

Hennecke GmbH

Lehrplananbindung

Kopiervorlage / Unterrichtsinhalte, -ziele, -methoden

SI/II **Industrieunternehmen der Region (Sw, Ek, Ch, Bi)**

- (1) Unternehmensprofil der Hennecke GmbH (Information, Aufgabe)
- (1) Polyurethan-Werkstoffe im Alltag; Treibmittel zur Herstellung von Polyurethanschaumstoffen (Information, Aufgabe)

SI/II **Kunststoffe/Schaumstoffe/Polyurethane (Ch)**

- (2) Herstellung und Anwendung von Polyurethan-Schaumstoffen (Information, Aufgaben)
- (2) PUR-Hartschäume zur Temperaturisolierung (Information, Rechenaufgabe)

SI/II **Geschlossen- und offenzellige Schaumstoffe/Treibmittel zur Schaumstoffherstellung/Fluorchlorkohlenwasserstoffe (FCKW) / FCKW-Ersatzstoffe/Montrealer Konferenz zum Schutz der Erdatmosphäre (Ch,Sw)**

- (3) Weich- und Hartschäume aus PUR; offen- und geschlossenzellige Einstellung (Information)
- (3) Vor- und Nachteile von FCKW als Treibmittel; Ersatzstoffe für FCKW (Information)
- (4) Eigenschaften der Treibmittel im Vergleich (Tabelle)
- (4) Aufgaben zu Kopiervorlage 3 und 4
- (5) Auswirkungen der Beschlüsse der Montrealer Konferenz auf Politik, Wirtschaft und Verbraucher (Information, Aufgaben (Quellenanalyse))

Kontaktschule

Gymnasium am Ölberg
Weiler Weg 25
53639 Königswinter
Tel. u. Fax: (0 22 44) 33 04

Hennecke GmbH

Die Werkshallen und die Verwaltungsgebäude der **Hennecke GmbH** befinden sich an der Birlinghovener Straße in St. Augustin Birlinghoven, 10 km östlich von Bonn. Birlinghoven liegt an der Landstraße L 143, zwischen den Orten Niederpleis und Oberpleis.

Das 1945 gegründete Unternehmen produziert mit seinen zur Zeit etwa 400 Mitarbeitern Maschinen, Geräte und komplette Anlagen für die Herstellung und Verarbeitung von **Polyurethan-Werkstoffen**. Die Kurzform von Polyurethan lautet PUR. Dabei handelt es sich um Kunststoffe mit unterschiedlichen Erscheinungsformen.

Weiche und harte Schaumstoffe machen den größten Teil der Polyurethane aus, ein deutlich geringerer Teil kommt in seiner **nichtzelligen, massiven Form** zum Einsatz.

So sind beispielsweise die Rollen der Skateboards aus massivem Polyurethan. Weiche Schaumstoffe aus Polyurethan vermitteln Gemütlichkeit, und finden u.a. in der Polstermöbelindustrie Verwendung. Polyurethan-Hartschaum wird dagegen häufig zur Temperaturisolierung eingesetzt. In dieser Funktion findet man es in Kühl- und Gefriergeräten aber auch in Lager- und Produktionshallen sowie im Wohnungsbau.

Maschinen zur Fertigung von PUR-Werkstoffen

So unterschiedlich die Anwendung der Polyurethane ist, so verschieden sind auch die Maschinen, die zu ihrer Fertigung entwickelt werden müssen.

Eines jedoch gilt für alle Polyurethanmaschinen: Damit Polyurethan entstehen kann, müssen mindestens zwei flüssige Ausgangsstoffe aus getrennten Vorratsbehältern in einem vorgegebenen Verhältnis in einer Mischkammer zusammengeführt und zur Reaktion gebracht werden. Aus der Mischkammer wird das Reaktionsgemisch diskontinuierlich, also portionsweise in Formen oder kontinuierlich, also ununterbrochen auf Transportbänder gegeben.

Moderne Treibmittel: Chancen und Risiken

Damit ein Schaumstoff entstehen kann, muß während der Reaktion der beiden Ausgangsstoffe ein Gas als Treibmittel vorhanden sein, das den sich bildenden Kunststoff aufbläht. Lange Jahre galten Fluorchlorkohlenwasserstoffe als die idealen Treibmittel. Wegen der nachteiligen Wirkungen dieser FCKWs auf die Umwelt ist die Industrie seit einigen Jahren auf der Suche nach geeigneten Ersatzstoffen.

Einer der Vorreiter bei der Suche nach Ersatz-Treibmitteln war die Firma Hennecke. In Zusammenarbeit mit der Bayer AG hat man durch aufwendige Forschungsarbeiten aussichtsreiche Ersatzstoffe für FCKWs gefunden: In neuen Verfahren werden PUR-Weichschäume mit Kohlenstoffdioxid und PUR-Hartschäume mit dem Kohlenwasserstoff Pentan geschäumt.

Aus der Firmengeschichte

Nachdem in den 30er Jahren Otto Bayer die Grundlagen der Polyurethanchemie entdeckt hatte, baute Firmengründer Karl Hennecke in den 50er Jahren im Auftrag der Bayer AG die ersten industriell nutzbaren Maschinen zur Herstellung und Verarbeitung von PUR-Werkstoffen. Seit 1975 ist die Hennecke GmbH eine 100%ige Bayer-Tochter.

Heute werden weltweit ca. 8 Millionen Tonnen Polyurethan hergestellt - Tendenz steigend.



Produktions- und Verwaltungsgebäude der Hennecke GmbH in St. Augustin Birlinghoven an der Birlinghovener Straße



Das Logo der Firma Hennecke bringt das allgemeine Prinzip der Polyurethanverarbeitung zum Ausdruck. Die beiden Pfeile, die das „H“ umschließen, symbolisieren die beiden PUR-Ausgangskomponenten, die Pfeilspitzen deuten auf das Zusammenführen dieser zwei Stoffe in der Mischkammer hin.

Aufgaben

1. Fasse die wesentlichen Fakten zur Hennecke GmbH in wenigen Sätzen zusammen.
2. Die Herstellung von Fluorchlorkohlenwasserstoffen in den Industrieländern wird in wenigen Jahren verboten sein. Worin liegt die Ursache für das FCKW-Verbot?
3. Bei Hennecke hat man sich frühzeitig auf die Entwicklung neuer Produktionsverfahren konzentriert, mit denen Fluorchlorkohlenwasserstoffe (FCKW) durch Ersatzstoffe ausgetauscht werden. Nenne Chancen und Risiken einer solchen Strategie.

Polyurethan-Schaumstoffe

Ohne Polyurethan-Schaumstoffe läuft fast nichts mehr

Mit einem weltweiten Jahresverbrauch von ca. 8 Millionen Tonnen gehören die Polyurethane zu den wirtschaftlich besonders bedeutenden Kunststoffen. Sie werden vor allem zu Schaumstoffen verarbeitet. Schaumstoffe nehmen im Alltag eine immer größere Bedeutung ein, weil sie besonders leicht sind.

