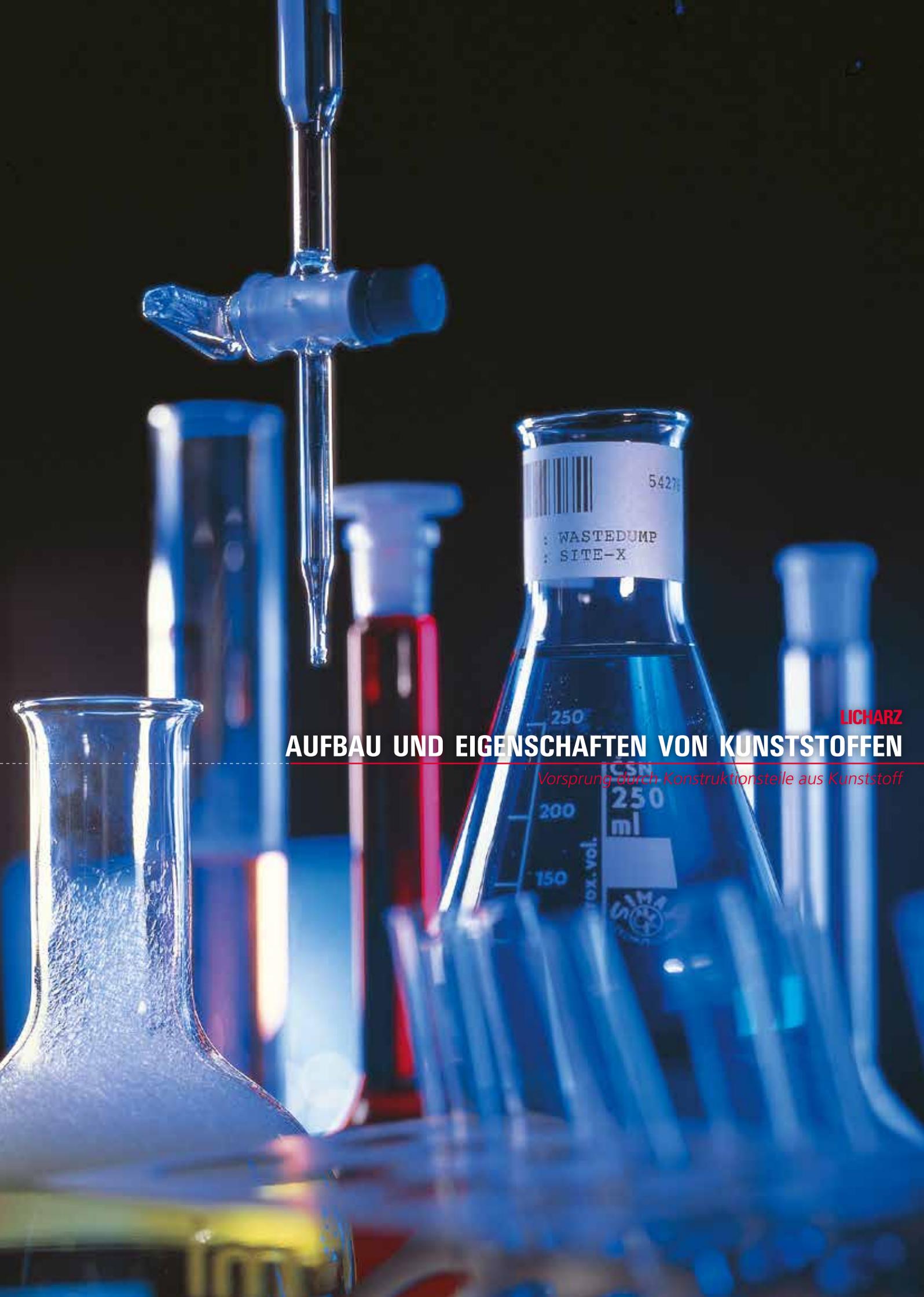


KONSTRUIEREN MIT TECHNISCHEN

# KUNSTSTOFFEN

mit Übersichtstabellen





**LICHARZ**

# **AUFBAU UND EIGENSCHAFTEN VON KUNSTSTOFFEN**

*Vorsprung durch Konstruktionsteile aus Kunststoff*

# Aufbau und Eigenschaften

---

## 1. Grundsätzliches

Als Kunststoffe gelten im Allgemeinen makromolekulare Verbindungen, die durch chemische Umwandlung von vorhandenen Naturstoffen oder durch Synthese aus Produkten des chemischen Aufschlusses von Kohle, Erdöl oder Erdgas hergestellt werden. Die bei Umwandlung oder Synthese hergestellten Rohstoffe werden in der Regel unter Einwirkung von Temperatur und Druck als plastische Schmelze zu Halbzeugen oder Fertigteilen geformt. Zu diesen Verfahren zählen unter anderem das Spritzgießen und die Extrusion. Eine Ausnahme stellen die von Licharz im Stand- und Schleudergussverfahren hergestellten Polyamid-Halbzeuge dar, da diese Verfahren drucklos arbeiten.

## 2. Aufbau

### 2.1 Einteilung

Üblicherweise werden Kunststoffe in zwei Hauptgruppen, die der Thermoplaste und die der Duroplaste, eingeteilt:

- **Thermoplaste** erweichen bei ausreichender Erwärmung bis zur Schmelze und erhärten durch Abkühlen wieder. Das Ur- und Umformen von Thermoplasten basiert auf diesem wiederholbaren Vorgang. Sofern durch das Erwärmen keine übermäßige Temperaturbeanspruchung zu chemischer Zersetzung führt, werden die Makromoleküle dabei nicht verändert.
- **Duroplaste** sind nach dem Urformen aufgrund ihrer Molekularstruktur auch bei hohen Temperaturen plastisch nicht mehr verformbar. Das Urformen basiert auf einer chemischen Reaktion von Vorprodukten, die überwiegend nicht makromolekular sind, zu eng vernetzten Makromolekülen.

In DIN 7724 werden Kunststoffe nach ihrem Verhalten unter Temperatureinwirkung gegliedert. Daraus ergibt sich folgende Gliederung:

- **Plastomere** (= Thermoplaste) sind unvernetzte Kunststoffe, die im Gebrauchstemperaturbereich energieelastisch (metallelastisch) reagieren und ab einer bestimmten, werkstoffspezifischen Temperatur erweichen und schmelzen.
- **Thermoplastische Elastomere** sind physikalisch oder chemisch weitmaschig vernetzte Kunststoffe oder Kunststoffgemische. Sie verhalten sich im normalen Gebrauchstemperaturbereich entropieelastisch (gummielastisch), erweichen aber bei höheren Temperaturen bis zum Aufschmelzen.
- **Elastomere** sind weitmaschig temperaturstabil vernetzte Kunststoffe, die im Gebrauchstemperaturbereich entropieelastisch (gummielastisch) und reversibel verformbar sind und bis zum Erreichen des Zersetzungstemperaturbereichs nicht fließen.
- **Duromere** (= Duroplaste) sind engmaschig vernetzte Kunststoffe, die im Gebrauchstemperaturbereich energieelastisch (metallelastisch) reagieren und bis zum Erreichen des Zersetzungstemperaturbereichs nicht fließen.

