



KUNSTSTOFF-

PROBEN-

SAMMLUNG

NUTZUNG DER PROBENSAMMLUNG

Mit der vorliegenden Probensammlung können verschiedene im Lehrbuch „Kunststoffe – Werkstoffe unserer Zeit“ beschriebene Versuche schnell und einfach durchgeführt werden. Selbstverständlich ist das Arbeiten mit der Probensammlung aber auch losgelöst vom Lehrbuch möglich.

Die Probensammlung ersetzt keinen umfangreichen Probenkoffer. Mit einfachen Prüfungen einen unbekannten Kunststoff erkennen, nachweisen, dass Kunststoffe aufgrund ihrer chemischen Konstitution in den Bereich der organischen Chemie, also in die Chemie der Kohlenstoffverbindungen, gehören, ist mit der Probensammlung möglich.

Die im Folgenden genannten Versuche müssen didaktisch aufbereitet und mit Sorgfalt vorbereitet und durchgeführt werden. Für weitergehende Bestimmungen sind aufwendigere Untersuchungen erforderlich. Weiterführende Literatur findet sich im Abschnitt „Literaturhinweise“.

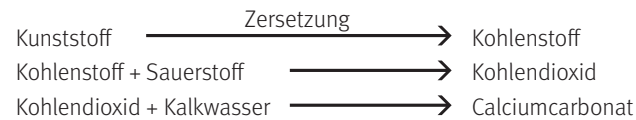
HERAUSGEBER

Arbeitsgemeinschaft Deutsche Kunststoffindustrie
Mainzer Landstraße 55, 60329 Frankfurt am Main
Telefon +49 69 2556 1303
E-Mail: info.de@plasticseurope.org

VERSUCHSANREGUNGEN

In einem Reagenzglas (Supremax) werden einige Polyethylen-Späne mithilfe eines Brenners erhitzt. Beobachtungen und Ergebnis: Nebelbildung und schwarzer Rückstand weisen auf den Wasserstoff und Kohlenstoff der Verbindung hin. Wasserdampf und Kohlenstoff wurden durch Oxidation mit dem Sauerstoff der Luft gebildet.

In einem Verbrennungsrohr werden Polyethylen-Späne erhitzt. Vom Verbrennungsrohr führt eine Verbindung zu einer mit Kalkwasser beschickten Waschflasche. Ein Gummigebläse sorgt für einen gleichmäßigen Luftstrom durch die Apparatur. Ergebnis: Das durch die Verbrennung gebildete CO_2 trübt das Kalkwasser.



Auf einen Kupferblechstreifen werden einige PVC-Späne gegeben und mit einem Brenner (mit nicht leuchtender Flamme) erhitzt. Ergebnis: Der aus dem PVC frei werdende Chlor-Wasserstoff reagiert mit dem Kupferblech zu Kupferchlorid. Dieses CuCl_2 färbt wie alle Kupferhalogenide die nicht leuchtende Flamme grün. Diese qualitative Nachweisreaktion für Halogen wird als Beilsteinprobe bezeichnet. PVC enthält neben Wasserstoff und Kohlenstoff noch Chlor. Ein Hinweis: Natürlich lässt sich Chlor auch als Silberchlorid nachweisen.

Die Beschreibungen einzelner Kunststoffe liefern weitere Hinweise auf einfache Prüfungen, die helfen können, den unbekannten Kunststoff zu identifizieren. Auch dazu einige Informationen:

Durch Anschauen und „Begreifen“, also durch Betasten, durch Ritzen mit dem Fingernagel, durch Biegen oder Fallenlassen, gewinnt man vergleichend einen ersten Eindruck. Struktur und Herstellung der Kunststoffe sind dafür verantwortlich, ob sie glasklar, transparent oder durchscheinend (opak) werden.

Auch das thermische Verhalten liefert wichtige Hinweise. Thermoplaste erweichen bei zunehmender Temperatur, Duroplaste gehen vom festen Zustand direkt in Zersetzung über. Durch die Brennprobe erhält man nicht nur wichtige Erkennungsmerkmale durch das Aussehen der Flamme und den Geruch der Verbrennungsgase (nach dem Erlöschen), sondern auch dadurch, dass die Probe nach Entfernen der Flamme weiter brennt oder aber erlischt. Manche Kunststoffe bilden beim Brennen Ruß, bei anderen kann man Fäden aus der Schmelze ziehen. Die Brennprobe ist in der Schule leicht durchzuführen und liefert wichtige Unterscheidungsmerkmale.

Die beim chemischen Abbau von Kunststoffen durch Erhitzen auftretenden Gerüche und Verbrennungserscheinungen sind zum Teil so kennzeichnend, dass der erfahrene Praktiker oft schon beim Heißwerden eines Kunststoffes an der laufenden Bandsäge oder nach dem Anzünden mit einem Feuerzeug mit Nase und Auge einige Gruppen erkennen und unterscheiden kann.

