

# Werkstofftechnik II

Polymerwerkstoffe

Verfasser:

Prof. Dr.-Ing. Hans-Jürgen Christ

# Agenda

---

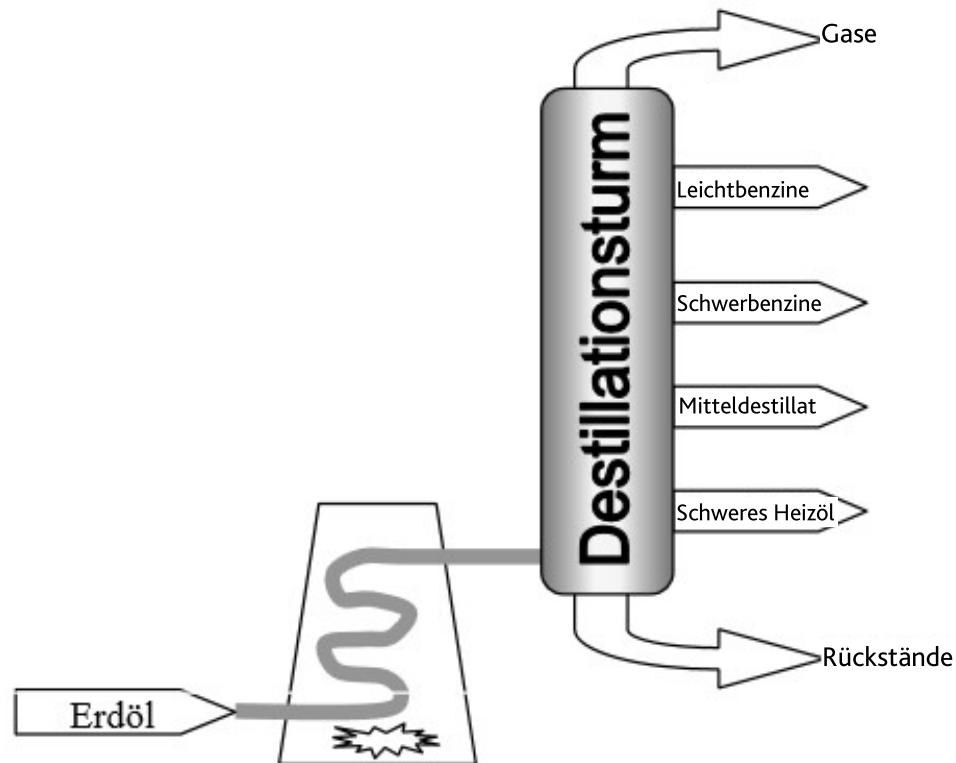
- Korrosion und Korrosionsschutz
- Normgerechte Werkstoffkennzeichnung
- Vom Rohstoff zum Bauteil
- Eisenwerkstoffe
- Aluminiumlegierungen
- Keramische Werkstoffe
- **Polymerwerkstoffe**
  - Allgemeines
  - Herstellung von Kunststoffen
  - Struktur und Eigenschaften
- Verbundwerkstoffe

Kunststoffe = künstlich hergestellte (besser: durch chemische Umsetzung erzeugte) Stoffe.

Sie werden aus **niedermolekularen** Verbindungen durch **chemische Synthese** erzeugt und bestehen im wesentlichen aus **organischen Makromolekülen** (hochpolymere Stoffe). Wichtigstes Element ist der Kohlenstoff (Basis der organischen Chemie).