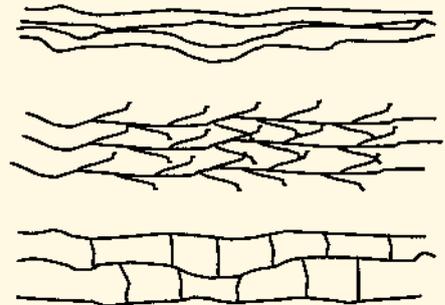
### 2.2 Aufbau und Gestalt der Makromoleküle

Die heute hergestellten Kunststoffe basieren mit wenigen Ausnahmen in der Regel auf der Fähigkeit des Kohlenstoffs, durch die Atombindung lange Ketten zu bilden. Im Unterschied zur Ionenbindung füllt sich dabei die äußere Schale des Kohlenstoffs bis zur Edelgaskonfiguration mit acht Elektronen auf. Bindungspartner können dabei ganze Atomgruppen oder einzelne Atome, wie z. B. Wasserstoff, Sauerstoff, Stickstoff, Schwefel oder Kohlenstoff sein.

Durch Synthese werden viele einzelne kleine Moleküle (= **Monomere**) eines oder mehrerer Ausgangsprodukte chemisch zu Makromolekülen verbunden (= **Polymere**). Im Allgemeinen liegt die Länge der dabei entstehenden Ketten zwischen  $10^{-6}$  und  $10^{-3}$  mm. Die Größe der Makromoleküle wird durch den Polymerisationsgrad  $n$  ausgedrückt bzw. durch das Molekulargewicht angegeben. Da bei der Polymerisation keine homogene Verteilung der Kettenlänge erzielt werden kann, gibt man die Werte als mittlere Werte an. In der Technik ist es auch üblich, statt des Polymerisationsgrads oder des Molekulargewichts ein Maß für die Viskosität (z. B. Schmelzindex) anzugeben. Dabei gilt: je höher  $n$ , um so höher die Viskosität.

Bei der Makromolekülbildung wird zwischen linearen, verzweigten und vernetzten Molekülstrukturen unterschieden:

- Verbinden sich die Monomere an je zwei Stellen (bifunktionell) miteinander, entsteht ein fadenförmiges, lineares Makromolekül.
- Verbinden sich einzelne Monomere an mehr als zwei Stellen, so kommt es zu Molekülverzweigungen.
- Verbinden sich die Monomere überwiegend an drei Stellen (trifunktionell) miteinander, entsteht ein räumliches, entweder schwach oder stark vernetztes Makromolekül.



Lineare bzw. verzweigte Makromoleküle führen zu Thermoplasten, schwach vernetzte zu Elastomeren und stark vernetzte zu Duromeren.

Da Licharz sich auf Herstellung und Vertrieb von Halbzeugen und Fertigteilen aus thermoplastischen Kunststoffen (Plastomeren) spezialisiert hat, kommt für die weiteren Ausführungen nur die Kunststoffgruppe der Thermoplaste mit seinen verschiedenen Untergruppen in Betracht. Für die anderen Kunststoffgruppen sei an dieser Stelle auf die diesbezüglich verfügbare Fachliteratur verwiesen.

## 2.3 Molekulare Bindungskräfte

Der Zusammenhalt der Makromoleküle basiert auf chemischen und physikalischen Bindungskräften.

Bei den Polymerwerkstoffen sind dies:

- die Hauptvalenzkräfte als chemische Bindungskraft,
- die Nebervalenzkräfte (van der Waalsche Kräfte) als physikalische Bindungskraft.

Die Hauptvalenzkräfte sind im Wesentlichen für die chemischen, die Nebervalenzkräfte für die physikalischen Eigenschaften des Kunststoffs und die Ordnung der Makromoleküle verantwortlich.

### 2.3.1 Hauptvalenzkräfte (Primärbindungskräfte)

Die Hauptvalenzkräfte, die durch den Bindungsabstand und die Bindungsenergie erzeugt werden, gehen aus der Atombindung der Polymere hervor. Je kleiner der Bindungsabstand zwischen den einzelnen Atomen der Polymerkette ist, desto höher ist die Bindungsenergie. Mit der Bindungsanzahl der einzelnen Atome steigt die Bindungsenergie ebenfalls.

# Aufbau und Eigenschaften

## 2.3.2 Nebenvalenzkräfte (Sekundärbindungskräfte)

Die Nebenvalenzkräfte gehen aus den zwischenmolekularen Bindungen hervor. Sie setzen sich aus drei Kräften zusammen:

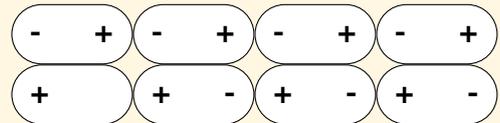
1.) **Dispersionskräfte** sind die in der Materie wirkenden Anziehungskräfte zwischen den einzelnen Molekülen. Diese sind umso größer, je näher die Moleküle aneinander liegen. In den kristallinen Bereichen der teilkristallinen Kunststoffe sind sie infolgedessen besonders hoch. Dies erklärt die mechanische Überlegenheit gegenüber amorphen Kunststoffen.

Durch Vergrößern der Abstände nehmen die Kräfte rasch ab. Ursache für die Vergrößerung der Abstände können Schwingungen infolge Erwärmung des Polymerwerkstoffs sein. Aber auch Einlagern von Fremdatomen zwischen den Molekülen (wie z. B. Lösemittel oder Wasser) kann zur Abstandsvergrößerung führen.

Durch die Einlagerung von Weichmachern in die Molekülkette lässt sich dieser Effekt zur Herstellung von bei Raumtemperatur gummielastischen Kunststoffen nutzen.

2.) **Dipolkräfte** sind nicht bei allen Kunststoffen anzutreffen. Sie entstehen nur dann, wenn bei der Atombindung durch die Einordnung der Atome in die galvanische Reihe ein starkes Übergewicht zu einer Seite entsteht. Diese kann nur dann geschehen, wenn ungleiche Partner eine Bindung eingehen.

Dabei zieht das elektronegativere Atom einer Bindung das Elektronenpaar zu sich heran (→ Polarisation) und es bildet sich ein Dipol. Die benachbarten polarisierten Gruppen ziehen sich aufgrund der elektrisch ungleichen Ladungen an.



Polymerwerkstoffe mit Dipolcharakter sind im Allgemeinen weniger löslich (mit Ausnahme stark polarer Lösemittel) und erweichen bei höheren Temperaturen als Polymerwerkstoffe ohne Dipolcharakter. Als wichtigster Vertreter der Polymerwerkstoffe mit Dipolcharakter ist PVC zu nennen.

3.) **Wasserstoffbrücken** sind Bindungen von sich gegenüberstehenden Sauerstoff- und Wasserstoffmolekülen verschiedener Molekülketten aufgrund ihrer hohen Affinität zueinander. Dieser Bindungstyp ist der festeste aller Nebenvalenzbindungen. Die Wasserstoffbrücken werden erst unter Einwirken sehr großer Kräfte gelöst und bauen sich sofort nach Wegfallen der Verschiebekräfte, ähnlich einem Klettverschluss, wieder auf. Diverse Polymerwerkstoffe, wie z. B. Polyamide, verdanken ihre hervorragenden Eigenschaften, wie den hohen Schmelzpunkt oder die außergewöhnliche Zähigkeit, den Wasserstoffbrückenbindungen.