Für die praktische Verwendung wird weltweit mit neuen Prüfmethoden das Brandverhalten der Kunststoffe auf verschiedenen Wegen untersucht. Es gibt hochwirksame Flammenschutzmittel-Systeme, die im Brandfall keine korrosiven Gase entwickeln. Für die Bereiche Elektrotechnik, Elektronik und Telekommunikation müssen Kunststoffe besonders ausgerüstet sein.

LISTE DER VORHANDENEN KUNSTSTOFFE

Name des Kunststoffs	Abkürzung	Dichte
Phenolharz	PF	1,41
Polyamid	PA	1,13
Polyesterharz	UP	1,95
Polyethylen	PE	0,91
Polymethylmethacrylat	PMMA	1,18
Polystyrol	PS	1,04
Polyvinylchlorid	PVC	1,44

Phenolharz (PF)

Duroplast

Phenoplast

Dichte der Probe: 1,41 g/cm³ (ungefüllt 1,25 g/cm³)

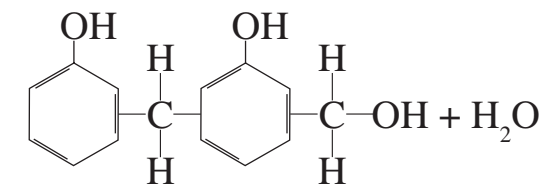
Äußere Merkmale: Nur in dunklen Farbtönen einstellbar. Gebrauchstemperaturen der verschiedenen PF-Typen 100–160 °C.

Brennprobe: Brennt mit heller, rußender Flamme, erlischt außerhalb der Zündquelle, riecht nach Phenol.

Andere Versuche: Nicht lösbar, klebbar, beständig gegen schwache Säuren und Laugen, Öle, Benzin, chlorierte Kohlenwasserstoffe, nicht beständig gegen starke Säuren und Laugen.

Verarbeitungsverfahren: Pressen und Spritzgießen in beheizte Werkzeuge (Stoff härtet im Werkzeug aus).

Anwendungsbeispiele: Elektroisolierte, hitzebeständige Topf- und Bügeleisengriffe, Toasterseiten, Sicherungskästen, Aschenbecher, Knöpfe, Drehknöpfe, Hartpapier und Hartgewebe für Elektrotechnik und Maschinenbau.



Novolak-Baustein

Polyamid (PA)

Thermoplast

Thermoplastisches Polymer mit gemischtem Kettenaufbau

Dichte: 1,04–1,15 g/cm³

Äußere Merkmale: Milchig-weiß bis gelblich, zähelastisch, unzerbrechlich. Gebrauchstemperaturen ohne Belastung je nach Sorte 80–110 °C. Einzelne PA-Typen (zum Beispiel PA 6) können bis zu 10 Gewichtsprozent Wasser aufnehmen (Lagerungsversuch). Probestäbchen sind aus PA 6.

Für alle PA ist folgendes Gruppenmerkmal kennzeichnend:

$$\begin{array}{c} \text{O} \quad \text{H} \\ \parallel \quad | \\ -\text{C}-\text{N}- \end{array}$$

PA-Code:

Anzahl Ziffern = Anzahl der Komponenten

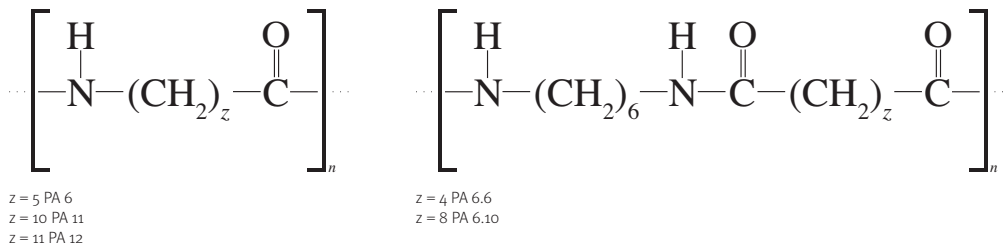
Wert Ziffern = Anzahl der C-Atome der Komponenten

Brennprobe: Brennt bläulich mit gelbem Rand, knisternd abtropfend, fadenziehend, kann nach Entfernen der Zündquelle weiterbrennen, riecht nach verbranntem Horn.

Andere Versuche: Spezielles Lösemittel ist Ameisensäure; beständig gegen Öl, Benzin, Lösemittel, Ester, Ketone, nicht beständig gegen Säuren, klebbar.

Verarbeitungsverfahren: Spritzgießen, Extrudieren, Sintern. PA 6 kann aus dem Monomer unmittelbar zu großen Formteilen gegossen werden (anionische Polymerisation).

Anwendungsbeispiele: Gleitlager, Zahnräder, Schrauben, Lüfterpropeller und -räder, Laufrollen, Benzinleitungen, Seile; rotationsgeformte Heizöl- und Lagertanks, Angelschnüre, Textilien, Teppiche, chirurgisches Nahtmaterial, korrosionsbeständige Überzüge.



