

# 1

## Einleitung

### 1.1 Zu Besuch im virtuellen Deutschen Kunststoff Museum

Das Deutsche Kunststoff Museum ist einerseits ein *virtuelles* Museum im Internet ([www.deutsches-kunststoff-museum.de](http://www.deutsches-kunststoff-museum.de)), andererseits ein *mobiles* Museum. Als Träger wurde am 10. April 1986 der Kunststoff-Museums-Verein e.V. (KMOV) gegründet, der sich satzungsgemäß die Aufgabe gestellt hat, »die wissenschaftliche, technische, wirtschaftliche und kulturelle Bedeutung der Kunststoffe in Vergangenheit und Gegenwart (...) in umfassender Weise darzustellen und einer breiten Öffentlichkeit zu präsentieren«.

Im Laufe von 25 Jahren wurde eine Sammlung von mehr als 15000 Objekten aufgebaut, die sich heute in einem Gebäude der Messe Düsseldorf GmbH befindet. Die Gründungsurkunde, in Garmisch-Partenkirchen unterzeichnet, weist auf den »Beitrag der Kunststoffe zur Kultur, Wissenschaft und Technik, Lebenshaltung und Lebensgestaltung der Menschen unserer Tage« hin und auf die »Verpflichtung, dieses Erbe zu erhalten und zu dokumentieren«. In der Vereinssatzung vom 25. Oktober 1994 werden die Aufgaben wie folgt formuliert und spezifiziert:

- »1. Der KMOV hat die Aufgabe, die wissenschaftliche, technische, wirtschaftliche und kulturelle Bedeutung der Kunststoffe in Vergangenheit und Gegenwart durch Schaffung eines Kunststoff-Museums in umfassender Weise darzustellen und einer breiten Öffentlichkeit zu präsentieren.
2. Der KMOV bezweckt die Sammlung und Ausstellung von Kunststoffen, Gegenständen aus Kunststoffen, deren Anwendung und Verwertbarkeit, Formen und Maschinen zu ihrer Herstellung und die Dokumentation auf historischer Basis.«

Die Aktivitäten des KMOV lassen sich mit den Stichworten Sammlung, Ausstellung/ Wanderausstellungen und Öffentlichkeitsarbeit zusammenfassen.

Zeitlich beginnen die Sammlungen bereits um 1855 mit frühen Objekten aus Schellack sowie um 1870 mit dem Celluloid (Produktionsmuster sowie Rezepturen der Westdeutschen Celluloidwerke in Meerbusch-Lank, s. Abschnitt 2.4). Es folgen Phenoplaste (Bakelit ab 1907) und noch aus der Zeit vor dem Zweiten Weltkrieg Aminoplaste, Polyvinylchlorid, Plexiglas (PMMA), die Polyamide (Nylon) und Polystyrolin Form zahlreicher Exponate vom Kinderspielzeug bis zu Möbeln. Weitere Dokumente der Sammlungen sind historische Fotografien zur Herstellung und Verarbeitung von Kunststoffen, Demonstrationsobjekte zur Verdeutlichung der Herstellungsprozesse sowie frühe Werbemittel für Kunststoffe.

In der Broschüre des KMV (als pdf-Datei im Internet) ist zur Bedeutung der Sammlungen zu lesen:

»Die Sammlung der KMV ist heute schon zu einem bedeutenden Sachdokument der Geschichte der Kunststoffe und ihrer Verwendung geworden. Mit ihrer Hilfe können verschiedene Aspekte beleuchtet werden: Materialentwicklung und Verarbeitungstechniken, die mehr in den Bereich der Chemie- und Industriegeschichte fallen, aber auch die Entwicklung von Konsumwaren und ihre formale Gestaltung, die wiederum Aufschlüsse über gesellschaftliche, technologische und designgeschichtliche Veränderungen vermitteln.«

Die Exponate werden als Dokumente der Alltagskultur verstanden.

Ausstellungen aus der eigenen Sammlung und von Leihgebern wurden bisher in 14 thematisch geordneten Ausstellungen an verschiedenen Orten durchgeführt. Zu den größeren Ausstellungen wurden auch Begleithefte oder Kataloge erstellt. Beispiele für Ausstellungen des mobilen Museums sind:

- »Unter Strom. Kunststoffe und Elektrizität. Vom Bakelitschalter zum BlackBerry«
- »Wir packen es! Transportieren, schützen, werben mit Kunststoffen«
- »Die Kunststoff-Macher – Meilensteine beispielloser Erfindungen« (von John Wesley Hyatt, dem Entwickler von Celluloid, bis zu Hermann Schnell und den von ihm synthetisierten Polycarbonaten).