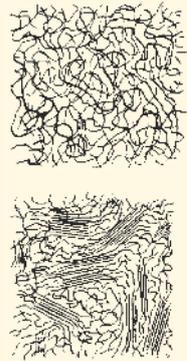
Als weitere rein physikalische, zwischenmolekulare Bindungen sind noch Verhaken, Verschlaufen von Ketten oder Einbinden in teilkristalline Bereiche zu nennen. Diese werden als physikalische Netzstellen bezeichnet, die eine molekül-formschlüssige Kraftübertragung zulassen.

Bei sehr schlanken und symmetrischen Molekülketten sind die Nebenvalenzkräfte, abgesehen von Molekülteilen in teilkristallinen Bereichen, meist nicht so ausgeprägt. Die Molekülketten solcher Polymerwerkstoffe können unter mechanischer Belastung leicht aneinander vorbeigleiten. Diese Werkstoffe zeigen ein sehr gutes Gleitverhalten, unterliegen aber gleichzeitig einem hohen Verschleiß durch Abrieb und neigen stark zum Kriechen. Als Beispiel lassen sich hier PE-UHMW und PTFE nennen.

## 2.4 Ordnung der Makromoleküle

Die thermoplastischen Kunststoffe werden nach der Ordnung ihrer Makromoleküle in zwei Gruppen unterteilt. Es wird unterschieden zwischen:

- amorphen Thermoplasten mit vollkommen ungeordneten Makromolekülen (watteähnliche Struktur) aufgrund der Form der Grundbausteine und/oder der Anordnung von möglicherweise vorhandenen Seitengruppen. Amorphe Thermoplaste sind hart, spröde und transparent.
- teilkristallinen Thermoplasten mit stellenweise hoch geordneten, parallel liegenden Makromolekülketten, die Kristallite bilden. Eine Vielzahl von Kristalliten bilden sogenannte Sphärolithe. Aufgrund von Kettenverschlaufungen im Polymerisationsverlauf ist eine vollständige Kristallisation (→ teilkristalliner Kunststoff) nicht möglich. Teilkristalline Kunststoffe sind zähhart und opak bis weiß.



Teilkristalline Kunststoffe haben gegenüber amorphen Kunststoffen aufgrund der höheren Nebenvalenzkräfte andere Eigenschaften. Sie erweichen später, sind mechanisch belastbarer, abriebfester, zähelastisch statt spröde und in der Regel chemisch beständiger. Aus diesem Grund haben die teilkristallinen Thermoplaste bei den technischen Kunststoffen die größere Bedeutung.

## 2.5 Anordnung der Moleküle im Makromolekül

Es wird grundsätzlich zwischen drei Anordnungsmöglichkeiten des Substituten „R“ in der Molekülkette unterschieden:

### 1.) ataktisch

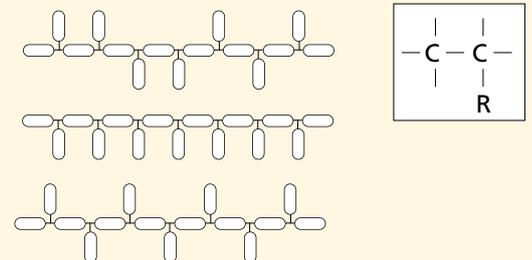
zufällige Anordnung in der Kette,

### 2.) isotaktisch

regelmäßig einseitige Anordnung in der Kette,

### 3.) syndiotaktisch

regelmäßig wechselnde Anordnung in der Kette.



Ein kristalliner Aufbau des Polymerwerkstoffs ist nur dann möglich, wenn eine regelmäßige Kettenanordnung über eine zumindest gewisse Länge der Gesamtsequenz vorliegt. Infolgedessen hat die Molekülanordnung unmittelbaren Einfluss auf die mechanischen Eigenschaften.

## 2.6 Homo-/Copolymerisate

Kunststoffe, die aus gleichen Monomerbausteinen polymerisiert werden, heißen Homopolymere. Kunststoffe, die aus zwei oder mehreren Monomerbausteinen bestehen, werden als Copolymerisate bezeichnet. Bei der Herstellung von Copolymerisaten werden die Monomerbausteine nicht nur vermischt, sondern in die Molekülkette chemisch integriert. Durch die Copolymerisation lassen sich bestimmte Werkstoffeigenschaften gezielt verbessern.

Im Wesentlichen werden vier verschiedene Arten von Copolymerisaten unterschieden:

- 1.) **Statistischer Kettenaufbau** (zufällige Verteilung der verschiedenen Monomerbausteine),
- 2.) **Alternierender Kettenaufbau** (regelmäßiger Wechsel der einzelnen verschiedenen Monomerbausteine),
- 3.) **Blockweiser Kettenaufbau** (regelmäßige wechselnde Blöcke der verschiedenen Monomerbausteine),
- 4.) **Pfropfpolymerisat** (homogene Kette eines Bausteins mit aufgepfropften Seitenketten eines anderen Bausteins).

# Aufbau und Eigenschaften

Eine weitere Möglichkeit der Eigenschaftsveränderung stellt das (physikalische) Mischen zweier Polymere dar. Die so erhaltenen Werkstoffe werden als Polyblend bezeichnet.

## 3. Eigenschaften

Aus dem vorstehend beschriebenen molekularen Aufbau der Kunststoffe ergeben sich eine Reihe besonderer Eigenschaften und Eigenarten. Einige sollen hier näher vorgestellt und beschrieben werden.

### 3.1 Mechanische Eigenschaften

Die mechanischen Eigenschaften von Kunststoffen werden in erster Linie durch die Sekundärbindungskräfte bestimmt. Je ausgeprägter diese sind, desto besser sind die mechanischen Eigenschaften.

Aufgrund des morphologischen Aufbaus von Kunststoffen sind die Eigenschaften von Faktoren wie

- Zeit,
- Temperatur,
- Feuchtigkeit und
- Chemikalieneinwirkung

abhängig und schwanken je nach Einfluss einer oder mehrere Faktoren stark.

#### 3.1.1 Viskoelastisches Verhalten

Alle Kunststoffe zeigen ein mehr oder weniger stark ausgeprägtes viskoelastisches Verhalten. Durch die mechanische Belastung werden die Sekundärbindungen im Molekülaufbau gelöst und die Molekülketten gleiten aneinander vorbei. Je länger die Belastung andauert, desto mehr entfernen sich die Ketten voneinander.

Das bedeutet, dass sich Kunststoffe gegenüber metallischen Werkstoffen unter hohen Belastungen, die über einen längeren Zeitraum andauern, verformen (→ kalter Fluss). Wird die maximale Dehnung erreicht, verfestigt sich der Kunststoff wieder und die Dehnung sinkt. Diese Eigenschaften sind um so ausgeprägter, je schwächer die Sekundärbindungen des Makromoleküls sind.

Ein einfacher Molekülaufbau ohne sich verhakende Seitengruppen oder ein geringer Kristallinitätsgrad des Kunststoffs begünstigt dabei das Vorbeigleiten der Ketten.



Die Verformung wird durch Temperatureinfluss noch zusätzlich gefördert. Die Moleküle werden zu Schwingungen angeregt, die zu größeren Abständen der Ketten und damit schwächeren Sekundärbindungen führen. Demzufolge können Festigkeitswerte zur Dimensionierung von Bauteilen nicht als Einpunktwert verwendet werden, sondern müssen in Abhängigkeit von Belastungszeit und Temperatureinwirkung in die statische Berechnung eingehen.