Polyesterharz (UP)

Duroplast

Ungesättigtes Polyesterharz

Dichte der Probe: 1,95 g/cm³

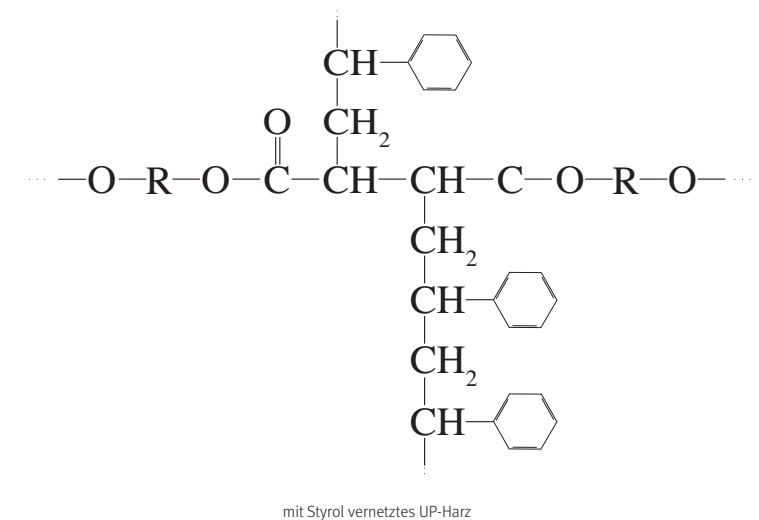
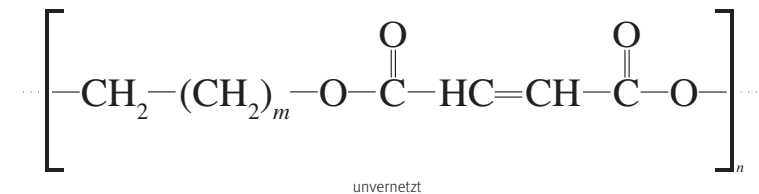
Äußere Merkmale: Undurchsichtig, hart, steif. Klingt scheppernd. Gebrauchstemperaturen bis 90 °C je nach Harzart.

Brennprobe: Brennt leuchtend, rußend, verkohlt, kann außerhalb der Zündquelle weiterbrennen, Faserückstand, riecht nach Styrol.

Andere Versuche: Nicht lösbar, nicht verschweißbar, klebbar, beständig gegen schwache Säuren und Laugen, Benzin, Öl, nicht beständig gegen starke Säuren und Laugen, Ester, Ketone, chlorierte Kohlenwasserstoffe.

Verarbeitungsverfahren: Pressen, Spritzgießen.

Anwendungsbeispiele: Elektro-Isolierteile, hitzebeständige Bügeleisengriffe, Toasterseiten, Apparategehäuse, Autoelektrik.



Polyethylen weich (PE LD)

Thermoplast

Polyolefin

Relativ niedrige Dichte: **0,91–0,94 g/cm³**, darum Polyethylene Low Density genannt.

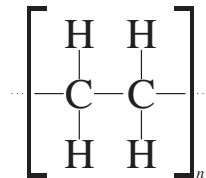
Äußere Merkmale: Durchscheinend, wachsartiger Griff, mit Fingernagel leicht ritzbar, kaltbiegsam. Gebrauchstemperatur ohne Belastung 60–70 °C.

Andere Versuche: Bei Raumtemperatur mit keinem Lösemittel anzulösen; beständig gegen Säuren, Laugen und Öl; schweißbar.

Brennprobe: Helle Flamme mit blauem Kern, tropft brennend ab und brennt nach Entfernen der Zündquelle weiter. Nach Erlöschen riecht es nach Paraffin (gelöschte Kerze).

Verarbeitungsverfahren: Extrudieren zu Profilen, Rohren, Blas-Folien, Extrusionsblasformen, Spritzgießen, Sintern in rotierenden Werkzeugen, Schäumen, Beschichten von Verpackungspapier und Karton.

Anwendungsbeispiele: Massenwaren wie Eimer, Schüsseln, Elektroteile, Folien für Bau und Landwirtschaft und für Tragetaschen, Schrumpffolien für Verpackungen.



Polymethylmethacrylat (PMMA)

Thermoplast

Dichte: **1,18–1,32 g/cm³**

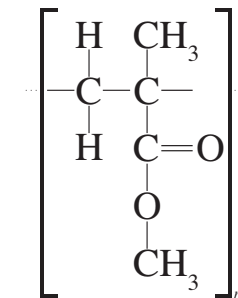
Äußere Merkmale: Acrylglas mit hochglänzender Oberfläche bietet eine unverzerrte Durchsicht, es ist hart und steif. Klingt beim Fallenlassen wie hartes Holz. Gebrauchstemperatur ohne Belastung 90–100 °C.

Brennprobe: Brennt leuchtend mit knisternder Flamme und nach Entfernen der Zündquelle weiter, kann tropfen, riecht typisch fruchtartig.

Andere Versuche: Nur wenige polare Lösemittel greifen an, deshalb Spezial-Klebstoffe; beständig gegen Fette und schwache Laugen.

Verarbeitungsverfahren: Gießen des Monomers zwischen hochglanzpolierten Werkzeugen, dann Polymerisation; Extrudieren, Spritzgießen, Halbzeuge gut spanend und spanlos formbar durch Warmformen.