Wer jetzt aber glaubt, daß PUR-Schaumstoffe immer weich und elastisch sind, der irrt. Neben den Weichschäumen, die z.B. für die Herstellung von Polstermöbeln verwendet werden, fertigt man aus Polyurethan-Schaumstoffen oder kurz PUR-Schaumstoffen auch elastische Schuhsohlen, Automobillenkräder, aber auch harte Schäume für Kühlschränke, die du vielleicht noch nie gesehen hast, weil sie von außen unsichtbar die Hohlräume unserer Kühlschränke als Isoliermaterial füllen. PUR-Hartschaum wird auch für die Herstellung von Surfbrettern und Skier verwendet.

PUR-Schaumstoffe im Hausbau

Polyurethan-Schaumstoffe werden im Hausbau vor allem zur Wärmedämmung eingesetzt. Sie besitzen nur einen Bruchteil der Wärmeleitfähigkeit von Natursteinen. Ein einziger Zentimeter dieser Dämmstoffe erbringt als Isoliermaterial die gleiche Wirkung wie 15 cm dickes Mauerwerk oder eine 50 cm starke Betonwand.

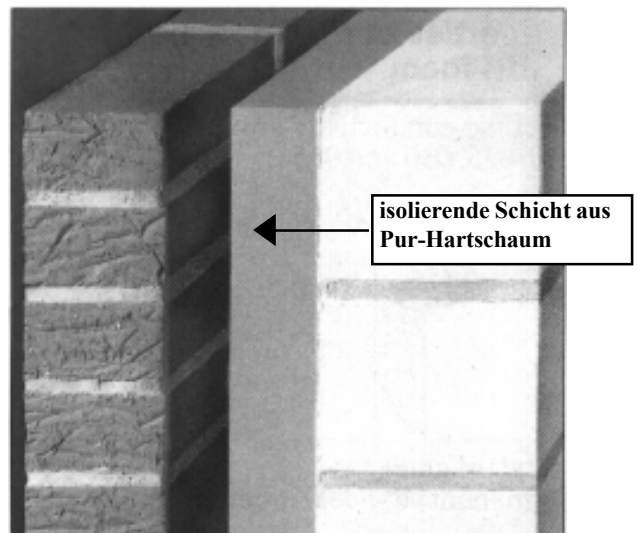
Hierzu ein Rechenbeispiel: Für ein Einfamilienhaus mit einer Wohnfläche von 160 Quadratmetern, das mit PUR-Hartschaum im Sinne der deutschen Wärmeschutzverordnung von 1995 gedämmt ist, wird bei einer normalen Heizperiode pro Jahr nicht mehr als 1600 Liter Heizöl verbraucht. In einem „ungedämmten“ Haus gleicher Größe müßten dagegen etwa 4000 Liter verfeuert werden. Um das Haus zu dämmen, werden rund 20 Kubikmeter Polyurethan-Hartschaumstoff benötigt. Der Energieaufwand zur Herstellung eines Kubikmeters des Schaumstoffs beträgt etwa 135 Liter Heizöl.

Fragen zum Rechenbeispiel

1. Nach welcher Zeit erzielt man unter Berücksichtigung der genannten Zahlen mit der wärmedämmenden Maßnahme eine positive Energiebilanz?
2. Kannst du Gründe dafür nennen, daß nicht jedes Haus durch die Verwendung von Polyurethan-Hartschaum temperaturisoliert wird?

Zufällige Erfindung von Polyurethan-Schaumstoffen

In den 30er Jahren dieses Jahrhunderts erfindet der deutsche Chemiker Otto Bayer (1902-1982) das Verfahren zur Herstellung des Kunststoffes Polyurethan. Dabei handelte es sich wohlge-merkt zunächst nicht um einen Schaumstoff. Zur Herstellung eines Polyurethan-Schaumstoffes kam ihm der Zufall zu Hilfe. Als er die Reaktion, die zur Herstellung des Kunststoffes führte, zur Probe in Gegenwart geringster Mengen Wasser ausführte, erhielt er ein Produkt, das stark mit Poren durchsetzt war. Es kam aus der Qualitätskontrolle mit der Bemerkung zurück: „Allenfalls brauchbar zur Herstellung einer Emmentaler Käse-Imitation“. Das was als Spaß gemeint war, brachte Bayer auf die Idee, den neuen Kunststoff gezielt zu Schaumstoffen zu verarbeiten.



isolierende Schicht aus Pur-Hartschaum

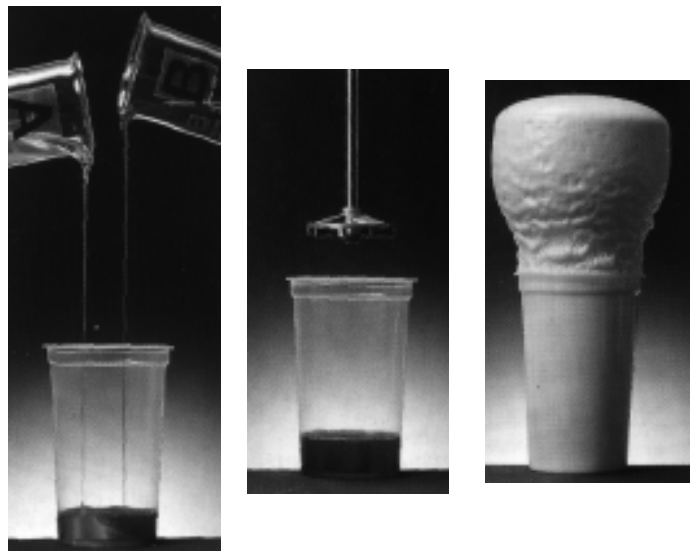
Nur mit besonderen Wärmeschutzmaßnahmen lassen sich die nach der neuesten Wärmeschutzverordnung geforderten Energieeinsparungen verwirklichen. Das Bild zeigt die Verwendung von Polyurethan-Hartschaum im Hausbau. Eine isolierende Schaumstoffschicht befindet sich zwischen der Innen- und Außenmauer des Hauses.

Herstellung von PUR-Schaumstoffen

Für die Herstellung von PUR-Schäumen gibt man mindestens zwei flüssige Ausgangsstoffe zusammen. Nach dem Vermischen reagieren diese unter Bildung eines Kunststoffes miteinander. Es bildet sich ein Schaumstoff, da während der Reaktion ein Gas entsteht, das das Aufblähen bewirkt.

Dieser Vorgang ist mit dem Kuchenbacken vergleichbar. Im Backofen treibt Kohlenstoffdioxid, das Atemgas der Backhefe, den Teig in die Höhe.

Im Falle des Polyurethans ist es ebenfalls gasförmiges Kohlenstoffdioxid, welches den Kunststoff zum Schäumen bringt. Für die industrielle Fertigung von PUR-Schaumstoffen werden neben dem bei der Reaktion entstehenden Kohlenstoffdioxidgas zusätzlich Treibmittel verwendet, über die du auf der folgenden Kopiervorlage Näheres erfährst.



Aufgabe:

1. Nenne Gegenstände aus dem Alltag, die aus PUR-Schaumstoffen hergestellt sein könnten.



Mittel, die Polyurethan zum Schäumen bringen (Infoblatt)

Hart- und Weichschäume aus Polyurethan

PUR-Schaumstoffe kann man grob in **Weich- und Hartschaumstoffe** unterscheiden. Unter dem Mikroskop erkennt man, daß PUR-Schaumstoffe **geschlossen- und offenzellig** sein können (siehe Abbildungen rechts).