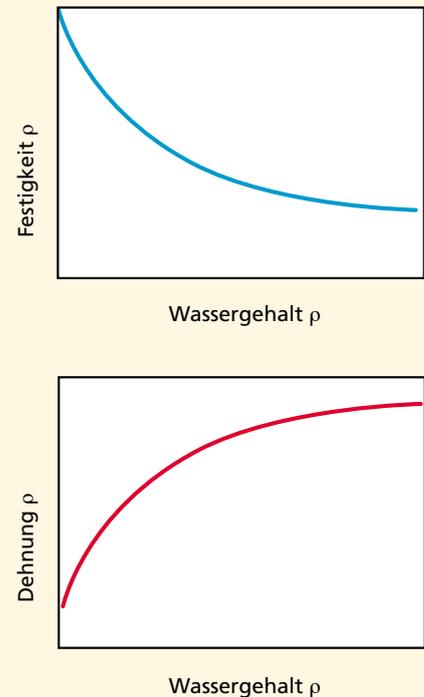
#### 3.1.2 Feuchteaufnahme

Speziell die durch Polykondensation (→ Polymerisation unter Abspaltung von z. B. Wasser) hergestellten Kunststoffe haben die Neigung, Wasser aus der Umgebung durch Eindiffundieren aufzunehmen. Dieser Vorgang ist eine reversible Gleichgewichtsreaktion, wobei die Kunststoffe desto mehr Wasser aufnehmen, je höher das Angebot in der Umgebung ist. Die eingelagerten Wassermoleküle vergrößern den Abstand zwischen den Molekülketten und verursachen so eine Schwächung der Sekundärbindungen.

Die Ketten werden beweglicher und eine Abnahme der mechanischen Werte bei Zunahme der Elastizität sowie Quellung ist die Folge.

Bei Polyamiden sorgen die Wasserstoffbrücken nicht nur für hervorragende mechanische Eigenschaften, wie besonders gute Abriebfestigkeit, mechanische Festigkeit und Zähigkeit, sondern führen auch zur Einlagerung von Wasser in die Molekülketten.

Da Wasser, ebenso wie die Moleküle des Polyamids, zu Wasserstoffbrückenbildung fähig ist, trennt dieses nach dem Eindiffundieren in die Molekülkette die bestehende Wasserstoffbrücke auf und besetzt die freien Valenzen. Die Polymerkette wird durch die Wassermoleküle etwas beweglicher, womit Platz für weitere Wassermoleküle geschaffen wird. Dieser Vorgang setzt sich bis zur Sättigung fort. Sinkt die Wasserkonzentration in der Umgebung wieder ab, kehrt sich der Vorgang um. Begünstigt wird die Wasseraufnahme durch Temperaturerhöhung und hohe Umgebungsfeuchte. Durch die Wasseraufnahme werden die Polyamide zähelastischer und weniger fest und steif.



Für Anwendungen, wo diese Eigenschaften gewünscht werden, lässt sich der Wassergehalt gezielt durch Lagerung in heißem Wasser ( $\rightarrow$  Konditionieren) erhöhen.

Für die Wasseraufnahme durch Luftfeuchtigkeit ist anzumerken, dass sich der Vorgang bei dickwandigen Bauteilen ausschließlich im oberflächennahen Bereich abspielt und eine Wasseraufnahme im Bauteilinneren mit den geschilderten Folgen im Normalfall nicht zu erwarten ist.

### 3.1.3 Chemikalieneinwirkung

Chemikalien können die Primär- und Sekundärbindungen der Molekülketten angreifen und trennen, was sich durch Quellung oder Zersetzung des Kunststoffes bemerkbar macht. Die Quellung des Kunststoffes wird durch das Eindiffundieren der Chemikalie in den Molekülaufbau hervorgerufen, was zu Festigkeitsverlust führt. Bei einem rein chemischen Angriff kann der Festigkeitsverlust ohne nennenswerte Volumen- und Gewichtsvergrößerung erfolgen.

Durch das Eindiffundieren der Fremdmoleküle werden die Nebervalenzkräfte so weit herabgesetzt, dass es aufgrund von Eigenspannungen im Werkstoff oder durch äußere Krafteinwirkung zu (Spannungs-) Rissen kommen kann ( $\rightarrow$  Spannungsrisskorrosion).

### 3.2 Chemische Beständigkeit

Kunststoffe haben im Vergleich zu metallischen Werkstoffen eine hohe chemische Beständigkeit. Dies ist auf die Verbindung der Moleküle durch Atombindungen zurückzuführen. Die Nebervalenzkräfte spielen aufgrund ihrer eher physikalischen Natur nur eine untergeordnete Rolle. Die meisten Kunststoffe sind gegen viele Säuren und Laugen sowie wässrige Salzlösungen und Lösemittel beständig.

Oxidierende Säuren oder organische Lösemittel stellen in vielen Fällen jedoch ein Problem dar, sind aber mit speziellen Kunststoffen beherrschbar.

Die Widerstandsfähigkeit gegen Chemikalien sinkt mit zunehmender Temperatur und Einwirkdauer und zeigt sich durch Gewichts- und Volumenzunahme sowie den Rückgang der mechanischen Werte. Unbeständigkeit gegen ein Medium zeigt sich in der Regel durch Quellung des Kunststoffes ohne nennenswerten chemischen Angriff oder durch chemischen Angriff mit mäßiger oder starker Quellung.

# Aufbau und Eigenschaften

## 3.3 Elektrische Eigenschaften

Durch die Atombindung der Moleküle verfügen Kunststoffe nicht, wie z. B. metallische Werkstoffe mit Ionenbindungen, über freie Elektronen und gehören damit zu den Nichtleitern. Durch Wasseraufnahme und/oder Zugabe von metallischen Füllstoffen, Graphit oder Ruß können die Isolationseigenschaften jedoch stark herabgesetzt oder aufgehoben werden.

Viele Kunststoffe eignen sich für den Einsatz im Hochfrequenzbereich, da ihre dielektrischen Verlustzahlen sehr gering sind und sie sich infolgedessen nur wenig erwärmen.

Die Verlustzahl sollte im Anwendungsbereich

- für Hochfrequenzisolatoren  $\epsilon_r \cdot \tan \delta < 10^{-3}$
- für Hochfrequenzerwärmung  $\epsilon_r \cdot \tan \delta > 10^{-2}$

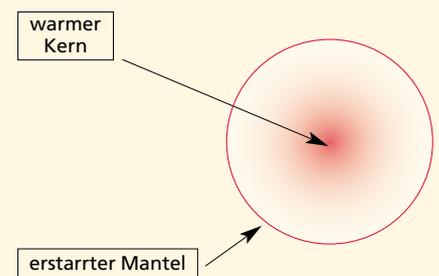
sein.

Kunststoffe weisen im Allgemeinen einen Oberflächenwiderstand von  $>10^8 \Omega$  auf. Dies führt bei Reibung mit einem zweiten Nichtleiter durch Elektronenübertritt an der Grenzfläche zu elektrostatischer Aufladung. Für die Verwendung in explosionsgeschützten Bereichen sind Kunststoffe ohne Leitfähigkeitsadditive nicht geeignet, da es beim Berühren mit geerdeten Gegenständen zu Funkenbildung kommen kann.

## 3.4 Dimensionsstabilität

Mit zunehmender Wärme bzw. durch Einlagern von Fremdmolekülen (z. B. Wasser oder Lösemittel) in den Kettenverbund der Molekülketten, nimmt der Abstand der Ketten zu. Das hat eine Volumenveränderung der aus Kunststoff gefertigten Bauteile und damit eine Maßvergrößerung zur Folge. Umgekehrt findet mit zunehmender Kälte oder abnehmendem Wassergehalt eine Volumenverkleinerung statt, die mit entsprechender Schwindung und Maßverkleinerung einhergeht.

