

■ 1.1 Ausgangsstoffe, Kennzeichnung und Einteilung

Kunststoffe sind hochmolekulare Werkstoffe (Polymere), die heute noch überwiegend auf Erdölbasis hergestellt werden. *Biopolymere* (s. Abschnitt 16.3) auf der Basis nachwachsender Rohstoffe, auch als technische Kunststoffe, finden immer mehr Anwendung.

Kunststoffe ist ein Sammel- oder Überbegriff für

- Thermoplaste und thermoplastische Elastomere,
- Duroplaste,
- Elastomere.

Ausgangsstoffe für Kunststoffherzeugnisse sind Erdöl, Erdgas und Kohle als Träger von Kohlenstoff C, sowie Wasserstoff H, Sauerstoff O und Stoffe, die Stickstoff N, Chlor Cl, Schwefel S und Fluor F enthalten. Als Ausgangsstoff kommen heute teilweise auch schon Pyrolyseöle aus Recyclinganlagen zur Anwendung.

Vielfältige Variationsmöglichkeiten bei der Herstellung von Kunststoffen ergeben große Verschiedenartigkeit der entstehenden Kunststoffe als Homopolymerisate, Copolymerisate, Pfropfpolymerisate, Polymergemische (Polymerlegierungen, Polymerblends), vernetzte Systeme.

Die Eigenschaften der Kunststoffe ergeben sich aus dem *chemischen Aufbau* („Bausteine“) und der *physikalischen Struktur*, z. B. lineare oder verzweigte Kettenmoleküle, weit- oder engmaschig vernetzte Räum-moleküle.

Kunststoffe bringen gegenüber anderen Werkstoffgruppen z. T. völlig neue Eigenschaften mit, die eine Verwirklichung bestimmter technischer Probleme erst ermöglichen, z. B. in Form von *Schnappverbindungen*, *Federelementen*, *Filmscharnieren*, *Strukturschäumen*, *speziellen Gleitelementen*, *schmierungsfreien Lagern* oder bei der *integralen Fertigungmehrfunktionaler Formteile*.

Die *Kennzeichnung* von Kunststoffen und ihre *Normung* ist wegen der großen Vielfalt, der besonderen Eigenschaften und Verarbeitungseinflüsse anders als bei Metallen:

- International verständliche Kurzzeichen nach DIN EN ISO 1043, DIN 16780, z. B. PE, PA, PC, PF, EP (vgl. Kap. 9)
- Neues Ordnungssystem für Kunststoffe, wie es in den Formmassenormen nach DIN EN ISO enthalten ist (vgl. Kap. 9).

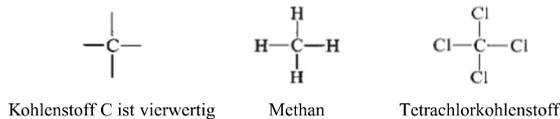
Biopolymere (siehe Abschnitt 16.3) oder Kunststoffe aus nachwachsenden Rohstoffen sind noch nicht genormt.

Gummiwerkstoffe (Elastomere) werden häufig nicht zu den Kunststoffen gezählt, obwohl sie überwiegend ebenfalls synthetisch hergestellt werden. Der Aufbau von Gummimischungen und die Verarbeitung unterscheiden sich wesentlich von der für Kunststoffe üblichen Technik (siehe Abschnitt 14.1).

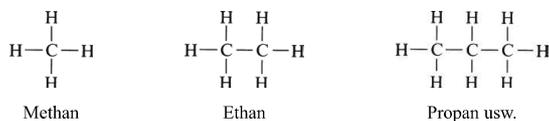
Silicone sind ebenfalls hochmolekulare Verbindungen mit Siliziumketten und organischen Seitengruppen. Sie kommen vor als hochvernetzte Duroplaste (Abschnitt 12.5) oder Elastomere (Abschnitt 14.1).

■ 1.2 Besonderheiten des Kohlenstoffatoms

Ein Kohlenstoffatom kann mit allen vier Wertigkeiten Bindungen eingehen (Elektronenpaarbindung), z. B. mit Wasserstoff H (Kohlenwasserstoffe), Chlor Cl und anderen Elementen, sowie organischen Molekülresten.



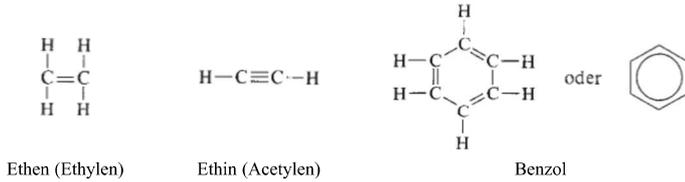
Kohlenstoff C kann mit sich selbst unter *Kettenbildung* Bindungen eingehen. Es entstehen dann *kettenförmige, aliphatische* Kohlenwasserstoffe C_nH_{2n+2} (Alkane). Solche *gesättigten* Kohlenwasserstoffe sind *reaktionsträge*.