Anwendungsbeispiele: Aus Tafeln warmgeformte Badewannen, Lampenschalen, Oberlichtkuppeln, Flugzeug- und Fahrzeugverglasungen, schussfeste Bankschalterverglasungen, Abdeckhauben für Instrumente, Uhrengläser, Linsen, Rücklichter, Blinkergehäuse.



Polystyrol (PS)

Thermoplast

Styrol-Polymerisat

Dichte: 1,04–1,05 g/cm³

naturfarben, schlagzäh modifiziert

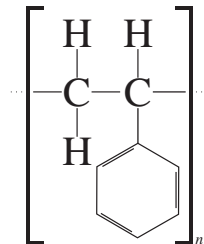
Äußere Merkmale: In unmodifiziertem Zustand brillant transparent, hart und spröde, klingelt beim Fallenlassen wie Blech. Gebrauchstemperaturen ohne Belastung bis 70 °C.

Brennprobe: Brennt flackernd, gelb leuchtend, stark rußend und nach Entfernen der Zündquelle weiter, riecht süßlich (nach Styrol).

Andere Versuche: Benzin und andere Lösemittel lösen schnell an; beständig gegen Säuren, Laugen, Alkohol und Öle, klebbar.

Verarbeitungsverfahren: Hauptsächlich Spritzgießen, auch Extrudieren zu Profilen und Folien sowie Warmformen.

Anwendungsbeispiele: Transparente Massenartikel wie Elektroteile, Messbecher, Kühlschrankboxen, Wäscheklammern; dünne Folien zum Tiefziehen von Verpackungen und Einweggeschirren.



Polyvinylchlorid (PVC hart)

Thermoplast

Halogenhaltiges Polymerisat

Dichte: 1,38–1,40 g/cm³

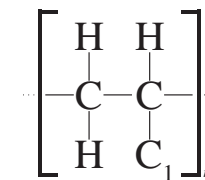
Äußere Merkmale: Reines PVC ist klar durchsichtig, hart und steif, in der Kälte spröde (Eisfach). PVC wird meist modifiziert, zum Beispiel mit Kreide zur Verbesserung der Verarbeitungs- und der mechanischen Eigenschaften. (Dichte dann entsprechend höher). Beim scharfen Knicken einer PVC-hart-Folie bleibt in der zurückgebogenen Folie ein weißer Strich („Weißbruch“ durch Überbeanspruchung). Klingt beim Fallenlassen hart, aber nicht blechern. Gebrauchstemperatur: ohne Belastung 65 °C.

Brennprobe: Brennt in der Flamme gelb, rußend, erlischt nach Entfernen der Zündquelle, riecht stark nach Salzsäure, Beilsteinprobe positiv.

Andere Versuche: Aceton, Ester, Fleckenreinigungsmittellösen an; beständig gegen Säuren, Laugen, Alkohol, Öle und Benzin; schweißbar, klebbar.

Verarbeitungsverfahren: Kalandrieren zu Hartfolien, Extrudieren, Spritzgießen, Extrusionsblasformen.

Anwendungsbereiche: Rohre, Profile für Fensterrahmen, Dachrinnen und Rollläden, Tafeln für Fassadenverkleidungen, spritzgegossene Verbindungsteile für Rohre, geblasene Getränkeflaschen, kalandrierte Folien zum Tiefziehen von zum Beispiel Margarinebechern, Schaumstoffen.



AUFBAU UND HERKUNFT DER KUNSTSTOFFE

Kunststoffe sind Werkstoffe, die aus Polymeren und Zusatzstoffen bestehen. Polymere sind organische Makromoleküle, die durch Umwandlung von Naturprodukten oder durch Synthese von Primärstoffen aus Erdöl, Erdgas oder Kohle entstehen.

»Organisch« bedeutet hier zweierlei: Kunststoffe bestehen aus den Elementen Kohlenstoff (C), Wasserstoff (H) und auch Sauerstoff (O), Stickstoff (N) und Schwefel (S). Merkwort: »CHONS«. Darüber sagt die »Organische Chemie« etwas aus. Einige spezielle Kunststoffe enthalten Halogene, nämlich Fluor (F) und Chlor (Cl). Zum anderen gleichen die Kunststoffe in ihren Eigenschaften natürlich gewachsenen, organischen (im Sinne von belebten) Stoffen wie Holz, Horn, Harz. **Makromoleküle** bedeutet »große, riesige Moleküle« (makros = groß).