Verbände aus geschlossenen Schaumzellen sind typisch für Hartschaumstoffe aus Polyurethan. Die Schaumstoffzellen enthalten entweder Kohlenstoffdioxid oder ein anderes zum Schäumen verwendetes Gas (siehe Text unten). PUR-Weichschaumstoffe sind dagegen in der Regel offenzellig. Offenzellige Schaumstoffe entstehen, wenn die Zellwände in der letzten Phase des Schäumprozesses aufbrechen und sich das PUR-Material auf ein Gerüst aus elastischen Stegen zurückzieht.

Insgesamt sind PUR-Schaumstoffe Leicht-Werkstoffe. Die leichtesten dieser Schaumstoffe bestehen zu 98 - 99% ihres Volumens aus Luft, wenn es sich um offenzellige Schaumstoffe handelt oder aus gasförmigen Treibmitteln bei geschlossenzelliger Einstellung. Der leichteste PUR-Weichschaum wiegt beispielsweise nur 10 kg pro Kubikmeter.

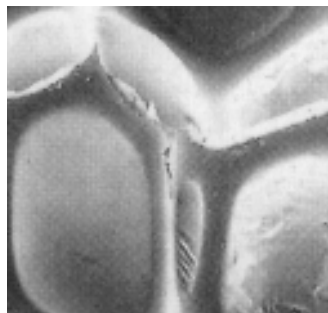
Nicht zuletzt wegen ihrer offen- oder geschlossenzelligen Einstellung weisen Weich- und Hartschäume aus Polyurethan unterschiedliche Eigenschaften auf. Aus diesen unterschiedlichen Eigenschaften ergeben sich verschiedene Anwendungsgebiete für die Schaumstoffe.

Mittel zum Schäumen

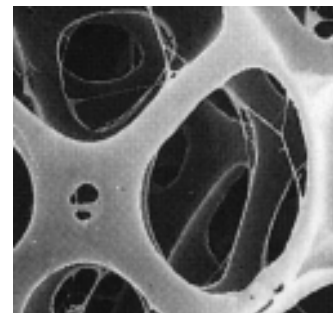
Die ersten PUR-Schaumstoffe wurden hergestellt, indem man den Ausgangsstoffen Spuren von Wasser beimischte. Wasser reagiert mit einem der beiden Ausgangsstoffe unter Freisetzung von **Kohlenstoffdioxidgas (CO₂)**, das den entstehenden Kunststoff zum „Schäumen“ bringt. Es ist das „Basisblähmittel“ eines jeden PUR-Schaumstoffes. Neben dem bei der Reaktion freigesetzten CO₂ werden bei der Schaumstoffherstellung aus PUR in den meisten Fällen zusätzliche Treibmittel eingesetzt. Bei diesen handelt es sich um sogenannte „physikalische Blähmittel“. Das sind niedrigsiedende Verbindungen, die durch die Reaktionswärme in den Gaszustand überführt werden und dadurch das sich bildende PUR aufblähen. Physikalische Treibmittel werden immer dann eingesetzt, wenn der Schaumstoff besonders leicht sein soll oder wenn er als Isoliermaterial verwendet wird.

Ein typisches physikalische Blähmittel aus der Gründerzeit der PUR-Schaumstoffherstellung erlangte in den 80er Jahren traurige Berühmtheit - **Fluorchlorkohlenwasserstoffe** oder kurz **FCKW**. Diese Stoffe wurden ab Ende der 50er Jahre für das Schäumen fast aller PUR-Schaumstoffe verwendet. Mit diesen Treibmitteln ließen sich maßgeschneiderte Polyurethanschäume herstellen, die optimale Eigenschaften für viele Anwendungen aufwiesen. FCKWs sind unbrennbar, für den Menschen ungiftig und sie besitzen eine besonders niedrige Wärmeleitfähigkeit. Die mit FCKW produzierten Hartschäume traten ihren Siegeszug als Isoliermaterial in Kühlschränken und Kühltruhen sowie im Wohnungsbau an. Die zum Schäumen verwendeten FCKWs verbleiben in den geschlossenen Zellen der PUR-Hartschäume.

Als man die ozonabbauende Wirkung der Fluorchlorkohlenwasserstoffe erkannte, fand zu Beginn der 90er Jahre eine intensive Suche nach Ersatzstoffen für diese Treibmittel statt. An der Suche war auch die Firma Hennecke in Kooperation mit der Bayer AG beteiligt. Ende 1992 fand man ein geeignetes Verfahren zum FCKW-freien Ausschäumen von Kühlmöbeln.



geschlossenzellige Struktur



offenzellige Struktur

PUR-Weichschaumstoffe sind leicht und reversibel verformbar. Wegen ihrer Offenzelligkeit sind sie gut luftdurchlässig. Diese Eigenschaft machen sie zu hervorragenden Polstermaterialien für die Möbel- und Automobilindustrie.

PUR-Hartschaumstoffe sind wie Weichschaumstoffe leicht, anders als diese aber hart, stabil und nicht verformbar. Bei geschlossenzelliger Struktur eignen sie sich besonders zur Wärmedämmung und tragen in vielfältiger Anwendung erheblich zur Reduzierung des Energieverbrauchs bei. Wegen ihrer Stabilität sind sie außerdem Konstruktionswerkstoffe mit einem niedrigen Gewicht. Aufgrund dieser beiden Eigenschaften wird PUR-Hartschaum weltweit als Dämmstoff in Kühlschränken wie im Kühlhausbau, aber auch im Industrie- und Wohnungsbau verwendet.

Polyurethan-Hartschäume werden hierbei unter Verwendung des Kohlenwasserstoffes **Pentan** hergestellt. Pentan wird wie die FCKWs früher als physikalisches Treibmittel eingesetzt. Die Umstellung von FCKW als Treibmittel auf Pentan war dabei keineswegs einfach zu lösen. Hauptursache hierfür ist der Umstand, daß Pentan im Gegensatz zu FCKW entzündlich und leicht brennbar ist. Die technische Herausforderung lag also vor allem darin, die Gefahr von Bränden und Explosionen bei der Verwendung von Pentan als Schäumungsmittel möglichst völlig auszuschließen.

Zur Herstellung von PUR-Weichschäumen wird in einem neuen Verfahren zusätzlich zu dem chemisch freigesetzten CO₂ zusätzlich weiteres **Kohlenstoffdioxidgas** in das sich bildende Polyurethan eingetrieben. Das Verfahren wird vor allem immer dann angewendet, wenn man Leichtschäume herstellen will für die das aus der chemischen Reaktion freigesetzte CO₂ nicht ausreicht.

Isolierschicht aus PUR-Hartschaum in einem Kühlschrank



Mittel, die Polyurethan zum Schäumen bringen (Arbeitsblatt)

Wie du auf der Seite vorher erfahren hast, werden zum Schäumen von Polyurethanen verschiedene Treibmittel eingesetzt. Dabei kommen anstelle der früher verwendeten **Fluorchlorkohlenwasserstoffe (FCKW)** aus Gründen des Klimaschutzes heute überwiegend Stoffe wie **Fluorkohlenwasserstoffe (FKW)** oder **Kohlenwasserstoffe** wie z.B. Pentan zum Einsatz, die sich nicht schädlich auf die Ozonschicht (ODP = 0, siehe Tabelle) auswirken.