Kunststoffe werden im Allgemeinen aus der Schmelze zu Halbzeugen ur- oder umgeformt. Bei den von uns hergestellten Halbzeugen handelt es sich dabei in der Regel um Produkte mit dicken Wandstärken und hohem Volumen, wie z. B. Vollstäbe, Tafeln und Blöcke. Da Kunststoffe schlechte Wärmeleiter sind, kühlen die Randbereiche wesentlich schneller ab als der Kern des Produkts. Dieser hat jedoch aufgrund der Wärmedehnung ein größeres Volumen als die Randbereiche. Der Außenbereich ist schon unter Volumenverlust und damit verbundenem Schwinden erstarrt. Es entstehen durch den Schwund des Kerns innere Spannungen, die beim weiteren Abkühlen im Produkt „einfrieren“. Diese Spannungen lassen sich durch Wärmebehandlung (→ Tempern, ähnlich dem spannungsfreien Glühen bei Stahl) minimieren. Ein Restanteil dieser Spannungen kann jedoch erhalten bleiben. Diese bauen sich im Lauf der Zeit aufgrund des viskoelastischen Verhaltens der Kunststoffe ab (→ Relaxation).



Durch einseitige Spanabnahme bei der Bearbeitung sowie durch Erwärmen können diese inneren Restspannungen frei werden, was sich entweder in Form von Maßänderungen oder durch Verzug bemerkbar machen kann.

Die vorangegangenen beschriebenen Eigenschaften der Kunststoffe sind mehr oder weniger stark ausgeprägt und durch konstruktive Maßnahmen gut zu beherrschen und zu kompensieren. Sie müssen aber bei der konstruktiven Auslegung eines Bauteils in jedem Fall ausreichend berücksichtigt werden. Auf spezielle Problematiken, wie z. B. Hinweise bezüglich Brandverhalten, Lagerung, werkstoffgerechte Tolerierung von Bauteilen und vieles mehr, wird in den nachfolgenden Kapiteln eingegangen.

## 1. Brandverhalten von Kunststoffen und Eingruppierung in Brandklassen

Kunststoffe sind im Allgemeinen organische Stoffe oder Abwandlungen von organischen Stoffen, die, wie andere organische Stoffe auch, bei höheren Temperaturen durch Kettenbruch, Abspaltung von Substituten und Oxidation bedroht sind. Bis auf wenige Ausnahmen sind Kunststoffe daher mehr oder weniger brennbar, was im konkreten Einsatz von Kunststoffen ein ernsthaftes technisches Problem darstellen kann.

### 1.1 Brennbarkeit

Werden Kunststoffe örtlich oder großflächig über ihre spezifische Zersetzungstemperatur hinaus erwärmt, spalten sie flüchtige, niedermolekulare Bestandteile ab. In vielen Fällen bilden diese mit dem Sauerstoff der Umgebung ein brennbares Gasgemisch, welches sich unter Hinzufügen einer Zündquelle und ausreichendem Sauerstoff entzünden kann.

Dabei ist es für die Entstehung eines Brandes und den Brandfortschritt von entscheidender Bedeutung, wie hoch die zugeführte Wärmemenge ist und auf welches Volumen mit welcher Oberflächengröße eines brennbaren Stoffes sie einwirken kann. Als weiterer entscheidender Faktor ist die Luftsauerstoffkonzentration anzusehen.

So ist es z. B. möglich, dass eine große Wärmemenge, die auf ein großes Volumen mit großer Oberfläche eines Stoffes einwirkt, unter Sauerstoffmangel anfangs nur zur pyrolytischen Spaltung (→ Abspaltung von leicht brennbaren, flüchtigen und niedermolekularen Bestandteilen) führt. Fügt man Sauerstoff in der richtigen Konzentration hinzu, kann es unter ungünstigen Umständen zur Verpuffung oder Explosion kommen.

Bei gleichem Volumen, jedoch niedrigerer Wärmezufuhr und ausreichend hoher Sauerstoffkonzentration brennt derselbe Stoff dagegen nur langsam ab. Eine brandtechnische Voraussage ist aufgrund dieses Verhaltens sehr schwierig, wenn nicht sogar unmöglich.

### 1.2 Brandgase

Wie bei der Verbrennung von anderen Stoffen entstehen auch beim Verbrennen von Kunststoffen diverse Brandgase. Diese werden in der Regel als besonders toxisch wirkend dargestellt. Dies ist insofern nicht richtig, als dass zum einen die Toxizität von der Art und Menge des am Brand beteiligten Kunststoffes abhängt, zum anderen grundsätzlich alle bei einer Verbrennung (stoffunabhängig) entstehenden Brandgase als toxisch wirkend anzusehen sind.

Als Beispiel ist das bei der Verbrennung von Polyethylen entstehende Brandgas zu nennen, welches neben geringen Mengen von Ruß und niedermolekularen Kunststoffanteilen, fast ausschließlich Kohlenmonoxid, Kohlendioxid und Wasser enthält. Dies ist vergleichbar mit dem Brandgas, welches bei der Verbrennung von Holz oder Stearin entsteht.

Dahingegen besteht bei der Verbrennung von Polyvinylchlorid die Gefahr des Abspaltens von Chlor, das mit Luftfeuchtigkeit oder Löschwasser zu Salzsäure reagiert.

Viele Kunststoffe verbrennen unter starker Rußentwicklung, was die Erreichbarkeit des Brandherdes für die Rettungskräfte erschwert. Zu diesen Kunststoffen gehören die Polyolefine PE und PP, aber auch Styrolkunststoffe wie PS und ABS.

Für Konstruktionen in brandtechnisch kritischen Bereichen ist dies zu berücksichtigen.

## 1.3 Brandverhalten

Fast alle Kunststoffe sind brennbar. Eine Ausnahme bilden PTFE und Silikone, die als praktisch unbrennbar gelten. Die meisten Kunststoffe brennen nach Entzünden und Entfernen der Zündquelle weiter. Einige verlöschen nach Entfernen der Zündquelle, wohingegen andere wiederum nicht entzündet werden können. In vielen Fällen schmilzt der Kunststoff durch die entstehende Verbrennungswärme und tropft dann brennend ab, was die Brandverbreitung fördern kann. Die Brennbarkeit kann durch Zugabe von entsprechenden Additiven herabgesetzt werden. Es werden Additive, die auf folgenden Mechanismen basieren, verwendet:

- **Wärmeverbrauch**

Die Temperatur des Kunststoffs wird durch Abbau bzw. Verdampfen des Additivs herabgesetzt. Diese ist z. B. durch Wasserdepots (Aluminiumhydroxid) oder zugesetzte Phosphorverbindungen im Kunststoff möglich.

- **Radikalenbindung**

Die während des Brands entstehenden Radikale werden durch das Additiv gebunden und so wird der thermische Zerfall und damit die Abspaltung von brennbaren, flüchtigen Bestandteilen gebremst.

- **Bildung von schweren Gasen**

Durch die thermische Einwirkung auf das Additiv bilden sich schwere Gase, vorzugsweise Halogene, die den Kunststoff vom Luftsauerstoff abschirmen und somit eine Oxidation verhindern.