Polymere erhält man synthetisch durch drei Verfahren:

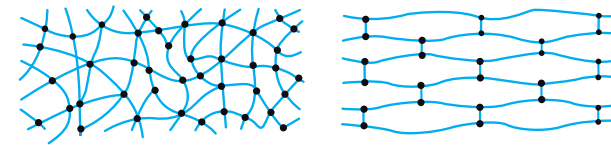
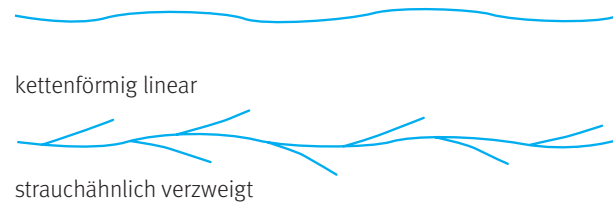
- die **Polymerisation**, zum Beispiel für Polyethylen, Polyvinylchlorid, Polystyrol
- die **Polykondensation**, zum Beispiel für Phenolharze, Polyamide, ungesättigte Polyesterharze
- die **Polyaddition**, zum Beispiel für Polyurethane

Zur Systematik

Für eine systematische Einteilung der Kunststoffe müssen chemischer Aufbau, die zugrunde liegenden Bildungsreaktionen, physikalische Merkmale sowie verschiedene verarbeitungs- und anwendungstechnische Gesichtspunkte berücksichtigt werden. Nach ihrer Herstellung teilt man die Kunststoffe ein in **Polymerisate**, **Polykondensate** und **Polyaddukte**. Sinnvoller ist eine Unterscheidung nach ihrem strukturellen Aufbau, der auch gleich das Verhalten in der Wärme charakterisiert.

Zu den Strukturen

Je nach Verknüpfung der (monomeren) Grundmoleküle im Makromolekül kommt es zu verschiedenen Strukturen. Ganz allgemein sind drei extreme Fälle denkbar:



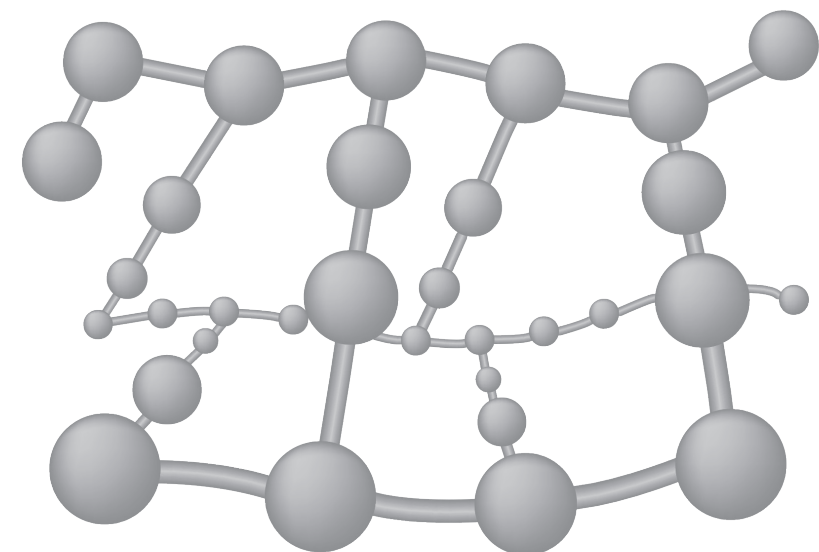
raumnetzförmig, entweder eng- oder weitmaschig verknüpft (vernetzt)

Lineare oder verzweigte Makromoleküle können untereinander noch unterschiedlich gelagert sein: Entweder in völliger Unordnung verknäult wie ein Filz oder ein Wattebausch. Diesen Zustand nennt man **amorph** (gestaltlos). Amorphe Kunststoffe sind glasartig, transparent und häufig spröde.

Oft liegen die Kettenmoleküle streckenweise parallel geordnet (wie Streichhölzer in der Schachtel). Diesen Zustand nennt man **teilkristallin**, da die Makromoleküle nicht in ihrer ganzen Länge so geordnet sein können. Man kann sich teilkristalline Kunststoffe als Zweiphasenstoffe vorstellen, bei denen die kristallinen Gefügeteile, die Kristallite, in der amorphen Matrix liegen.

Teilkristalline Kunststoffe sind nicht klar durchsichtig (opak), durchschimmernd, aber wärmebeständiger als amorphe. **Kunststoffe mit unverknüpften, linearen oder verzweigten Makromolekülketten sind plastisch formbar**. Durch Erwärmen lassen sie sich in den plastischen Zustand bringen und formen. Man nennt sie **Thermoplaste** (thermos = warm; plasso = bilden). Sie sind also wärmebildsam.

Sind die Makromoleküle dreidimensional eng vernetzt, bilden sie ein unlösbares starres Raumnetz.



räumlich (dreidimensional) verknüpfte Makromoleküle

Die Vernetzung ist eine irreversible chemische Reaktion, die entweder durch Druck und Wärme oder durch chemische »Härter« im Formungswerkzeug (Press- oder Spritzgießwerkzeug) ausgelöst wird. Duroplaste verändern ihren Zustand beim Erwärmen nur unmerklich und behalten ihn bis zur Zersetzung. Sie sind also nicht schmelzbar wie die Thermoplaste.