Die Anstrengungen, auf Ersatzstoffe für FCKW umzusteigen, zeigen bereits erste Erfolge: In der unteren Atmosphäre nimmt die Konzentration der ozonschädigenden Stoffe bereits ab, so daß berechnete Hoffnung besteht, daß das Ozonloch zu Beginn des nächsten Jahrtausends über der Antarktis kleiner wird - vorausgesetzt, daß die konzentrierte Umstellung auf FCKW-Ersatzstoffe konsequent weitergeführt wird.

Im Falle des Polyurethan-Hartschaums, der hauptsächlich zu Isolationszwecken verwendet wird, befinden sich die Zellgase ein-

geschlossen in den Schaumzellen. Diesem Umstand macht man sich zunutze, indem man Gase mit möglichst niedriger Wärmeleitfähigkeit verwendet. Darüber hinaus sollten die Zellgase möglichst dauerhaft in den Zellen eingeschlossen bleiben. Leider hat sich herausgestellt, daß Kohlenstoffdioxid in dieser Beziehung die ungünstige Eigenschaft aufweist, schnell aus den Schaumzellen hinauszudiffundieren.

Vergleicht man die Zellgase in den Polyurethanschaumstoffen hinsichtlich ihres Potentials zum Ozonabbau (**ODP**, siehe Tabelle) und zur Aufheizung der Erdatmosphäre (**GWP**, siehe Tabelle), dann stellt man fest, daß die Fluorchlorkohlenwasserstoffe und hierbei speziell FCKW 11 die schlechtesten Werte aufweisen. Man ordnet den Stoffen je nach Schädigungspotential Zahlenwerte zwischen 0 und 1 zu. Setzt man FCKW 11 mit den schlechtesten Werten zu 1, dann haben die anderen Zellgase relativ dazu die in der Tabelle angegebenen Werte.

Eigenschaften verschiedener Zellgase in Polyurethanschaumstoffen

Zellgas	Formel	Wärmeleitfähigkeit (W/K • m) • 1000	Brennbarkeit	ODP ¹⁾	GWP ²⁾
FCKW 11	CCl ₃ F	8,0	-	1	1
HKW 134a	CH ₂ F-CF ₃	14,1	-	0	0,25 - 0,29
n-Pentan	C ₅ H ₁₂	13	brennbar	0	0,00044
Luft	N ₂ / O ₂	29	-	0	-
Kohlenstoffdioxid	CO ₂	17	-	0	0,00025

¹⁾ ODP = Ozone Depletion Potential (engl.), bedeutet auf deutsch „Ozonabbaupotential“

²⁾ GWP = Global Warming Potential (engl.), bedeutet auf deutsch „Potential zur globalen Erwärmung der Erdatmosphäre“

Zur Lösung der folgenden Aufgaben sollte vorher das Infoblatt (Kopiervorlage 3) durchgearbeitet werden.

Aufgaben:

- Fluorchlorkohlenwasserstoffe wie FCKW 11 und Kohlenwasserstoffe wie Pentan können als Treibmittel für die PUR-Herstellung benutzt werden. Beschreibe mit deinen Worten, wie man sich den Vorgang des Schäumens mit diesen Stoffen erklären kann.
Warum werden FCKWs und Pentan als physikalische Treibmittel bezeichnet?
- PUR-Weichschäume fühlen sich schwammartig an, sie geben bei Druck leicht nach und gehen anschließend wieder in den Ausgangszustand zurück. PUR-Hartschaum ist dagegen anders als PUR-Weichschaum nicht reversibel verformbar. Erkläre diese Tatsache anhand der Beobachtung der Offen- bzw. der Geschlossenzelligkeit dieser Schaumstoffe.
- Wie stellt man einen besonders leichten PUR-Weichschaum her?
- Betrachte die Tabelle oben mit den Eigenschaften der häufig verwendeten Treibmittel bzw. den in den Schaumzellen befindlichen Zellgasen.
 - Vergleiche anhand der Daten die Eignung von Hart- und Weichschäumen aus Polyurethan zur Verwendung als Dämmmaterial zur Temperaturisolierung.
 - Polyurethan, das als Isoliermaterial in Kühlschränken verwendet wird, kann unter Einsatz von FCKW 11 oder den Ersatzstoffen HKW 134a und Pentan geschäumt werden.
 - Vergleiche die Treibmittel aus der Sicht der Hersteller.
 - Vergleiche die Treibmittel unter Umweltgesichtspunkten.

Streitfall FCKW-Ersatzstoffe - gefragt sind Politik, Wirtschaft und Verbraucher

Das Montrealer Protokoll

1987 beschlossen sämtliche EG Mitglieder und 24 weitere Staaten auf der Montrealer Konferenz zum Schutz der Ozonschicht, Produktion und Verbrauch der FCKW ab 1993 um 20% zu reduzieren und 1998 zu halbieren.

Auf der zweiten Vertragsstaatenkonferenz zum Montrealer Protokoll im Juni 1990 wurden die Regelungen in sofern verschärft, als alle der mittlerweile mehr als 140 Vertragspartner bis zum Jahre 2000 die Produktion von FCKW einzustellen haben.

Zwei Jahre später wurde der Termin für den Herstellungsstopp auf den 1. Jan. 1996 vorgezogen. Für einige Entwicklungsländer wurden Übergangslösungen vereinbart.

Den Unterzeichnern des Montrealer Protokolls ist es untersagt, FCKWs oder FCKW-haltige Produkte aus Nicht-Vertragsstaaten zu importieren.

Zwei Schritte vor , einer zurück

„Auch über der Nordhalbkugel schwindet die Ozonschicht“ lautete die Hiobsbotschaft des vergangenen Jahres. Die über neunzig Teilnehmerstaaten, die 1987 das Montrealer Protokoll unterzeichnet hatten, beschlossen deshalb auf der Folgekonferenz in Kopenhagen eine schnellere Gangart. 1994, spätestens 1995 sollte die Produktion der Ozonkiller FCKW gestoppt werden. Für die Kühl- und Schaumindustrie mußten dringend Alternativen her.

Schonenden Umgang mit dem atmosphärischen Ozon verspricht der Fluorkohlenwasserstoff R134a. Die Chemische Industrie hat deshalb erhebliche Mittel investiert, um auf diesen Ersatzstoff umzurüsten. Der amerikanische Chemiegigant Du Pont etwa ließ sich den FCKW-Ausstieg 500 Millionen Dollar kosten. Bei dem derzeitigen Marktpreis von 20-30 Mark pro Kilogramm – drei bis viermal so hoch wie von FCKW – geht es um Milliardenumsätze. Vorreiter sind international die

Deutschen. Auf Betreiben von Bundesumweltminister Töpfer steigen die Hersteller Hoechst und Solvay bereits Mitte dieses Jahres endgültig auf R134a um. Diesen freiwilligen Schritt bereut man mittlerweile in den Chefetagen beider Unternehmen. Denn seit die Kommission der Europäischen Union im Februar den Import von 130.000 Tonnen FCKW, Halonen und anderen Ozonkillern aus Drittländern billigte, ist man dort „stinksauer“ so Solvay-Sprecher Michael Ruhland. Der ökologische Goodwill der beiden deutschen Anbieter wird womöglich damit belohnt, daß sie auf ihrem R134a sitzen bleiben.