Die Dokumentation der Sammlung erfolgt in einer Datenbank, bereits seit 1996 ist der KMV online. Auf mehr als 40 Seiten werden

Hintergrundinformationen zu Kunststoffen, zur Geschichte der Kunststoffe und zu den einzelnen Bereichen *mobiles Museum* (»Unter Strom/Wir packen es/Die Kunststoff-Macher/Büro/Spielzeug/Rasierer/Bad), *virtuelles Museum* (Foyer/Liebingsschätze/Spielmobile/Designerstühle/Spielerzeugnisse), zur *Sammlung* (Datenbank/Liebingsobjekt/Struktur), über *Aktuelles* (Ausstellungen/Neuerwerbungen/Buchtipps), *Videos* sowie *Textbeiträge* zu den einzelnen Gruppen an Kunststoffen (vom Gummi bis zum Acrylnitril-Butadien-Styrol) und schließlich über den *Verein* und das *Netzwerk* vermittelt. Im Internet ist auch eine Volltextsuche möglich. Ein Glanzstück des neuen Internetauftritts 2012 ist die Online-Datenbank im virtuellen Museum, in der über 7000 Objekte in Text und Bild recherchiert werden können.

Die Textbeiträge beschäftigen sich beispielsweise mit den Themen »Was ist Plastik? Plastik ist Plastik. Kunststoff ist mehr.«, »Kunststoffe im Sport – Revolution im Breiten- und Leistungssport«, »Der Stoff, der Herzen höher schlagen lässt. Kunststoff in der Medizin«, »Frei formte Skulpturen« oder »Der Bart muss ab! Rasur und Kunststoffe«.

Ein Beispiel aus den Textbeiträgen ist in Abschnitt 2.4 (Celluloid) nachzulesen.

Auf der Internetseite des Deutschen Kunststoff Museums führen Links zu weiteren interessanten Museen sowie zur *Deutschen Gesellschaft für Kunststoffgeschichte* ([www.dg-kunststoffgeschichte.de](http://www.dg-kunststoffgeschichte.de)) mit Informationen zu den Eigenschaften von Kunststoffen, Handelsnamen, Kurzbeschreibungen/Glossar und über Synthesemethoden von Polymeren.

Als Kunststoffmuseen sind zu nennen: das *Deutsche Bakelit-Museum* in Kierspe (s. Abschnitt 3.1.2), das *Kunststoff Museum Troisdorf* des Dynamit Nobel Konzerns, das *Kunststoff-Additiv Museum* in Lingen (Baerlocher) und der *Freundeskreis Chemie-Museum Erkner e. V.* (FCME).

Das Kunststoff Museum Troisdorf ([www.kunststoff-museum.de](http://www.kunststoff-museum.de)) – als Museumsverein – dokumentiert die Geschichte der Produktion von Celluloid seit 1905, stellt Koffer aus Vulkanfiber, Radiogehäuse, Isoliermatten aus Schaumstoff, robuste Wasserrohre aus Kunststoff, Folien für Verbundsicherheitsglas, weichgemachtes PVC als Bodenbelag seit den 1930er Jahren (Mipolam®), das erste 1954 in Serie hergestellte Kunststoff-Fensterprofil (Trocal®) und vieles mehr vor. Zu besichtigen im Museum für Stadt- und Industriegeschichte in Troisdorf (s. in G. Schwedt: Experimente rund um die Kunststoffe des Alltags, Wiley-VCH, Weinheim 2013).

Das Kunststoff-Additiv Museum in Lingen wurde 1998 von der Familie Dr. Michael Rosenthal zum 175-jährigen Firmenjubiläum der Baerlocher GmbH gestiftet ([www.baerlocher.com/de/kunststoff-additiv-museum/](http://www.baerlocher.com/de/kunststoff-additiv-museum/)). Die Aufgabenstellung lautet nach eigenen Angaben: »Darstellung der industriellen Produktion als historischer Prozeß und die Dokumentation der Geschichte und Zukunft der Additiv-Herstellung und der damit verbundenen Kunststoffe. Das Museum will den Besuchern in einer Dauerausstellung sowie in wechselnden Sonderschauen die wichtige Rolle der Kunststoffe in unserem Leben und der für die Verarbeitung notwendigen Hilfsstoffe veranschaulichen. Ein besonderer Schwerpunkt ist dabei auf den Kunststoff PVC gesetzt, die in den letzten Jahren in der Kritik steht. Eine ausführliche Diskussion über die Umweltverträglichkeit und Recyclingmöglichkeiten des Werkstoffes PVC vermittelt dem Besucher ein objektives Bild der aktuellen Situation.«