Die Verwendung von brandmindernden Additiven ermöglicht es jedoch nicht, Kunststoffe unbrennbar zu machen. Für Anwendungen, die eine Unbrennbarkeit des Kunststoffs fordern, eignen sich ausschließlich die als unbrennbar geltenden Kunststoffe.

## 1.4 Brandklassen

Zur Bewertung des Brandverhaltens von Kunststoffen werden in der Regel nicht genau abgrenzbare Begriffe, wie z. B. „leicht brennbar“, „schwer entflammbar“ oder „nicht entzündlich“ verwendet. Da aber keine allgemeingültigen Definitionen dieser Begriffe existieren, geben diese das tatsächliche Brandverhalten des Kunststoffs nur unzulänglich wieder. Ohne Kenntnis, auf welchem Prüfverfahren eine Bewertung basiert, erlauben sie daher nur bedingt einen Rückschluss auf die Verwendbarkeit eines Kunststoffs für einen bestimmten Anwendungsfall. So ist es beispielsweise möglich, dass ein Kunststoff bei einer Prüfung für die Elektrotechnik in einer schlechten Brandklasse eingruppiert wird, während er bei einer Prüfung im Verkehrswesen alle Brandschutzkriterien erfüllt. Entscheidend für die Bewertung ist also die Art und der Aufbau der jeweiligen Prüfung. Oftmals fällt die Auswahl eines für den Einsatzfall zutreffenden Prüfverfahrens jedoch schwer, denn die Vielzahl der möglichen Verfahren ist groß. Derzeit existieren für die Beurteilung des Brandverhaltens von Kunststoffen in den Einsatzbereichen Elektrotechnik, Verkehrswesen, Bauwesen usw. ca. 700 nationale und internationale Prüfverfahren.

Gleichwohl haben einige, wie zum Beispiel die UL-Prüfungen der Underwriters-Laboratories (USA), für die brandschutztechnische Bewertung weltweite Bedeutung erlangt. Ursprünglich für die Elektrotechnik gedacht, haben sich die Verfahren UL 94 HB bzw. UL 94 V als die bedeutendsten durchgesetzt. Zwischenzeitlich orientieren sich aber auch andere Branchen zunehmend an den Prüfergebnissen, die mit diesem Verfahren erzielt werden. Kriterien der Prüfungen nach UL 94 sind die Abbrennzeit und das Abbrennverhalten von Kunststoffen. Diese werden mit zwei verschiedenen Prüfaufbauten ermittelt:

### Horizontaler Flammversuch (UL 94 HB)

Die Proben werden mit einer um 45° zur Horizontalen geneigten Querachse waagrecht in den Probenhalter eingespannt und mit einem Bunsenbrenner am freien Ende entzündet. Auf der Probe sind Markierungen im Abstand von 25,4 mm und 101,6 mm zum beflammt Ende angebracht. Der Probewerkstoff entspricht dann der Klassifizierung, wenn die Abbrandgeschwindigkeit zwischen den beiden Messmarken bei Probendicken von ≤ 3,05 mm maximal 76,2 mm/min und Dicken > 3,05 mm maximal 38,1 mm/min beträgt. Zudem müssen die Proben vor Erreichen der 101,6 mm-Marke von selbst verlöschen.

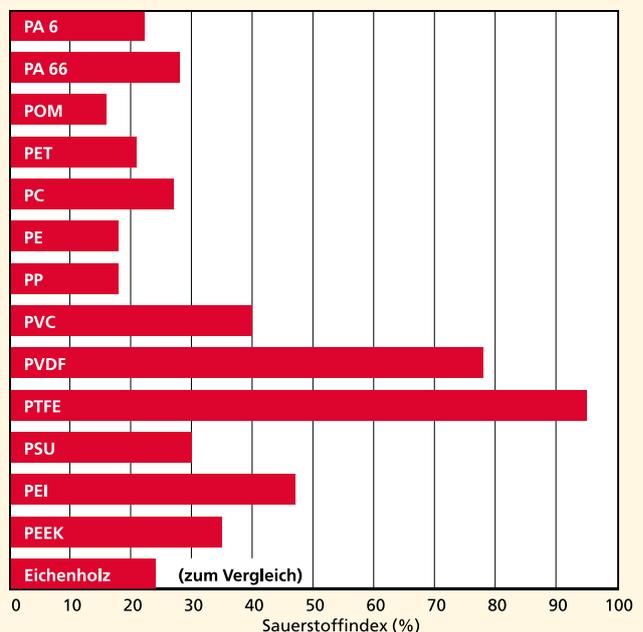
### Vertikaler Flammversuch (UL 94 V)

Die Proben werden vertikal hängend in den Probenhalter eingespannt. Unterhalb des eingespannten Probekörpers ist im definierten Abstand eine Wattelage angeordnet. Mit einem senkrecht unter der Probe angeordneten Bunsenbrenner werden diese am freien Ende beflammt. Die Beflammung erfolgt je Probe zweimal für die Dauer von 10 Sekunden. Prüfungskriterium zur Erfüllung der Prüfung ist die Zeitspanne, die zwischen der Wegnahme des Brenners und dem selbstständigen Verlöschen der Probe verstreicht. Als weiteres Kriterium für die Klassifizierung wird beobachtet, ob Teile der Proben brennend abtropfen und die unterhalb angeordnete Watte entzünden. Details zu den einzelnen Anforderungen der unterschiedlichen Klassifizierungen können der nachfolgenden Tabelle entnommen werden.

### Klassifizierung nach UL 94

	V0	V1	V2
Anzahl der Probekörper	5	5	5
zulässige Nachbrennzeit je Probe bei einer Beflammung	≤ 10 s	≤ 30 s	≤ 30 s
zulässige Gesamt-Nachbrennzeit bei 5 Proben und zwei Beflammungen	≤ 50 s	≤ 250 s	≤ 250 s
Bildung brennender Tropfen/Entzündung der Watte zulässig	nein	nein	ja

Eine weitere Möglichkeit, die Entflammbarkeit von Kunststoffen zu vergleichen, stellt der Sauerstoffindex dar. In einem regelbaren O<sub>2</sub>/N<sub>2</sub>-Gemisch wird eine vertikal angeordnete Kunststoffprobe entzündet und der Volumenanteil an O<sub>2</sub> gemessen, der zur Verbrennung des Kunststoffes mindestens notwendig ist. Diese Prüfung erlaubt auch die Beobachtung der Wirkung von Flammschutzmitteln. Die nachfolgende Abbildung enthält einige Sauerstoffindizes zum Vergleich. Indexwerte < 21 % können zum Weiterbrennen nach Entfernen der Zündquelle führen. Informationen zu weiteren, in der Technik üblichen und angewendeten Prüfverfahren erhalten Sie auf Anfrage.



## 1. Strahlen- und Witterungsbeständigkeit von Kunststoffen

Die Veränderung von Kunststoffen durch Witterungseinflüsse und energiereiche Strahlen wird häufig in Anlehnung an den Vorgang des biologischen Verfalls, mit dem Begriff „Altern“ bezeichnet. Dies liegt insofern nahe, als dass Kunststoffe als organische Werkstoffe nicht nur in ihren Bestandteilen eine Analogie zu den Naturstoffen zeigen, sondern auch in ihrem makromolekularen Aufbau. Deutlich wird die Parallele auch daran, dass häufig von der „Lebensdauer“ eines Kunststoffprodukts gesprochen wird. Die Dauer wird vom Abbau des Kunststoffs bestimmt. Sie ist im Verhältnis zu anderen Naturstoffen recht lang, aber tatsächlich begrenzt.