Der Hintergrund: In der Europäischen Union wird zwar die Produktion von FCKW verboten, nicht jedoch – wie in Deutschland – auch ihre Anwendung. Kommerzielle Betreiber von Kälteanlagen könnten sich mit FCKW aus China, Rußland oder Indien behelfen.

aus bild der Wissenschaft 5/1994

Wege aus der Krise

Durch die strenge Zeitvorgabe der Montrealer Konferenzen wurde die Industrie zu hektischer Eile bei der Suche nach Ersatzstoffen für FCKW getrieben.

Ein erster Hoffnungsträger war der Fluorkohlenwasserstoff (FKW) mit der Bezeichnung R134a. Durch das Fehlen von Chloratomen im Molekül weist die Substanz kaum ozonschädigende Wirkungen auf. Wie FCKW ist der Stoff nicht brennbar, chemisch stabil und zum Schäumen von Polyurethan oder als Kühlmittel in Kühlschränken geeignet. Allerdings hat R134a einen entscheidenden Nachteil. Der Stoff heizt – wie FCKWs auch – das Erdklima auf. Sein Treibhauspotential beträgt das 3200 fache von Kohlenstoffdioxid (CO₂). 1994 wurden von dieser Substanz etwa 20.000 Tonnen produziert, das entspricht dem Treibhauseffekt von 640 Millionen Tonnen CO₂.

Aufgetaut

„Mit Hängen und Würgen“ sei der von Umweltminister Klaus Töpfer vorgegebene Termin gerade mal zu schaffen“, sagte Dr. Horst Heinrich, Entwicklungsleiter bei Liebherr, vor knapp zehn Monaten: Ein FCKW-freier Kühl- oder Gefrierschrank vor dem offiziellen Ausstiegsjahr 1995? Nicht denkbar.

Da trat David auf den Plan: Die kleine ostdeutsche Firma dkk Scharfenstein - heute Foron - die kurz vor dem Konkurs stand. Sie griff den Strohhalm, als sie für Greenpeace zehn Vorzeige-Kühlschränke produzierte. Was den Großen angeblich Kopfzerbrechen machte, klappte hier ohne Schwierigkeiten. Die Dämmplatten, normalerweise aus FCKW-geschäumtem Polyurethan, wurden einfach durch Styropor ersetzt. Beim Kältemittel erwies sich eine Propan-Butan-Mischung als durchaus tauglich.

Eine explosive Mixtur sei das, krittelten die westdeutschen Goliaths und versuchten den dkk-Kühlschrank in Fachkreisen madig zu machen. 70.000 Bestellungen registrierte die

Umweltorganisation Greenpeace. Daraufhin sprangen die anderen flugs auf den Zug auf.

Kurze Zeit später stellten fast alle großen Anbieter FCKW-freie Kühl- und Gefriergeräte vor. Mit Eigenlob wird jetzt nicht mehr gespart. Als „entscheidenden Durchbruch zu einer umweltfreundlichen Technologie“ vermarktet Liebherr seine FCKW-freien Modelle. Pentan als Treib- und Isoliergas im Polyurethanschaum, die Propan-Butan-Mischung als Kältemittel. Doch auch bei den FCKW-freien Alternativen lohnt sich das Hinschauen. Die meisten Hersteller haben sich zumindest beim Kältemittel für den Fluorkohlenwasserstoff (FKW) R134a entschieden. Einige setzen ihn zusätzlich noch als Treib- und Isoliergas in der Dämmung ein. Das FKW schädigt zwar die Ozonschicht nicht, doch im Vergleich zu Kohlendioxid, Pentan oder Propan und Butan schneidet R134a schlecht ab: Es heizt die Atmosphäre deutlich stärker auf.

aus ÖKO-TEST 3-94

Aufgaben

1. Warum wurden die Beschlüsse der Konferenz von Montreal in mehreren Schritten verschärft?
2. Beschreibe die Probleme mit dem FCKW-Ersatzstoff R134a für Industrie und Umwelt. Inwiefern unterläuft die Europäische Union die Montrealer Beschlüsse?
3. Wie können die Verbraucher Einfluß auf die Umsetzung von Umweltschutzabkommen nehmen? Beschreibe anhand der Textpassagen.

Einsatzmöglichkeiten der Kopiervorlagen im Unterricht und Anbindung an die Lehrpläne

In der vorliegenden Form sind die Arbeitsblätter schwerpunktmäßig auf den Mittelstufenunterricht im **Fach Chemie in der Jahrgangsstufe 10** zugeschnitten. Dort lassen sie sich beispielsweise im Rahmen der unterrichtlichen Behandlung des Themas „**Kunststoffe**“ problemlos einsetzen.

Denkbar ist ebenfalls ein Einsatz im Oberstufenunterricht Chemie. In diesem Fall sollten die chemischen Grundlagen der Polyurethansynthese mitberücksichtigt werden. Die Reaktion von Diisocyanaten mit Polyolen zu Polyurethan ist die bedeutendste Polyadditionsreaktion und sollte nicht zuletzt deshalb unterrichtlich behandelt werden.

Die Arbeitsblätter lassen sich darüber hinaus im Zuge der thematischen Behandlung der **Fluorchlorkohlenwasserstoffe (FCKW)** und ihrer ozonabbauenden Wirkung einsetzen.

Die Arbeitsblätter können schließlich dazu dienen, den Auftrag der Schule zur Umwelterziehung der Schüler zu unterstützen, indem sie aufzeigen, daß die Herstellung der Waren und Produkte des täglichen Lebens mit Risiken verbunden ist, die zu möglichen Rückwirkungen auf Natur, Umwelt und den Menschen führen können. Es kann gezeigt werden, daß ständige Anstrengungen der Industrie allgemein und der Chemischen Industrie im Besonderen nötig sind, um umweltverträglichere Verfahrensweisen zu finden und anzuwenden.

Informationen, Bemerkungen, Lösungen zu den Kopiervorlagen

Kopiervorlage 1

Die Kopiervorlage 1 reißt neben einer kurzen Darstellung der Hauptgeschäftsfelder der Hennecke GmbH die zwei Hauptthemen an, die auf den folgenden Arbeitsblättern vertiefend behandelt werden - Polyurethanschäume und die Treibmittel zu ihrer Herstellung.

Das universelle Treibmittel der frühen Jahre der Polyurethanherstellung, FCKW, ist in den letzten Jahren durch umweltverträgliche Stoffe ersetzt worden. Die Schüler sollen in einer ersten Sammlungsphase Probleme benennen, die mit dem Einsatz von FCKW in Industrie und Haushalten verbunden sind.

Zu den Aufgaben

4. Das Risiko, die Vorreiterrolle in der Entwicklung neuer Verfahren zum FCKW-freien Schäumen von Polyurethanen einzunehmen, lag vor allem darin, daß der Markt sich möglicherweise nicht so dynamisch wie erhofft auf die neuen Anforderungen einstellt, und daß sich die teuren Entwicklungskosten dadurch erst spät oder überhaupt nicht amortisieren. Die Chance innovativer Handlungsstrategien liegen vor allem darin, die Marktposition des eigenen Unternehmens langfristig zu verbessern, wenn die mit umweltverträglicheren Verfahren hergestellten Produkte sich auf dem Markt durchsetzen.