Der Freundeskreis Chemie-Museum Erkner e.V. ([www.chemieforum-erkner.de](http://www.chemieforum-erkner.de)) entstand am 16. Dezember 2003 an einem historischen Ort – dem Bakelit-Werk in der Flakenstraße in Erkner bei Berlin (s. Abschnitt 3.1.1). Als Aufgabe formuliert der Verein: »Unser zentrales Anliegen ist die Erinnerung und Präsentation der chemiehistorischen Bedeutung Erknens und der Entwicklung auf dem Gebiet der Werkstoffe (Plaste, Elaste, Faserstoffe) und anderer Gebiete der Chemie im Alltag mit Hilfe von Vorträgen, Ausstellungen, Experimenten, Publikationen, Sammlungen und speziell eines – in Berlin und Brandenburg noch einmaligen – Chemie-Museums in Erkner.« 2009 erschien zur Jubiläums-Tagung und -Ausstellung der Katalog »Bakelit 100 – Kunststoff aus Erkner erobert die Welt«. (Im Internet ist ein virtuelles »Bakelit-Museum« eröffnet.)

## 1.2 Ernst Richard Escales und der Begriff ›Kunststoff‹

Ernst Richard *Escales* (1863–1924) wurde als Sohn eines Fabrikbesitzers in Zweibrücken geboren. Er studierte an den Universitäten in Würzburg, Erlangen, München, Freiburg und Zürich und promovierte 1886 in Würzburg mit einer Arbeit »Über Verbindungen von Phenylmerkaptan mit Ketonsäuren«. Danach war er für kurze Zeit an der Weberschule in Münchberg (ab 1898 Königliche Höhere Weberschule in der Kulmbacher Straße, heute Fachhochschule) tätig, 1887–1896



Abb. 2 Webseite der Deutschen Kunststoff Museums (DKM) in Düsseldorf

leitete er die Fabrik seines Vaters. Anschließend trat er in das Laboratorium von Adolf von *Baeyer* (1835–1917, Nachfolger Liebig's in München seit 1875) ein. Als anwendungsorientierter Chemiker beschäftigte er sich mit der Erforschung und Herstellung von Explosivstoffen und leitete 1902–1907 das von ihm gegründete Sprengstoff-Versuchs-Laboratorium (auf dem Gelände der pyrotechnischen Fabrik von Meisenbach in München-Schwabing). 1903 fasste er seine Erfahrungen in dem Grundlagenwerk »Explosivstoffe« zusammen und begründete eine Zeitschrift mit dem Titel »Zeitschrift für das gesamte Schieß- und Sprengstoffwesen«.



Abb. 3 Porträt des Gründers der Zeitschrift „Kunststoffe“ Ernst Richard Escales (1863–1924)

1911 folgte die Gründung einer weiteren Zeitschrift mit dem Titel »Kunststoffe« – als »Zeitschrift für Erzeugung und Verwendung veredelter oder chemisch hergestellter Stoffe« (s. Literaturverzeichnis unter G. F. R. Radig).

In der Einführung zur ersten Ausgabe vom 1. Januar 1911 ist zum Stand der angewandten Chemie jener Zeit zu lesen:

»Die letzten 50 Jahre haben der chemischen Technik außerordentliche Erfolge gebracht auf dem Gebiete der künstlichen Herstellung von Farbstoffen, Arzneimitteln und Riechstoffen, die früher mühsam und kostspielig aus Pflanzen gewonnen werden mussten und jetzt aus billigen Rohmaterialien künstlich aufgebaut werden. Man hat sich weiterhin nicht damit begnügt, die natürlichen Stoffe nachzuahmen, man stellte auch ähnliche, zum Teil wirksamere, jedenfalls mannigfaltigere chemische Verbindungen her, wobei man sich im allgemeinen an den von der Natur gegebenen Typus hielt; mit zunehmender Erkenntnis der für den gewünschten Zweck wirksamen Gesetzmäßigkeiten ist man endlich dazu gelangt, künstliche Farbstoffe, Arzneimittel und Riechstoffe zu erzeugen, von anderer Zusammensetzung als die Naturprodukte, ihnen aber an Wirkung gleichkommend oder überlegen.«

Weiter schrieb Escales über die Ziele seiner neuen Zeitschrift:

»Unsere Zeitschrift soll sich mit Stoffen beschäftigen, welche für die Industrie und den allgemeinen Bedarf von großer Bedeutung sind, bei denen die wissenschaftliche Durchforschung und – davon abhängig – die chemische Nachbildung, Umbildung und Ersetzung erst im Beginn ihrer Entwicklung stehen.«

Escales führt dann drei wesentliche Bereiche an, die damals als »Kunststoffe« bereits eine Bedeutung hatten:

» – die angewandte Zellstoff-Chemie, worunter wir die Industrien des Celluloids und ähnlicher Stoffe, der künstlichen Seiden, des künstlichen Leders usw. verstehen;  
– die Gummi- und Kautschukindustrie, ist es doch erst durch einen Veredelungs-Prozess – die im Jahre 1839 von Goodyear eingeführte sog. Vulkanisation des mit Schwefel gemischten natürlichen Produktes – möglich, denjenigen Kunststoffe herzustellen, welche für viele Industrien und Gewerbe heute so unentbehrlich sind;  
– die Kunstharze; bei den wechselnden Preisgestaltungen für Schellack z. B. hat die Industrie der künstlich hergestellten Harze große Bedeutung gewonnen.«

1924 setzte sein Sohn, der Chemiker Dr. Erich Escales, die Arbeiten des Vaters fort und konnte 1945/46 den Verleger Dr. Carl Hanser (gest. 1985) für die Herausgabe der Zeitschrift »Kunststoffe« gewinnen, die bis heute unter diesem Titel im 1928 in München gegründeten Hanser-Verlag erscheint.

### 1.3 Kurze Einführung zur Systematik und Synthese von Kunststoffen

Kunststoffe werden nach einem Definitionsvorschlag des Normenausschusses Kunststoffe im DIN als Materialien (Werkstoffe) bezeichnet, »deren wesentliche Bestandteile aus solchen makromolekularen organischen Verbindungen bestehen, die synthetisch oder durch Abwandeln von Naturprodukten entstehen«. Umgangssprachlich wird bzw. wurde auch der Begriff *Plastik* oder *Plaste* (in der ehemaligen DDR) verwendet.

Synthetische (oder auch halbsynthetische) organische Polymere werden wie folgt nach ihrem Aufbau und ihren Eigenschaften in Gruppen unterteilt:

#### Thermoplaste

Thermoplaste bestehen aus langen linearen Molekülen. Sie werden durch Erwärmung (Energiezufuhr) formbar (plastisch) und schmelzen. Sie können auf diese Weise in die gewünschte Form gebracht werden und behalten ihre Form auch nach dem Abkühlen. Der Vorgang ist reversibel und auf die fadenförmigen, linearen Makromoleküle zurückzuführen. Zu dieser Gruppe zählen die heute am häufigsten verwendeten Kunststoffe: Polyethylen, Polypropylen, Polystyrol und Polyester. Einsatzbereiche sind Verpackungen und technische Teile in der Auto- und Elektroindustrie sowie der Bauindustrie. Eine Mischung von mindestens zwei Thermoplasten wird als *Polyblend* bezeichnet.

#### Duroplaste

Diese Gruppe von Polymeren entsteht durch eine Vernetzungsreaktion infolge eines Härtungsprozesses aus einer Schmelze oder Lö-

sung der einzelnen Komponenten. Die irreversible Reaktion erfordert ein Erhitzen oder den Einsatz von Oxidationsmitteln, energiereicher Strahlung oder von Katalysatoren als Initiatoren und zur Beschleunigung. Duroplaste lassen sich beim Erwärmen nicht verformen, sondern sie werden zersetzt. Die Eigenschaften der Duroplaste sind auf die raumvernetzten Makromoleküle zurückzuführen. In ausgehärtetem Zustand sind sie meist hart und spröde und können dann nur noch mechanisch bearbeitet werden. Sie sind mechanisch und chemisch beständig – auch bei erhöhten Temperaturen – und werden deshalb häufig für Elektroinstallationen eingesetzt. Zu dieser Gruppe von Kunststoffen gehören Polyester, Polyurethanharze und Epoxide. Der älteste Kunststoff aus der Gruppe der Duroplaste ist Bakelit. Auch die Casein-Kunststoffe sind Duroplaste.