### 1.1 Strahlung

Die Mehrzahl der Kunststoffe unterliegt unter Einwirkung von energiereicher Strahlung einem Abbau oder einer Vernetzung der makromolekularen Strukturen. Welche Strukturveränderung sich dabei im molekularen Aufbau ergibt, ist vom Luftsauerstoff abhängig.

Bei Anwesenheit von Sauerstoff tritt in der Regel der oxidative Abbau des Kunststoffs ein. Dies ist insbesondere dann der Fall, wenn die Strahlendosis klein, die Oberfläche des Produkts groß und die Wandstärken gering sind. Unter diesen Voraussetzungen hat der Luftsauerstoff ausreichend Zeit, in den Kunststoff einzudiffundieren und die durch die Strahlung entstandenen freien Valenzen zu besetzen.

In Abwesenheit von Sauerstoff wird der Kunststoff teilweise durch Hauptkettenbrüche abgebaut und teilweise vernetzt. Im Allgemeinen kommen Abbau- und Vernetzungsreaktion zur gleichen Zeit vor, wobei eine der Reaktionen überwiegt.

In jedem Fall gehen die Veränderungen des Kunststoffs durch Strahlung mit dem Verlust von mechanischen Eigenschaften, wie z. B. mechanischer Festigkeit, Steifigkeit und Härte oder Versprödung einher. Kunststoffe, die einer Vernetzung unterliegen, können eine Eigenschaftsänderung bis zum gummielastischen Zustand erfahren. Zudem werden sowohl bei der Vernetzung als auch beim Abbau der Kunststoffe in geringen Mengen gasförmige Stoffe, wie z. B. Kohlenmonoxid oder Kohlendioxid abgespalten.

Zu berücksichtigen ist jedoch, dass sich die beschriebenen Veränderungen nur allmählich einstellen und es keinesfalls plötzlich und ohne Vorankündigung zu Eigenschaftsänderungen kommt. Die Wirkung von Strahlung auf Kunststoffe ist von der Teilegeometrie, Dosierleistung, mechanischen Belastung, Temperatur und dem umgebenden Medium abhängig. Eine pauschale Angabe von Schädigungsdosen für die einzelnen Kunststoffe ist daher nicht möglich.

### 1.2 Witterungseinflüsse

Die Bewertung der Witterungsbeständigkeit wird größtenteils an der optischen Veränderung der Oberfläche festgemacht. Dabei bleibt die Frage nach den Veränderungen der mechanischen Werte jedoch unbeantwortet. Es ist nicht auszuschließen, dass einerseits Kunststoffe, die keiner nennenswerten optischen Veränderung unterliegen, einen gravierenden Verlust der mechanischen Eigenschaften aufweisen und andererseits Kunststoffe mit erheblichen optischen Veränderungen nur unwesentliche Einbußen der mechanischen Eigenschaften verzeichnen. Für die Bewertung der Witterungsbeständigkeit müssen aber in jedem Fall auch die mechanischen Eigenschaften ein Maß der Dinge sein. Als Folge von Witterungseinflüssen sind der Rückgang von Festigkeit und Härte sowie Zunahme der Elastizität oder eine Versprödung zu nennen. Daneben kann die Oberfläche des Kunststoffs ausbleichen oder oxidativ zersetzt werden bzw. durch Spannungsrissbildung aufreißen.

Die Veränderungen der Kunststoffe unter Witterungseinflüssen werden hauptsächlich durch thermo- und photooxidative Reaktionen sowie durch die Einlagerung von Wassermolekülen in den Kettenaufbau des Kunststoffs hervorgerufen.

Einwirkende UV-Strahlung und Erwärmung durch direkte Sonneneinstrahlung führen zu Kettenabbau und freien Valenzen, die durch eindiffundierten Sauerstoff gesättigt werden. Die Oberfläche vergilbt bzw. bleicht aus.

Bei teilkristallinen Kunststoffen kann es zur Nachkristallisation und damit zu höherer Härte und Steifigkeit kommen. Folglich werden diese Kunststoffe aber auch spröder und verlieren einen Teil ihrer Elastizität. Eingefrorene Restspannungen aus dem Fertigungsprozess können durch die Wärmeeinwirkung, ähnlich eines Tempervorgangs, relaxieren und Verzug hervorrufen. Hiervon sind vor allem dünnwandige Fertigteile bedroht.

Durch die Aufnahme von Wasser werden die Kunststoffe zähelastisch und die Festigkeit und Steifigkeit gehen zurück, was bei dünnwandigen Fertigteilen ebenfalls ein Problem darstellen kann. Ähnlich wie bei Brandschutzadditiven lässt sich auch die Witterungsbeständigkeit durch Additive verbessern. Ein vollkommener Schutz gegen Abbau durch Witterungseinfluss ist aber auch hier nicht realisierbar. Leider ist bis heute keine gültige Prüfnorm und damit einheitlicher Parameter bezüglich der künstlichen Bewitterung und deren Messgrößen zum Vergleich der Beständigkeiten festgelegt. Tendenziell lässt sich jedoch sagen, dass die mit Ruß schwarz eingefärbten oder gegen UV-Licht durch Additive stabilisierten Kunststoffe gegenüber Licht- und Witterungseinflüssen stabiler sind als die hell eingefärbten oder naturbelassenen Typen. Eine Ausnahme hiervon bilden die Kunststoffe PVDF und PTFE, die auch ohne Einfärbung oder Additive hervorragende Beständigkeit gegenüber Licht- und Witterungseinflüssen zeigen.

Aber auch Polyamide absorbieren aufgrund ihres chemischen Aufbaus keine UV-Strahlung und werden daher prinzipiell als witterungsstabiler Kunststoff eingestuft. Diese Einschätzung gilt, sofern es sich um dickwandige Bauteile (Wandstärken > 5 mm) handelt. Veränderungen der Werkstoffcharakteristik (z. B. Versprödung) werden häufig nur bei extrem dünnen Produkten (z. B. Folien) – insbesondere bei beidseitiger Bewitterung – beobachtet. Aber auch bei dickwandigen Bauteilen sind bei Einwirken von energiereichen Strahlen (UV-Strahlung o. a.) unter gleichzeitiger Sauerstoffeinwirkung Veränderungen zu beobachten. Es kann unter diesen Bedingungen zu Oberflächenoxidation kommen, die zu Verfärbungen der Oberfläche führen kann. Da Polyamide aber unter anderem auch als Sauerstoffbarriere gelten, bleibt die schädigende Wirkung an der Oberfläche auf eine Tiefe von 0,2-0,3 mm begrenzt. Es bildet sich eine „Rinde“ aus, unter der der Kern des Bauteils vor weiteren oxidativen Angriffen gut geschützt ist. Auswirkungen auf die Werkstoffcharakteristik des Kernmaterials aufgrund der UV-Strahlung sind daher normalerweise nicht zu beobachten.

Das Phänomen der Rindenbildung gilt bei dickwandigen Bauteilen aus Polyamiden auch für die Wassereinlagerung. Auch hier sind Auswirkungen auf die Werkstoffcharakteristik des Kernmaterials (Zunahme der Elastizität bei gleichzeitiger Abnahme der Festigkeit) in der Regel erst dann zu beobachten, wenn das Ende der Bauteillebensdauer durch mechanische Einflüsse (z. B. Verschleiß) bereits erreicht wurde.

