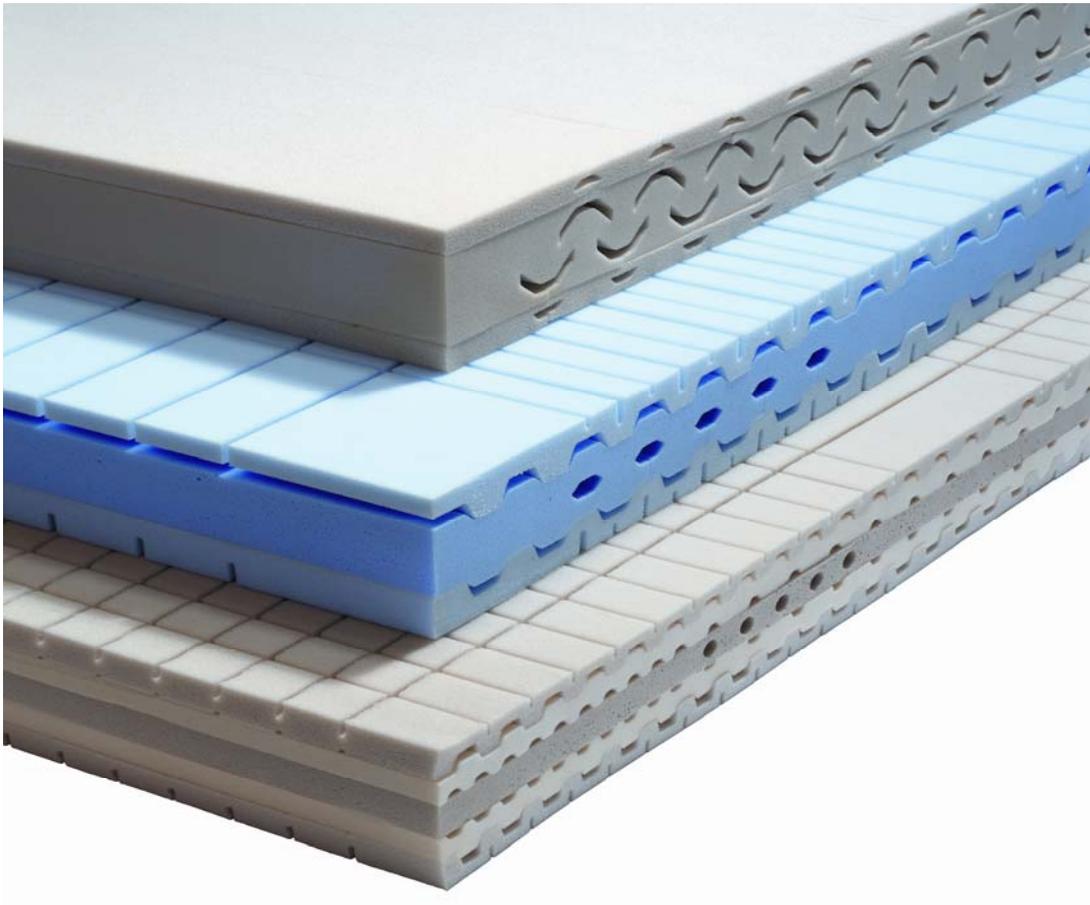
PUR-Weichschaum ist umweltverträglich, physiologisch unbedenklich und enthält weder Nitrosamine, Formaldehyd, PCB oder giftige Schwermetalle. In Deutschland wird seit 1992 ausschließlich Wasser und natürliches Kohlendioxid als Treibmittel bildende Komponente verwendet. Die Entsorgung ist sowohl auf Hausmülldeponien als auch in modernen Hausmüll-Verbrennungsanlagen zulässig und für das Recycling von PUR-Schaumstoffen gibt es verschiedene Verfahren in den Kategorien Materialrecycling, Chemisches und Thermisches Recycling.

### **Materialrecycling**

Auf Flockengröße zerkleinerter Schaumstoff wird unter Zusatz von Bindersystemen zum Ausgangsmaterial für Verbundschaum, der sich mit dem aus der Spanplattenherstellung bekannten **Klebpresen** zu interessanten Produkten, wie z. B. Pkw-Innenverkleidungen, Hutablagen, Paletten, Schallschluck-Elementen oder Walzenkernen verarbeiten lässt. Neue Zerkleinerungstechniken ermöglichen die Präzisionszerkleinerung von PUR-Fabrikationsresten bis in den Bereich von unter 0,1 mm zu einem materialkompatiblen Füllstoff, der zur gezielten Eigenschafts-Modifikation der Neuproduktion bestimmter Schaumprodukte beigegeben werden kann.

### **Chemisches und Thermisches Recycling**

Für die Rohstoff-Rückgewinnung stehen chemische Verfahren, wie **Hydrierung**, **Glycolyse** und **Pyrolyse** zur Wahl. Ihre Optimierung wird von der chemischen Industrie verfolgt. Der Wert des Thermischen Recycling, der Energie-Rückgewinnung durch Verbrennung in Heizkraftwerken, liegt in der Einsparung immer knapper werdender fossiler Brennstoffe.



Fotos: VWI