Kopiervorlage 2

Kopiervorlage 2 bietet den Schülern einen Einblick in die Vielfalt der Anwendungen von Polyurethan-Schäumen. Am Beispiel der Verwendung von Polyurethan-Hartschaum für den Hausbau lernen die Schüler eine der wichtigsten Funktionen dieser Produkte kennen, ihren Einsatz als Material zur Wärmedämmung.

Anhand des Rechenbeispiels lernen die Schüler, daß die Dachisolierung mit PUR-Hartschaum bereits nach einem Jahr zu einer positiven Energiebilanz führt, wenn man ausschließlich die durch die Maßnahme zu erwartende Öleinsparung dem Ölverbrauch für die Herstellung des Schaumstoffes gegenüberstellt. Insgesamt bleibt festzuhalten, daß der einmaligen Investition für die Durchführung der Maßnahme zur Temperaturisolierung jährliche Einsparungen durch den niedrigeren Energieverbrauch gegenüberstehen, die dazu führen, daß bereits nach wenigen Jahren die Amortisierung erfolgt.

Die Schüler lernen, daß Polyurethan aus der Reaktion von mindestens zwei Ausgangsstoffen gebildet wird, und daß ein PUR-Schaumstoff entsteht, wenn während der Reaktion ein Gas entsteht oder eingeleitet wird, daß das noch flüssige Polyurethan aufbläht.

Ergänzungen zu Kopiervorlage 2

Die Herstellung von PUR-Schaumstoff läßt sich am beobachtbaren Phänomen leicht beschreiben und erklären. Ein Schaumpilz aus Polyurethan ist im Unterricht einfach herzustellen. Aus den vorformulierten flüssigen Ausgangsstoffen bildet sich nach deren Zusammenführen und Vermischen ein neuer Stoff mit neuen Eigenschaften. Beobachtungsaufgaben zur Reaktion können dabei u.a. folgende sein:

- Temperaturerhöhung während der Reaktion (Thermometer)
- Die Abbindezeit als Zeitspanne vom Zeitpunkt $Z = 0$ bis zum Zustand der ersten Verfestigung; sie kann gemessen werden, indem man mit einem hölzernen Schaschlikspieß in den sich bildenden Schaumpilz sticht und ähnlich wie beim Kuchenbacken feststellt, wann die Masse im Innenraum nicht mehr flüssig ist.
- Die Steigzeit als Zeitspanne vom Zeitpunkt $Z = 0$ bis zum Erreichen der vollen Schaumhöhe (Zollstock).
- Die Klebefreiheit als Zeitspanne vom Zeitpunkt $Z = 0$ bis zum Erreichen einer klebefreien Oberfläche; die Klebefreiheit kann mit einem Bierdeckel (nicht mit den Fingern) festgestellt werden.
- Volumenzunahme (Berechnung der Anteile des Feststoffes am Gesamtvolumen).

Wenn man die Ausgangsparameter durch Variation der Mischungsverhältnisse der Ausgangsstoffe verändert, kann man deren Auswirkungen auf die Untersuchungsparameter im Sinne eines forschend-entwickelnden Unterrichts von den Schülern erforschen lassen.

Die Eigenschaften des neuen Stoffes (Polyurethan-Schaumstoff) sollten von den Schülern untersucht und in einem „Steckbrief“ festgehalten werden.

Kopiervorlage 3

Hierbei handelt es sich um ein Informationsblatt mit zwei Schwerpunkten. Im oberen Teil wird die unterschiedliche Struktur von Polyurethan-Schäumen dargestellt, im unteren Teil werden Treibmittel zur Schaumstoffherstellung beschrieben.

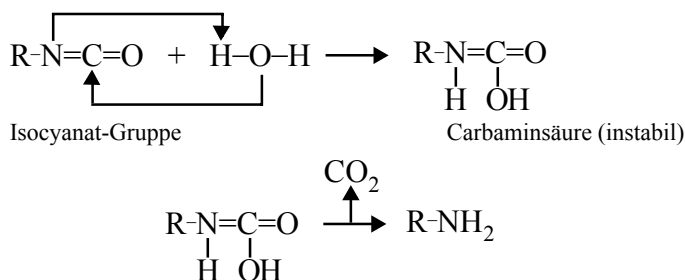
Ergänzungen zu Kopiervorlage 3

- Ausgehend von der Struktur offen- und geschlossenzelliger PUR-Schaumstoffe sollten die Schüler die Eigenschaften zelliger PUR-Schaumstoffe durch praktische Erfahrungen nach-

Hintergrundinformationen

vollziehen können. Dazu sollten sie Proben dieser Stoffe im Unterricht u.a. untersuchen auf Härte, Elastizität, Dichte, Verhalten beim Erhitzen, Aussehen unter dem Mikroskop. Gleichzeitig bietet sich ein Vergleich dieser künstlichen Schaumstoffe mit zelligen Naturstoffen, wie z.B. Kork oder Naturschwamm an.

- Im Oberstufenkurs geht man auf die Grundlagen der Schaumstoffherstellung mit CO₂ als chemisches Treibmittel ein. Dieses entsteht bei der Reaktion von Wasser mit Isocyanaten.



Kopiervorlage 4

Lösungen zu den Aufgaben

- Die Zellgase in den geschlossenen Schaumzellen üben bei Druck einen Gegendruck aus. Aus diesem Grunde sind geschlossenzellige Schaumstoffe nicht verformbar.
- Besonders leichte PUR-Schaumstoffe stellt man u.a. durch Höherdosierung des Treibmittelzusatzes her.
- Neben ihrer ungenügenden Festigkeit haben PUR-Weichschaumstoffe den Nachteil, daß ihre Zellen mit Luft gefüllt sind. Luft hat aber eine vergleichsweise hohe Wärmeleitfähigkeit.
 - FCKW 11 ist aus technischer Sicht ein ideales Treibmittel. Es weist eine niedrige Wärmeleitfähigkeit auf und ist unbrennbar. Ähnliche Eigenschaften hat der Ersatzstoff HFKW 134a, ein Fluorkohlenwasserstoff. Pentan hat zwar eine niedrige Wärmeleitfähigkeit, ist aber brennbar.
 - Fluorchlorkohlenwasserstoffe tragen in starkem Maße zum Ozonabbau und zur Erwärmung der Erdatmosphäre bei. Fluorkohlenwasserstoffe haben zwar keine ozonabbauende Wirkung, ihr Treibhauseffekt ist aber um das 3200fache höher als das von Kohlenstoffdioxidgas. Pentan bekommt aus der Sicht des Umweltschutzes im Vergleich zu den anderen genannten Treibmitteln die besten Noten.

Hintergrundinformationen:

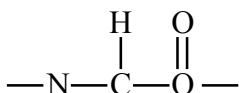
Hennecke GmbH

Die Firma Hennecke wurde 1945 von Karl Hennecke gegründet. Das damals kleine Familienunternehmen ist heute ein Teil des Bayer-Konzerns. Hennecke ist mit ca. 400 Angestellten und 30 Auszubildenden am Standort Deutschland vertreten. Weltweit beschäftigt die Hennecke-Gruppe ca. 700 Mitarbeiter.