Es wird deutlich, dass bei der Bewertung der Witterungsbeständigkeit nicht nur der verwendete Kunststoff und die Einfärbung maßgeblich sind, sondern auch die Teilegeometrie entscheidend ist. Veränderungen, die durch Witterungseinflüsse hervorgerufen werden, spielen sich in der Regel nur in oberflächennahen Bereichen der Produkte ab. Tieferliegende Schichten werden im Allgemeinen nicht angegriffen, sodass dickwandige Bauteile weniger von Veränderungen betroffen sind als dünnwandige. Dennoch empfiehlt es sich, für Teile, die unter Witterungsbedingungen eingesetzt werden oder energiereichen Strahlen ausgesetzt sind, die als beständig geltenden Werkstoffe zu verwenden und die Beständigkeit durch einen (möglichst unter Einsatzbedingungen durchzuführenden) Versuch zu bestätigen.

## **Hinweise zum werkstoffgerechten Umgang mit Kunststoffen bei Wareneingang und Lagerung**

Die in den vorangegangenen Abschnitten beschriebenen Werkstoffeigenschaften und Besonderheiten von Kunststoffen machen deutlich, dass Kunststoffprodukte ungewollte Qualitätseinbußen durch Umwelteinflüsse erfahren können.

Für den Erhalt der hochwertigen Qualität und Funktionalität unserer Produkte – auch über einen längeren Lagerzeitraum – sind daher einige Faktoren bei Handhabung und Lagerung zu berücksichtigen:

1. Kunststoffe verspröden bei tiefen Temperaturen und werden dann hart, unelastischer und schlagempfindlich. In diesem Zustand ist die Bruch- und Rissgefahr durch äußere Krafteinwirkung besonders bei Fertigteilen sehr hoch. Kalte Kunststoffprodukte sollten in keinem Fall geworfen, geschüttet oder fallengelassen werden.
2. Die Eigenschaften von Kunststoffen können sich unter Einwirkung von Witterungseinflüssen verändern. Durch Sonneneinstrahlung, Luftsauerstoff und Feuchtigkeit können die Werkstoffeigenschaften nachhaltig negativ beeinflusst werden (z. B. durch Ausbleichen und/oder Oxidieren der Oberfläche, Wasseraufnahme etc.). Bei direkter Sonneneinstrahlung oder einseitiger Erwärmung besteht die Gefahr von dauerhaftem Verzug durch Wärmedehnung und frei werdenden inneren Restspannungen. Daher sollten Fertigteile nicht, Halbzeuge möglichst nicht, über eine längere Zeit im Freien gelagert werden.
3. Kunststoffe haben kratzempfindliche Oberflächen. Scharfe Kanten an Regalen, Nägel in Paletten, grobe Schmutzpartikel zwischen den Produkten und andere scharfkantige Gegenstände können zu Kratzern und/oder Riefen und ggf. durch diese zu Kerbwirkung und Bruch führen. Bei Transport und Lagerung auf Erhalt einer kratz- und riefenfreien Oberfläche achten und Verschmutzung durch Anhaften von groben Partikeln vermeiden.
4. Nicht alle Kunststoffe sind gleichermaßen gegen Chemikalien, Lösemittel, Öle und Fette beständig. Einige werden durch solche Substanzen angegriffen, was zu Oberflächentrübung, Quellung, Zersetzung und nachhaltigen Veränderungen der mechanischen Eigenschaften führen kann. Daher sind Substanzen, die Kunststoffe angreifen und schädigen können, während der Lagerung unbedingt von den Produkten fernzuhalten.
5. Kunststoffe unterliegen bei großen Temperaturschwankungen aufgrund von Schwindung oder Dehnung reversiblen Maßveränderungen. Maßkontrollen können nur dann unmittelbar nach Wareneingang durchgeführt werden, wenn die Produkte im Anlieferungszustand Raumtemperatur ( $\approx +23\text{ °C}$ ) aufweisen. Produkte mit höheren oder tieferen Temperaturen können aufgrund von Dehnung oder Schrumpfung des Kunststoffs zu falschen Messwerten führen. Zu warme/kalte Produkte müssen vor der Maßkontrolle an einem trockenen Ort zwischengelagert und auf Raumtemperatur gebracht werden.
6. Kunststoffe und daraus hergestellte Fertigteile sind Produkte die, bedingt durch ihre Herstellungsverfahren und trotz Temperung, mit Restspannungen im Werkstoff behaftet sein können. Diese haben die Tendenz, sich bei Lagerung über einen längeren Zeitraum unter Temperatureinfluss (z. B. durch Sonneneinstrahlung) zu entspannen. Polyamide haben zusätzlich die Neigung, bei erhöhter Luftfeuchtigkeit Wasser aufzunehmen, wodurch eine Volumenzunahme hervorgerufen wird. Diese Vorgänge sind in der Regel mit Maß- und Formveränderungen durch Verzug verbunden.

Für die langfristige Einlagerung von Fertigteilen empfehlen wir daher, diese in geschlossenen Kartons bei gleichbleibenden Bedingungen ( $\approx$  Normklima  $+23\text{ °C}/50\text{ \% RF}$ ) zu lagern. Die zu erwartenden Maß- und Formänderungen sind dann minimal und beeinflussen die Funktionstüchtigkeit in der Regel nicht.

**Deutschland:** Licharz GmbH  
Industriepark Nord | D-53567 Buchholz | Germany  
Telefon: +49 (0) 2683 - 977 0 | Fax: +49 (0) 2683 - 977 111  
Internet: [www.licharz.com](http://www.licharz.com) | E-Mail: [info@licharz.com](mailto:info@licharz.com)

**Frankreich:** Licharz eurl.  
Z.I. de Leveau – Entrée G | F-38200 Vienne | France  
Téléphone: +33 (0) 4 74 31 87 08 | Fax: +33 (0) 4 74 31 87 07  
Internet: [www.licharz.fr](http://www.licharz.fr) | e-mail: [info@licharz.fr](mailto:info@licharz.fr)

**England:** Licharz Ltd  
34 Lanchester Way | Royal Oak Industrial Estate | Daventry, NN11 8PH | Great Britain  
Phone: +44 (0) 1327 877 500 | Fax: +44 (0) 1327 877 333  
Internet: [www.licharz.co.uk](http://www.licharz.co.uk) | email: [sales@licharz.co.uk](mailto:sales@licharz.co.uk)

**USA:** Timco Inc  
2 Greentown Rd | Buchanan NY 10511 | USA  
Phone: +1 914 - 736 0206 | Fax: +1 914 - 736 0395  
Internet: [www.timco-eng.com](http://www.timco-eng.com) | Email: [sales@timco-eng.com](mailto:sales@timco-eng.com)

## LICHARZ GENAU IHRE LÖSUNG

*Wir denken von Anfang an mit!*

Wir beraten Sie beim Einsatz von Kunststoffen und entwickeln Ihr Bauteil mit Ihnen gemeinsam:

- Wir prüfen Einsatzbedingungen an Ihrer Maschine vor Ort,
- wir überprüfen Ihre Konstruktionszeichnung,
- wir empfehlen den Werkstoff und das Bearbeitungsverfahren,
- wir fertigen bei Bedarf einen Prototypen für Sie.

Schnell und wirtschaftlich erhalten Sie Ihr Produkt genau so, wie Sie es brauchen!