### **Elastomere**

Das wesentliche Charakteristikum der Elastomere ist die durch Druck oder Dehnung kurzzeitig veränderbare Form. Nach Beendigung der mechanischen Einwirkung nehmen Elastomere wieder ihre ursprüngliche Form an. Der Oberbegriff Elastomere umfasst alle Werkstoffe, die gummielastische Eigenschaften aufweisen. Zu den Elastomeren zählt der vernetzte Kautschuk infolge der Vulkanisation (mit Schwefel, Peroxiden, Metalloxiden oder durch Bestrahlung). Die Makromoleküle der Elastomere sind weitmaschig vernetzt. Sie werden auch beim Erwärmen nicht weich und sind in den meisten Lösemitteln nicht löslich. Daher werden sie bevorzugt für Hygieneartikel sowie Laborhandschuhe und für Gummimischungen in Autoreifen verwendet. Außer dem Naturkautschuk zählen Synthesekautschuke wie Acrylnitril-Butadien-, Styrol-Butadien-, Chloropren-, Butadien- und Ethylen-Propylen-Dien-Kautschuke zu den Elastomeren.

### **Thermoplastische Elastomere**

Diese spezielle Gruppe der Elastomere unterscheidet sich von den klassischen Elastomeren dadurch, dass sie beim Erhitzen verformbar werden. Es handelt sich dabei meist um Copolymere, die aus einer weichen Elastomer- und einer harten thermoplastischen Komponente bestehen. Deshalb liegen ihre Eigenschaften auch zwischen denen von Duroplasten und Thermoplasten. Ein Beispiel sind Blockpolyme-



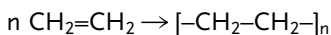
re aus Styrol und Polyolefinen. Weiterhin gehören in diese Gruppe Cellulosederivate (Cellulosenitrat, -acetat, -ether), Polyamid, Polyester, Polycarbonat und Polyethylen, Polypropylen, Polyvinylchlorid, Polymethylmethacrylat, Polyacrylnitril, Polystyrol, Polyvinylacetat sowie Fluorkunststoffe.

Eine andere Art der Einteilung von Kunststoffen erfolgt nach dem Prinzip der Synthese in *Polymerisate* und *Polykondensate* sowie *Polyaddukte*:

- *Polymerisate* sind Polyethylen, Polypropylen, Polybutadien, Polystyrol, Polyvinylchlorid, Polyacrylnitril, Polytetrafluorethylen, Polyacrylsäureester, Polymethacrylsäureester.
- *Polykondensate* sind Polyamide, Polyester, Formaldehydharze.
- *Polyaddukte* sind Epoxidharze und Polyurethane.

Daraus ergeben sich auch die Herstellungsverfahren bzw. Reaktionstypen zur Synthese von Kunststoffen: Polymerisation, Polykondensation und Polyaddition.

Mit *Polymerisation* wird eine Kettenreaktion bezeichnet, bei der ungesättigte Moleküle (Monomere) zu Makromolekülen (Polymeren) verknüpft werden, wobei keine Reaktionsnebenprodukte entstehen. Beispiel:



(Ethylen zu Polyethylen, n: Polymerisationsgrad; Anzahl der Monomer-Bausteine im Polymer)

Eine *Kettenreaktion* besteht aus den Reaktionsschritten Startreaktion, Kettenfortpflanzungsreaktion und Kettenabbruchreaktion (Näheres in Lehrbüchern der organischen Chemie, s. a. Literaturverzeichnis unter M. Brahm bzw. B. Tiede).

Nach den Herstellungsverfahren unterscheidet man:

- Substanzpolymerisation (direkte Polymerisation der Monomere unter Druck und Temperatur),
- Lösungspolymerisation (Monomer in einem Lösemittel; Polymerisat ebenfalls gelöst),
- Fällungspolymerisation (Monomere im Lösemittel gelöst; Polymerisat fällt aus),

- Emulsionspolymerisation (Monomere in einem Emulgator fein verteilt, dann polymerisiert; Polymerisat bleibt dispergiert),
- Perl- (Suspensions-)polymerisation (Monomere unter Rühren in Wasser in kleine Tröpfchen zerteilen, polymerisieren; Polymerisat fällt aus).

Man unterscheidet nach dem Reaktionsprinzip (-mechanismus) radikalische Polymerisation, kationische Polymerisation, anionische Polymerisation und Polymerisation mit Übergangsmetallverbindungen.