Hennecke ist führend in der Polyurethantechnologie und entwickelt und baut innovative Anlagen für die Automobil-, Bau-, Kühlmöbel sowie die Sport- und Freizeitindustrie. Mit der Entwicklung der Pentan Process-Technologie (PPT) hat das Unternehmen maßgeblich dazu beigetragen, daß Polyurethan-Hartschäume heutzutage nicht mehr mit FCKW oder FKW, sondern überwiegend mit dem umweltverträglicheren Treibmittel Pentan geschäumt werden. Die bei Hennecke entwickelten Anlagen werden weltweit exportiert und vor Ort aufgebaut. Für dieses Verfahren erhielt die Firma Hennecke 1994 den Umweltpreis des Rhein-Sieg-Kreises.

Polyurethane

Der Begriff Polyurethane bezeichnet Kunststoffe, die durch Polyadditionsreaktion von multifunktionellen Isocyanaten mit reaktionsfähigen „wasserstoffaktiven“ Verbindungen entstehen, die mindestens zwei OH-Gruppen tragen. Der Name Polyurethan (Abkürzung: PUR) leitet sich von der dabei überwiegend gebildeten Urethangruppe ab



Die Polyadditionsreaktion wurde 1937 von Otto Bayer, einem Chemiker der damaligen IG-Farbenindustrie, in Leverkusen entdeckt und für die kommerzielle Nutzung entwickelt. Die Polyaddition von Diisocyanat- mit Diolmolekülen verläuft in Gegen-

wart eines Katalysators unter milden Reaktionsbedingungen ohne Abspaltung von Nebenprodukten vollständig zu Polyurethan. Heute ist die Herstellung von Polyurethan aus den Ausgangsstoffen die technisch wichtigste Polyadditionsreaktion.

Etwa 80% aller Polyurethane werden als Schaumstoffe verwendet, 20 % kommen als nichtzellige Produkte zum Einsatz. Mit einem weltweiten Jahresverbrauch von ca. 8 Millionen Tonnen gehören die Polyurethane heute zu den wirtschaftlich wichtigsten Spezialkunststoffen.

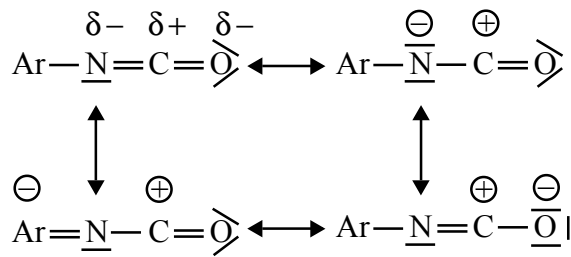
Seit über 20 Jahren besetzen Polyurethane mit einem Anteil von 5-6 % am Weltverbrauch aller Kunststoffe den fünften Platz hinter PE (29%), PVC (17 %), PP (12%) und PS (9 %) (Zahlenangaben aus dem Jahre 1995).

Fast 2/3 der Polyurethane wird von den vier Hauptbranchen Möbel/Matratzen, Transport (davon allein 0,9 Millionen Tonnen für PKW-Anwendungen), Bau und Technischen Dämmungen verbraucht. Ein knappes Drittel der Polyurethane wird „sonstigen Anwendungen“ zugeführt. Dieser Bereich ist dabei außerordentlich vielfältig. Polyurethane findet man u.a. in Computergehäusen, Skiern, Erdöltanks, Fensterbänken, Zweiradsätteln oder Eishockeyschuhen, aus ihnen werden Rollschuhrollen, Inline-Skater, Surfbretter, Badeschwämme, Sportschuhsolen und vieles mehr gefertigt.

Mit 16 bis 30 kg pro PKW sind sie für Instrumententafeln, Lenkräder, Polsterteilen, Nackenstützen, Teppichböden, Sicherheitselementen, Verkleidungen und verschiedene Kleinteile die meistverwendete Kunststoffspezies im Auto.

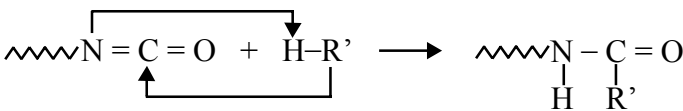
Chemische Grundlagen der Polyurethanbildung

Grundlage der PUR-Chemie ist die hohe Reaktivität der Isocyanate, die auf den positiven Ladungscharakter des Kohlenstoffatoms (positiv polarisiert) im kumulierten Doppelbindungssystem seiner N=C=O-Gruppe zurückzuführen ist.



In der wichtigsten Grundreaktion der Isocyanatgruppe (-NCO) mit Alkoholen, Aminen, Carbonsäuren und Wasser entstehen Urethan, Harnstoff- bzw. Amidverbindungen.

Allgemeines Schema der nucleophilen Additionsreaktion zum Urethan



R' = OR, RNH, OH, RCO₂

PUR-Verarbeitungsverfahren

Die Herstellung von PUR-Produkten erfolgt durch Polyaddition der Grundprodukte in der Regel nicht beim Hersteller der Grundprodukte, sondern beim Verarbeiter. Die Verarbeitung umfaßt nicht nur die Formgebung, wie üblicherweise bei vielen anderen Standardkunststoffen, sondern sie beginnt wesentlich mit der Herstellung des Polymeren durch Vermischung der reaktiven, flüssigen Einsatzkomponenten Isocyanat und Polyol. Aufgrund dieser Besonderheit mußten für die Herstellung von PUR-Produkten spezielle Verarbeitungstechnologien entwickelt werden. Dosiermaschine und Formgebungseinheit sind die wesentlichen Elemente einer Verarbeitungsanlage.

Dosiermaschinen zur PUR-Verarbeitung führen folgende Funktionen aus:

Vorbereitung der flüssigen Komponenten auf die Vermischung: Die Komponenten werden in getrennten Arbeitsbehältern auf die gewünschte Verarbeitungstemperatur gebracht und gleichmäßig homogenisiert.

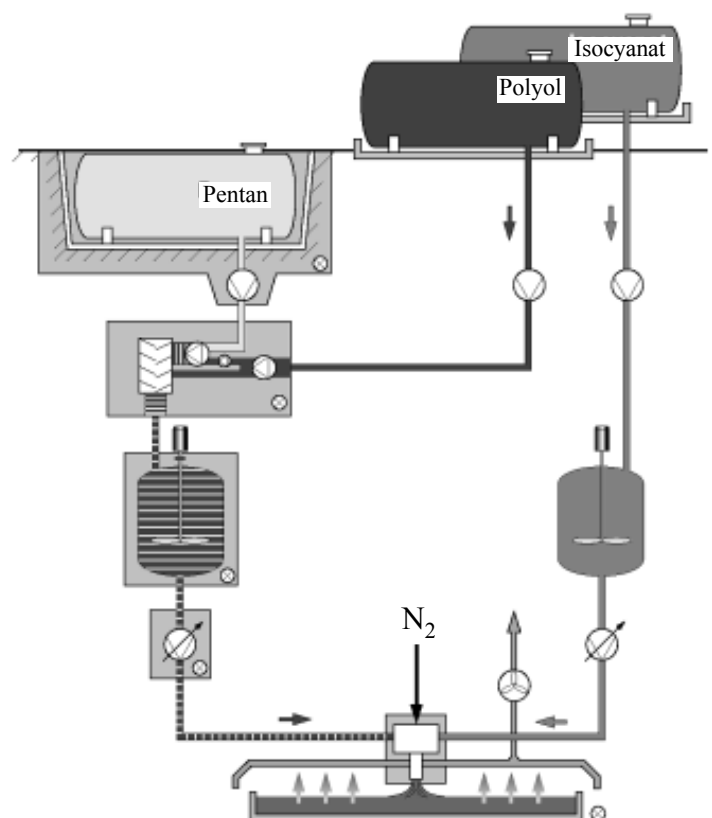
Dosierung der Einsatzstoffkomponenten in den Mischkopf im gewünschten Mengenverhältnis und Vermischung: Die Vermischung der Komponenten im vorgewählten Mengenverhältnis erfolgt im Mischkopf, dem zentralen Bauelement jeder Dosiermaschine. Die Polyadditionsreaktion beginnt, wenn die Polyol- und Isocyanatkomponente in der Mischkammer zusammengeführt werden.