Unter Normalbedingungen sind die gesättigten Kohlenwasserstoffe bis C_4H_{10} *gasförmig*, ab C_5H_{12} *flüssig* und ab $C_{16}H_{34}$ *fest* (Paraffine). Daraus erkennt man, dass die *Kettenlänge* entscheidend ist für das Verhalten der Moleküle. Allerdings kommt man erst bei sehr großen Kettenlängen zu technisch brauchbaren, festen Stoffen, den *Kunststoffen* als *technischen Werkstoffen*.

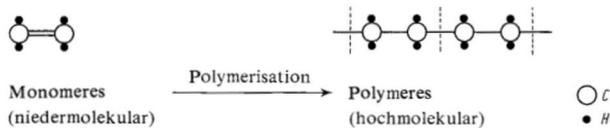
Kohlenstoffatome können mit sich selbst auch Mehrfachbindungen eingehen zu ungesättigten, reaktionsfreudigen Verbindungen mit Doppelbindungen (Alkene) oder Dreifachbindungen (Alkine).

Aromaten sind *ringförmige* Kohlenwasserstoffe, z. B. Benzol C_6H_6 .



Bei den *Kohlenwasserstoffen* kann der Wasserstoff durch andere Elemente (Cl, F) oder organische Molekülreste ($-CH_3$, $-CN$ usw.) ersetzt (substituiert) werden.

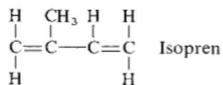
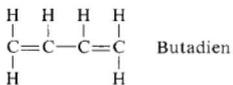
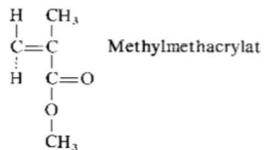
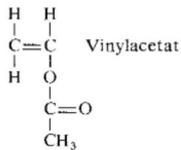
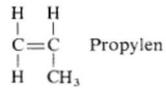
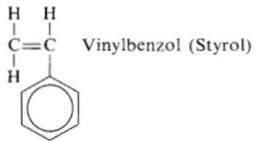
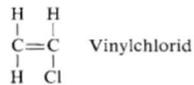
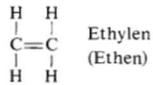
Bei den Molekülen mit Doppelbindungen, die sehr *reaktionsfreudig* sind, werden Reaktionen möglich, die zu *Makromolekülen* führen (Abschnitt 2.1).



Durch die Vielfalt der Ausgangsmoleküle (Bausteine) sind sehr große *Variationsmöglichkeiten* bei der Bildung und beim Aufbau von Makromolekülen mit den unterschiedlichsten Eigenschaften gegeben. Das ergibt die Vielfalt der herzustellenden Kunststoffe als „Werkstoffe nach Maß“.

Sind in einem Monomer mehr als eine Doppelbindung enthalten (Isopren, Butadien, ungesättigte Polyester UP), so ist eine *Vernetzung*, d. h. eine echte chemische Bindung zwischen den Makromolekülen möglich. Je nach Anzahl der Vernetzungspunkte ergeben sich weich- bis hartelastische Elastomere bzw. Duroplaste.

Wichtige Ausgangsstoffe (Monomere) für die Kunststoffherzeugung sind (Auswahl):



■ 1.3 Strukturen von Makromolekülen

Hochmolekulare Stoffe enthalten bei den Thermoplasten Kettenmoleküle mit bis zu 10^6 Atomen. Bei eng vernetzten Duroplasten und lose vernetzten Elastomeren kann man nur noch von einem einzigen „Riesenmolekül“ sprechen.

Amorphe Thermoplaste (Bild 1.1) bestehen aus langen Kettenmolekülen, die sich bei ihrer Bildung ineinander verschlingen und verfilzen. Die „gestreckte“, mittlere Kettenlänge beträgt ca. 10^{-10} mm bis 10^{-3} mm bei einer „Dicke der Kette“ von ca. $0,3 \cdot 10^{-6}$ mm.