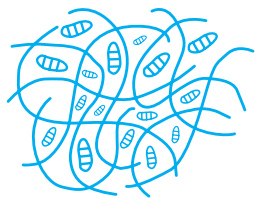
Sind die Makromoleküle der synthetischen Werkstoffe nur weitmaschig vernetzt, spricht man von **Elastomeren**. Dazu gehört auch die technisch und wirtschaftlich wichtige Gruppe der Synthesekautschuke. Aus Traditionsgründen werden sie aber nicht zu den Kunststoffen gerechnet. Ebenfalls ausgeschlossen aus dem Gebiet der Kunststoff-Formmassen sind die hochmolekularen Rohstoffe für synthetische Fasern sowie die Klebstoffe, Dichtmassen und Lackrohstoffe.

Unter den Kunststoffen bilden die weitmaschig vernetzten Polyurethane eine große wichtige Gruppe. Ihr Vernetzungsgrad kann beliebig variiert werden. Je nach Verwendungszweck können sie auch als Kompakt- oder als Schaumstoffe hergestellt werden.

Die in den genannten Syntheseverfahren hergestellten Kunststoffe genügen in ihrem Eigenschaftsbild nicht immer den gestellten Anforderungen. Man kann jedoch ihre Struktur und damit ihre Eigenschaften durch Zusatzstoffe (Additive) weitgehend beeinflussen. Die wichtigsten Zusatzstoffe sind:

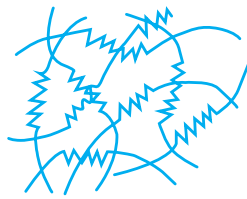
Weichmacher

Diese werden vorwiegend bei Thermoplasten, insbesondere beim PVC, eingesetzt. Weichmacher sind meist niedermolekulare Stoffe, die die zwischenmolekularen Bindekräfte im Kunststoffgefüge schwächen. Das Molekül wird weicher und geschmeidiger. So ist PVC weich bei Zimmertemperatur ein quasi gummielastisches Material. Diese niedermolekularen oder „äußeren“ Weichmacher verändern das Kettenmolekül selbst nicht. Es gibt daneben aber auch noch hochmolekulare oder „innere“ Weichmacher, die in das zu verändernde Molekül eingebaut werden.



— Weichmacher

äußere Weichmachung



— harte Komponente
— weiche Komponente

innere Weichmachung

Zuschlagstoffe

Hierbei handelt es sich vorwiegend um niedermolekulare organische oder anorganische Stoffe (u. a. Holzmehl, Kreide, Gesteinsmehl). Sie dienen der Verbesserung mechanischer oder thermischer Eigenschaften.

Die Zuschlagstoffe nennt man oft auch Füllstoffe, eine Bezeichnung, die aber nicht ganz zutreffend ist, denn zum Beispiel die von Natur glasig-spröden Phenol- oder Melaminharze erhalten ihre wertvollen Gebrauchseigenschaften erst durch entsprechend ausgesuchte Zuschlagstoffe.

Verstärkungsstoffe

Diese dienen ausschließlich der Verbesserung der mechanischen Eigenschaften, besonders der Festigkeit und des Elastizitätsmoduls. Die wichtigsten Verstärkungsstoffe für Kunststoffe sind Glasfasern bzw. Aramidfasern in Form von Matten, Geweben, Strängen oder Kurzfasern sowie winzige Glaskugeln, Talkum oder Mineralpulver.

Begriff „Kunststoff-Formmasse“

Kunststoffe in Verbindung mit den auf die Verwendung abgestimmten Zusätzen (Weichmacher, Zuschlagstoffe, Verstärkungsstoffe) ergeben die Kunststoff-Formmassen. Sie sind pulver- oder granulatförmig, pastös oder flüssig im Handel.

EIGENSCHAFTEN DER KUNSTSTOFFE

Verhalten der Kunststoffe beim Erwärmen

Zustandsbereiche. Thermoplaste und Duroplaste zeigen beim Erwärmen unterschiedliches Verhalten. Dieses ist sowohl für die Verarbeitung als auch für die Verwendung von ausschlaggebender Bedeutung.

Beim Erwärmen der Thermoplaste ist zu beachten: Polystyrol bleibt bis etwa 70 °C fest, über 100 °C erweicht es zur zähen Schmelze, um sich bei etwa 250 °C zu zersetzen.

Polyvinylchlorid erweicht bei 75 °C, wird bei 100 – 140 °C gummielastisch und fließt ab 180 °C. Über 200 °C zerfällt es schnell und Chlorwasserstoff spaltet sich ab. Polymethylmethacrylat bleibt bis etwa 70 °C spröde, erweicht bei etwa 105 °C und wird ab 120 °C verformbar, bei 170 °C erreicht es die Fließtemperatur.