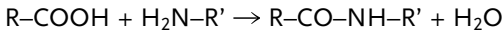
Bei der *radikalischen Polymerisation* zerfallen Initiatoren (durch Energiezufuhr) in sehr reaktionsfähige Radikale (z.B. Peroxide wie Wasserstoffperoxid oder Dibenzoylperoxid), die mit den Monomeren (mit doppelt gebundenem Kohlenstoff) reagieren. Die so gebildete neue Gruppe reagiert weiter mit anderen Doppelbindungen und der Kettenabbruch kann durch Reaktion zweier Radikal-Enden, eines Radikal-Endstücks mit dem Initiator-Radikal oder durch Übertragung eines Wasserstoffatoms von einem Makroradikal zum anderen bzw. Eliminierung eines bindungsfähigen Wasserstoffatoms erfolgen. Der Polymerisationsgrad kann durch das Verhältnis von Monomer zu Initiator bestimmt werden. Eine radikalische Polymerisation verläuft exotherm. Die entstehende Wärme erzeugt weitere Radikale, so dass sich die Reaktion (ohne Abführung der Wärme) selbst beschleunigt.

Bei der *ionischen Polymerisation* liegen am Kettenende immer positiv oder negativ geladene Ionen vor. Solche Polymerisationen werden durch ionische Spezies initiiert und fortgepflanzt. Bei der *kationischen Polymerisation* werden Säuren oder Friedel-Crafts-Katalysatoren (Bortrifluorid oder Aluminiumchlorid) in Verbindung mit Wasser eingesetzt, wodurch Protonen entstehen (Beispiel: Polymerisation von Isobutylen mit Bortrifluorid/Wasser zu Polyisobutylen).

Bei der *anionischen Polymerisation* wirken als Katalysatoren NaOH, KOH, Natriumalkoholate R-ONa oder Natriumamid  $\text{NaNH}_2$  (Beispiel: Polymerisation von Acrylsäuremethylester zu Polymethacrylat).

Bei *Polykondensationen* findet eine Stufenreaktion statt, wobei Makromoleküle unter Abspaltung von Nebenprodukten wie Wasser, Ammoniak oder Alkohol gebildet werden. Es lassen sich lineare, verzweigte oder vernetzte Polykondensate herstellen, wenn es sich bei den Monomeren um mehrfunktionelle Verbindungen handelt. Zu den Polykondensaten gehören Melamin- und Harnstoffharze, Phenolharze, Polyamide, Polycarbonate und Polyester.

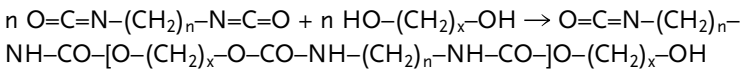
Beispiel:



(Bildung eines Polyamids aus Carbonsäure und Amin)

Auch bei der *Polyaddition* müssen die Monomere besonders reaktionsfähige funktionelle Gruppen aufweisen, wobei jedoch im Gegensatz zur Polykondensation keine Nebenprodukte entstehen. Typische Polyaddukte sind Polyurethane und Epoxidharze.

Beispiel:



(Polyaddition eines Diisocyanats mit einem Diol zum Polyurethan)

Als *Additive* werden *Weichmacher* (verringern Sprödigkeit und Härte), *Stabilisatoren* (verbessern chemische Eigenschaften), *Farbmittel* (Farbstoffe lösen sich im Polymer; Pigmente wie Rutil/weiß, Ruß/schwarz, Chromoxid/grün, Ultramarin/blau), *Füllstoffe* (Streckmittel, verbilligen die Herstellung – wie Sand, Kieselgur, Glasfasern, Zinkoxid, Talkum, Stärke u.a.) und *Verstärkungstoffe* (verstärken die Kunststoffmatrix) bezeichnet.

*Weichmacher* dringen auf molekularer Ebene in die Matrix des Kunststoffs ein (»molekulares Schmiermittel«). Beispiele sind Diethylhexylphthalat (als umwelt- und gesundheitsschädlich eingestuft, deshalb wird darauf heute weitgehend verzichtet) oder sogenannte *Extender* als Sekundärweichmacher (epoxidierte Öle oder hochsiedende Mineralöle bzw. Paraffine).

*Stabilisatoren* sollen die Reaktion mit Luftsauerstoff (Verfärbung des Kunststoffs) verhindern oder vor dem Einfluss von Licht schützen (Beispiel: Hydroxybenzophenon gegen IR-Strahlung, Dialkyldithiocarbamate gegen UV-Licht). Wärmestabilisatoren (z.B. in Polyvinylchlorid) sind organische Zink-, Barium- und Zinnverbindungen. Als Flammenschutzmittel fungieren polybromierte Diphenylether oder auch Aluminiumhydroxid sowie phosphorhaltige Substanzen.