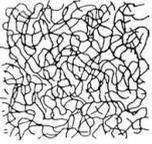


Bild 1.1
Molekülanordnung in amorphen Thermoplasten (schematisch)

Amorphe Thermoplaste kristallisieren wegen ihres unsymmetrischen Aufbaus bzw. großen Seitengruppen nicht, sie sind daher i. A. glasklar, wenn sie nicht modifiziert sind. Sie haben deshalb meist gute optische Eigenschaften und weisen geringe Verarbeitungsschwindung auf. Die *Einsatztemperaturbereiche* von amorphen Thermoplasten liegen unterhalb der *Glasübergangstemperatur* T_g (Einfrieretemperatur), vgl. Abschnitt 6.2 und 21.4. Weil Fadenmoleküle ohne chemische Bindungen untereinander vorliegen, können amorphe Thermoplaste nach allen „thermoplastischen“ Verarbeitungsverfahren wie Spritzgießen, Extrudieren, Warmumformen und Schweißen ver- bzw. bearbeitet werden. Ausnahmen sind sehr hochmolekulare Kunststoffe wie z. B. formpolymerisiertes („gegossenes“) PMMA.

Teilkristalline Kunststoffe (Bild 1.2) haben teilweise besonders geordnete Molekülbereiche, die als *kristalline* Bereiche bezeichnet werden. Solche Ordnungszustände sind möglich z. B. bei symmetrischem und weitgehend linearem Molekülaufbau wie z. B. bei PE-HD (Bild 1.2). Durch die Kristallisation sind teilkristalline Thermoplaste i. A. opak. Mit zunehmender Kristallinität nimmt die Transparenz ab. Die Verarbeitungsschwindung ist höher als bei amorphen Thermoplasten. Die *Einsatztemperaturbereiche* liegen zwischen der Glasübergangstemperatur T_g und der Kristallitschmelztemperatur T_m . Verarbeitungsmöglichkeiten wie bei amorphen Thermoplasten; jedoch haben die Abkühlungsbedingungen (z. B. die Werkzeugtemperatur) großen Einfluss auf die Eigenschaften wegen unterschiedlicher Kristallinität und Nachkristallisation.

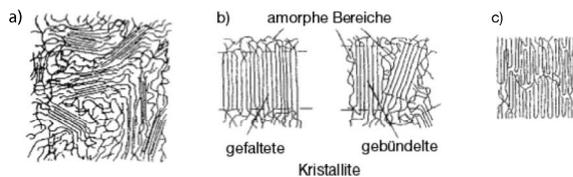


Bild 1.2 a) Molekülanordnung in teilkristallinen Thermoplasten (schematisch)
b) gefaltete und gebündelte Kristallite
c) gerichtete Kristallitstruktur nach dem Verstrecken

Die Eigenschaften von Thermoplasten sind abhängig vom chemischen Aufbau der Grundbausteine, von der Kettenlänge, der Kristallinität, und den Kräften zwischen

den Molekülketten (ZMK: Zwischenmolekulare Kräfte, Nebervalenzen), siehe Abschnitt 2.2.

Elastomere (Bild 1.3) bestehen meist aus weitmaschig vernetzten Kettenmolekülen (Hauptvalenzbindungen). Die Anzahl der Verknüpfungspunkte ist abhängig von der Anzahl an multifunktionellen Gruppen in den Ausgangsmonomeren und beeinflusst die Elastizität. Die weitmaschige Vernetzung erfolgt bei der Formgebung; ein Warmumformen und Schweißen ist nachträglich nicht mehr möglich. *Thermoplastische Elastomere TPE* (Abschnitt 14.2) sind *physikalisch vernetzt* und deshalb wie Thermoplaste zu verarbeiten.



Bild 1.3
Molekülanordnung in weitmaschig vernetzten Elastomeren (schematisch)

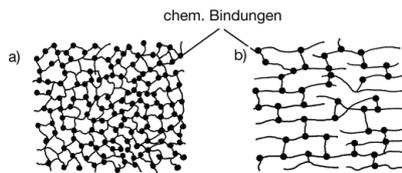


Bild 1.4 Molekülanordnung in eng vernetzten Duroplasten (schematisch)
a) Vernetzung von „Einzelbausteinen“ bei duroplastischen Formmassen
b) Quervernetzung von Ketten bei UP-Gießharzen

Duroplaste (Bild 1.4) bestehen aus engmaschig, räumlich vernetzten Molekülstrukturen. Die Vernetzung erfolgt bei der Formgebung; diese Werkstoffe sind dann nach der Formgebung nicht mehr schmelzbar und daher nicht schweißbar und nur noch spanend bearbeitbar. Duroplaste werden meist durch Gießen, Laminieren, Pressen und Spritzgießen verarbeitet. Die *Einsatztemperaturbereiche* sind wegen der Vernetzung höher als bei Thermoplasten.