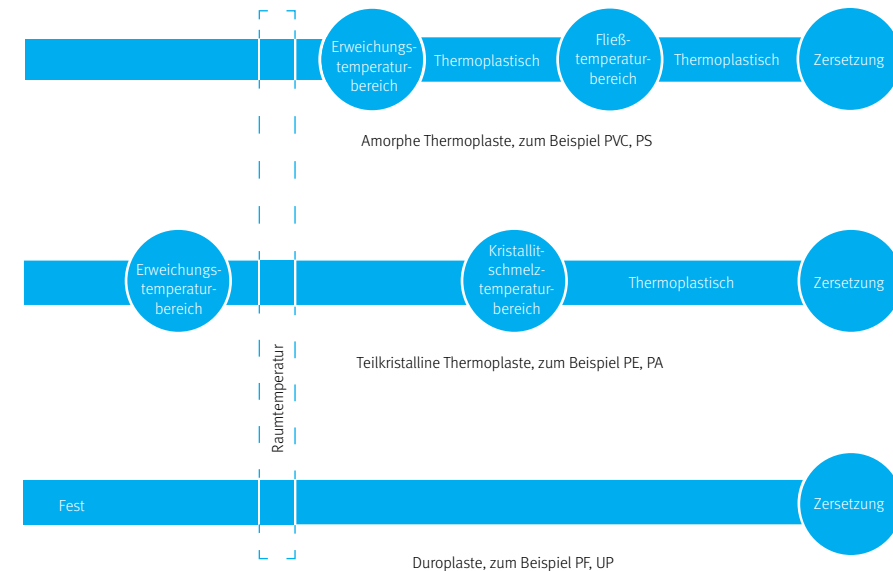
Kühlt man (vor dem Eintreten der Zersetzung) wieder langsam ab, treten die beschriebenen Zustandsformen in umgekehrter Reihenfolge auf. Beim schnellen Abkühlen der verformten Stücke bleibt die Deformation bestehen. Beim nochmaligen Erwärmen wird die ursprüngliche Form wieder eingenommen. Man spricht vom »Erinnerungsvermögen«.

Makromoleküle haben keine starre Gestalt, wie zum Beispiel die Moleküle von Wasser. Ihre Gestalt kann sich infolge der Wärmebewegung ändern. Das beruht auf der Natur der einfachen Bindung zwischen zwei C-Atomen innerhalb der Polymerkette.

Im Modell (Molekülbaukasten) sieht man dann, dass zwei aufeinanderfolgende C-C-Bindungen miteinander einen festen Raumwinkel von 109 ° einschließen. Durch die freie Drehbarkeit um die Verbindungsachse der C-Atome kann schon das vierte C-Atom eine große Anzahl von Plätzen im Raum einnehmen, aber nur bei ungehinderter Bewegung. Meist liegen Behinderungen vor, da die Moleküle sich gegenseitig durchdringen und Verschlaufungen bilden. Seitenketten führen zu zusätzlichen Verzahnungen. Wo sich die Ketten genügend nahekommen, treten dazu noch zwischenmolekulare Kräfte (Van-der-Waals-Kräfte, induzierte Dipolkräfte) auf.

Die Zustandsbereiche der Kunststoffe

Aufgrund ihrer molekularen Struktur durchlaufen Kunststoffe bei Erwärmung andere Aggregatzustände als niedermolekulare Stoffe. Die Abbildung zeigt die Zustandsbereiche wichtiger Kunststoffgruppen.



In der Grafik auf der folgenden Seite ist die Abhängigkeit des Formänderungs-Widerstandes und des Formänderungs-Vermögens von der Temperatur dargestellt.

Aufbau und Eigenschaften der Kunststoffe

Fester Zustand

Die Wärmebewegung der Moleküle ist so gering, dass der Werkstoff äußeren Kräften einen hohen Widerstand entgegensetzt. Der Stoff ist formstabil und nur spanend formbar.

Bei amorphen Thermoplasten reicht der feste Zustand vom absoluten Nullpunkt bis zum Erweichungsbereich. Hier werden die Wärmeschwingungen plötzlich größer – Nebervalenzkräfte verlieren ihre Wirkung – und der Werkstoff wird gummielastisch (thermoelastisch).

Bei teilkristallinen Thermoplasten (Zweistoff-System) unterscheidet man den fest-harten Zustand – die amorphen Anteile sind noch nicht thermoelastisch – und den zäh-harten Zustand – hier sind nur noch die kristallinen Anteile fest. Zwischen beiden Bereichen liegt der Erweichungsbereich der amorphen Anteile.

Fest-harter und zäh-harter Zustandsbereich der teilkristallinen Thermoplaste sind in technologischer Hinsicht vergleichbar mit dem festen Zustandsbereich der amorphen Thermoplaste. Eine Formgebung ist nur spanend möglich.

Thermoelastischer Zustand

Einen ausgeprägten thermoelastischen Zustandsbereich gibt es nur bei amorphen Thermoplasten. In diesen Bereich fällt das wichtige Gebiet des Warmformens. Wie man aus dem Zustandsdiagramm ablesen kann, benötigt man zur Erzielung hoher Umformgrade nur geringe Kräfte. Wird ein umgeformtes Material unter Aufrechterhaltung der Umformbarkeit abgekühlt, so behält das Material nach Wegnahme der Kraft seine Gestalt bei. Erst bei erneutem Erwärmen in den thermoelastischen Zustandsbereich formt es sich in die ursprüngliche Gestalt zurück. Das Material hat ein „Erinnerungsvermögen“. Dieses Phänomen wird zum Beispiel bei Schrumpffolien genutzt. Teilkristalline Thermoplaste können nur in der unmittelbaren Nähe des Kristallitschmelzpunktes umgeformt werden (manchmal sogar leicht darüber), weil im zäh-harten Zustand die Kristallite noch fest sind und das Umformen verhindern. Duroplaste durchlaufen keinen thermoelastischen Zustandsbereich, sie können nicht warmgeformt werden.