Austrag des Reaktionsgemisches: Das noch flüssige Reaktionsgemisch verläßt die Mischkammer, bevor die Polymerbildung abgeschlossen ist. Der Austrag erfolgt diskontinuierlich, wenn offene oder geschlossene Formwerkzeuge schußweise gefüllt werden sollen. Nach dem Entformen liegt das PUR-Produkt un-

mittelbar in der gewünschten Form vor. Bei diskontinuierlichem Austrag auf Bandanlagen entstehen Halbzeuge in Form von Platten oder Blöcken, aus denen die Endprodukte durch nachfolgende Verarbeitungsschritte entstehen.

Pentan-Prozeß-Technologie (PPT) zur Herstellung von PUR-Hartschäumen

Bei Hennecke wurde in einem aufwendigen Entwicklungsprozeß ein Verfahren entwickelt, um PUR-Hartschaumstoffe unter Verwendung von Pentan anstelle von FCKW herzustellen. Dabei handelt es sich um einen abgestuften, verketteten Sicherheitsprozeß, in dem umfangreiche Sicherheitsmaßnahmen greifen, um jede nur denkbare potentielle Gefährdung, beispielsweise durch Zündquellen, zündfähige Gemische oder statische Aufladungen zu verhindern. Diese umfangreichen Sicherheitsvorkehrungen sind notwendig, weil Pentan als FCKW-Substituent leicht entzündlich ist. Ein Beispiel aus dem Sicherheitsmaßnahmenkatalog ist die Hohlraum Inertisierung durch Stickstoff-Befüllung über den Mischkopf. Dieses Verfahren wird beispielsweise beim Ausschäumen der Kunststoff-Inliner von Kühlschränken angewendet. Diese werden unter Anwendung der von Hennecke entwickelten PPT-Technik diskontinuierlich mit einem „Schuß“ befüllt (siehe schematische Darstellung). Durch elektrostatische Aufladung besteht die Gefahr, daß sich das Pentan-Luft-Gemisch entzündet. Diese Gefahr verhindert Hennecke mit einer patentierten Idee: Vor dem Schäumprozeß wird der auszuschäumende Hohlraum über den Mischkopf mit Stickstoff ausgefüllt. Das Inertgas wird unmittelbar vor dem Schuß eingeblasen und verdrängt den Sauerstoff. Es kann sich kein zündfähiges Gemisch mehr bilden. Der Stickstoff wird durch das eingelassene Polyurethan verdrängt und abgesaugt.



Weitere Umweltschutzaspekte - Recycling von PUR

PUR-Schaumstoffe sind mehr oder weniger vernetzte Kunststoffe. Wegen der Vielzahl der verwendeten Einsatzstoffe haben Polyurethane einen sehr unterschiedlichen chemischen Aufbau. Voraussetzung für die klassischen Recyclingverfahren ist aber die einheitliche und bekannte chemische Zusammensetzung, die aber praktisch nur bei Produktionsabfällen bekannt ist. Daher müssen hier andere Wege zur Wiederverwertung besprochen werden. Für das Recycling von PUR-Produkten wurde in jüngster Zeit eine Reihe von Technologien entwickelt. Dabei ist zu berücksichtigen, daß für die Wiederverwertung unterschiedlicher PUR-Species verschiedene Verfahren geeignet sind.

PUR-Weichschaumreste können z.B. mit moderner Mahltechnik staubfein vermahlen und dem Produktionsprozeß als Füllstoff wieder zugegeben werden. Zu den Vorreitern einer solchen Technologie gehört auch die Firma Hennecke. Mit diesem Verfahren entstehen Schaumstoffe mit neuen, modifizierten Eigenschafts-

profilen, denen sich Anwendungsbereiche erschließen, die mit den konventionellen Rezepturen nicht erreicht werden.

Für die Wiederverwertung von PUR-Hartschaum aus Alt-Kühlschränken ergeben sich dagegen größere Schwierigkeiten. Zur Jahrtausendwende fallen aus der Alt-Kühlschränksorgung jährlich ca. 15.000 t entgastes PUR-Hartschaumpulver an. Der größte Teil davon wird z. Z. noch verbrannt oder deponiert. Man kann das Alt-Hartschaumpulver allerdings auch seinem ursprünglichen Zweck wieder zuführen, indem man es mit geeignetem Bindemittel versetzt, zu offenzelligen Hartschaumplatten verpreßt. Diese werden unter Vakuum in Folie verschweißt und können als Vakuum-Dämmplatten mit wenig frischem PUR-Hartschaum in neue Kühlschränke installiert werden. Die so hergestellten Dämmplatten besitzen bei einem Vakuum von 0,7 mbar eine nur etwa halb so große Wärmeleitfähigkeit wie die mit Pentan getriebenen Hartschaumstoffe.

Literatur

Zum Thema „Schäumen von Polyurethanen“ lassen sich in der fachdidaktischen Literatur eine Reihe von Textstellen finden.

Beispiele:

Themenheft Kunststoffe: NiU-Ph/Ch, Ausgabe 4/86, 34. Jahrgang, Friedrich in Seelze, 1986

Themenheft Kunststoffe: PdN-Ch, Heft 6/337, 37. Jahrgang, Aulis Verlag, Köln, 1988

Zur Technologie der PUR-Herstellung liegen verschiedene Informationsschriften bei der Hennecke GmbH vor.

Kontaktinformationen zum Unternehmen**1. Ansprechpartner**

Herr Hähner, Hennecke GmbH, Birlinghovener Str. 30, 53754 Sankt Augustin-Birlinghoven

Tel.: (0 22 41) 339-204

2. Unterrichts- und Informationsmaterialien

Informationsmaterialien zum Thema „Polyurethan und Verarbeitung von Polyurethan“ können über das Unternehmen bezogen werden.

3. Betriebsbesichtigungen und Betriebspraktika

Betriebsbesichtigungen und Betriebspraktika sind auf Anfrage möglich.

4. Ausbildungsplätze und berufliche Möglichkeiten

Das Unternehmen bildet in folgenden Berufsfeldern aus:

Industriemechaniker/in Fachrichtung Maschinen- und Systemtechnik, Zerspanungsmechaniker/in Fachrichtung Dreh- und Frästechnik, Energieelektroniker/in Fachrichtung Anlagentechnik, Mechatroniker/in, Industriekaufmann/frau