Thermoplastischer Zustand

Nach Überschreiten des Fließtemperaturbereiches bzw. der Kristallitschmelztemperatur befinden sich die Thermoplaste im thermoplastischen Zustandsbereich. Hier ist die Wärmebewegung der Moleküle so groß, dass sich die Materialien als plastische Masse bzw. als Schmelze darstellen. In diesem Zustandsbereich werden die sogenannten Urformverfahren durchgeführt. Darunter versteht man das Spritzgießen, Extrudieren, Extrusionsblasen, Kalandrieren und andere. Auch das Schweißen erfolgt im thermoplastischen Zustandsbereich. Bei weiterer Wärmezufuhr erreicht man den Zersetzungstemperaturbereich der Kunststoffe. Hier werden die Hauptvalenzen der Moleküle zerstört und das Makromolekül hört auf zu existieren (thermische Zersetzung). Bei Duroplasten gibt es auch keinen thermoplastischen Zustand. Sie gehen vom festen Zustand direkt in Zersetzung über.

Thermische Zersetzung, Brandverhalten

Werden Kunststoffe im thermoplastischen Zustand weiter erwärmt, treten Verfärbungen auf, dann bilden sich Blasen und Gase entweichen. Der Kunststoff zersetzt sich. Deshalb erhält man bei der Abkühlung auch nicht wieder die Ausgangssubstanz. Entstehen bei der Zersetzung brennbare Gase, können diese mit einer Zündquelle gezündet werden. Der Kunststoff entflammt. Der Grad der Entzündbarkeit, die Ausbreitung der Flamme an der Oberfläche, die Wärmeentwicklungsgeschwindigkeit, kurz das Brandverhalten einschließlich der Brandnebenerscheinungen sind keine Stoffeigenschaften. Sie hängen von der Form des Stoffes, seiner Anordnung, seinem etwaigen Verbund, von Umgebungseigenschaften sowie von der Art und Dauer der Einwirkung einer Zündquelle ab.

Verhalten der Duroplaste beim Erwärmen

Werden Duroplaste erwärmt, tritt kein plastischer und kein gummielastischer Zustand ein. Die Beweglichkeit der Moleküle ist so behindert, dass auch die Zufuhr von Energie wenig daran ändern kann. Die dreidimensionale Vernetzung durch Hauptvalenzen wirkt sich auf Verformbarkeit, Entropieelastizität und Reaktionsfähigkeit aus. Wenn es nur zur Ausbildung relativ weniger Hauptvalenzen kommt, liegt also eine weitmaschige Vernetzung vor, so ist der Kunststoff verformbar und entropieelastisch. Die weitmaschige Vernetzung bildet die Grundlage für echte Gummielastizität der Elastomere.

Zum Schluss noch ein sehr wichtiger Hinweis.

Die Arbeitsvorschriften müssen genau beachtet werden. Gegebenenfalls sollten Schutzbrillen und Schutzhandschuhe getragen werden. Bei allen Arbeiten mit Lösemitteln achte man auf die Unfallverhütungsvorschriften und auf die zulässigen MAK-Werte. Die Kenntnis der entstehenden Gase und Dämpfe ist erforderlich.

LITERATURHINWEISE

Erwin Baur, Tim A. Osswald, Natalie Rudolph (Hrsg.)
Mitherausgeber: Sigrid Brinkmann, Ernst Schmachtenberg.

Saechtling Kunststoff-Taschenbuch

31. Auflage, Carl Hanser Verlag, München, 2013

Christian Bonten

Kunststofftechnik

Einführung und Grundlagen.

Carl Hanser Verlag, München, 2014

Dietrich Braun

Erkennen von Kunststoffen

Qualitative Kunststoffanalyse mit einfachen Mitteln.

5., aktualisierte und erweiterte Auflage. Carl Hanser Verlag, München, 2012

Gottfried Ehrenstein

Polymer-Werkstoffe

Struktur – Eigenschaften – Anwendung.

3., vollständig überarbeitete Auflage. Carl Hanser Verlag, München, 2011

Walter Hellerich, Guenther Harsch, Erwin Baur

Werkstoff-Führer Kunststoffe

Eigenschaften – Prüfungen – Kennwerte.

10. Auflage. Carl Hanser Verlag, München, 2010

Walter Michaeli

Einführung in die Kunststoffverarbeitung

6., überarbeitete und erweiterte Auflage. Carl Hanser Verlag, München, 2010

Otto Schwarz, Friedrich-Wolfhard Ebeling, Harald Huberth, Harald Schirber, Norbert Schlör

Kunststoffkunde

Aufbau, Eigenschaften, Verarbeitung, Anwendungen der Thermoplaste, Duroplaste und Elastomere

9., überarbeitete Auflage. Vogel-Verlag, Würzburg, 2007