Einige gemeinsame charakteristische Eigenschaften der Kunststoffe:

- gute chemische Beständigkeit (bei Raumtemperatur)
- niedrige Dichte ( $0,9 \text{ g/cm}^3 < \rho < 2,2 \text{ g/cm}^3$ )
- niedriger Elastizitätsmodul
- gute Verarbeitbarkeit durch plastisches Fließen
- meist gute Oberflächenbeschaffenheit
- schlechte Wärmeleitung
- geringe elektrische Leitfähigkeit (Isolator)
- Sprödigkeit bei niedriger Temperatur und
- geringe Festigkeit bei hoher Temperatur

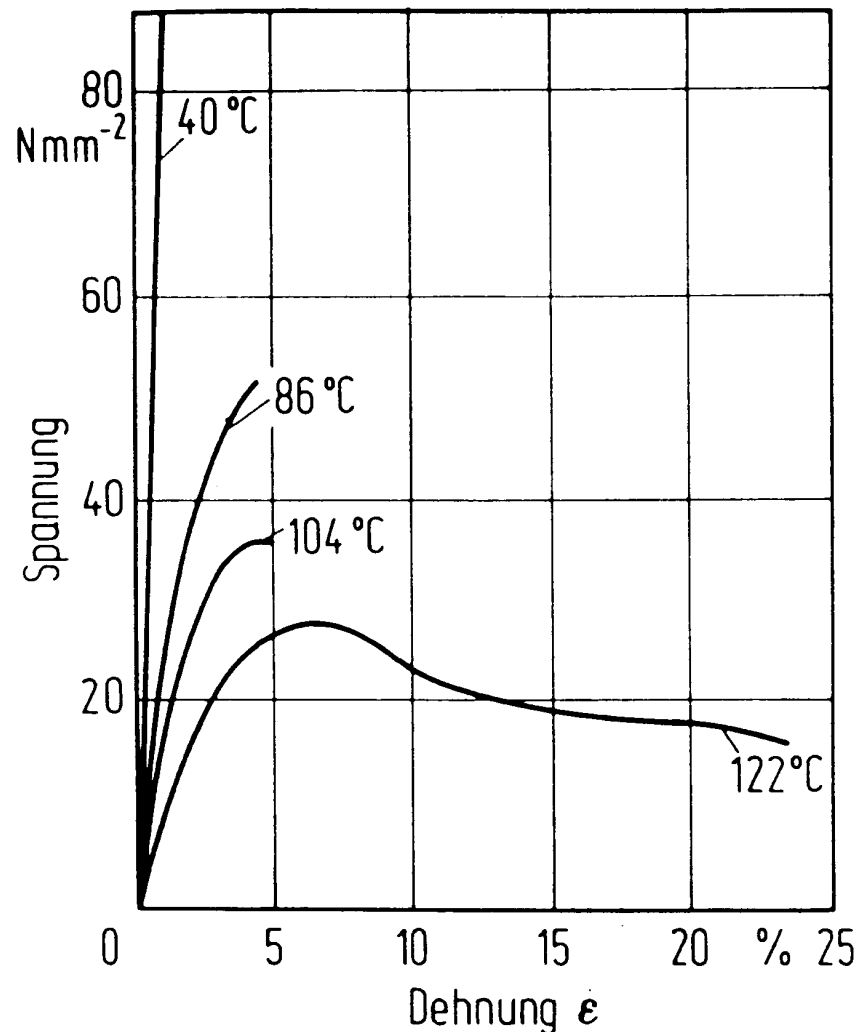


- Ausgangsstoffe für die Herstellung von Polymeren: Zellulose, Kohle, Erdgas und Erdöl.
- In der Raffinerie wird z.B. Erdöl durch Destillation in mehrere Bestandteile aufgespalten.
- Dabei wird das Erdöl auf ca. 400°C erhitzt und als Gas dem unteren Teil des Fraktionsturmes zugeführt.
- Teile des Erdölgases kondensieren an den einzelnen Etagen des Fraktionsturmes.
- Die Fraktion beruht auf den verschiedenen Siedepunkten der einzelnen Bestandteile des Rohmaterials.



- Das für die Kunststoffherzeugung wichtigste Bestandteil ist das Rohbenzin (Naphtha).
- Es wird anschließend im sogenannten Cracker in einem Spaltprozess in seine einzelne Verbindungen aufgebrochen und umgebaut.
- Diese sind
  - Ethylen,
  - Propylen,
  - Butylen und
  - andere Kohlenwasserstoff-Verbindungen

# Mechanisches Verhalten

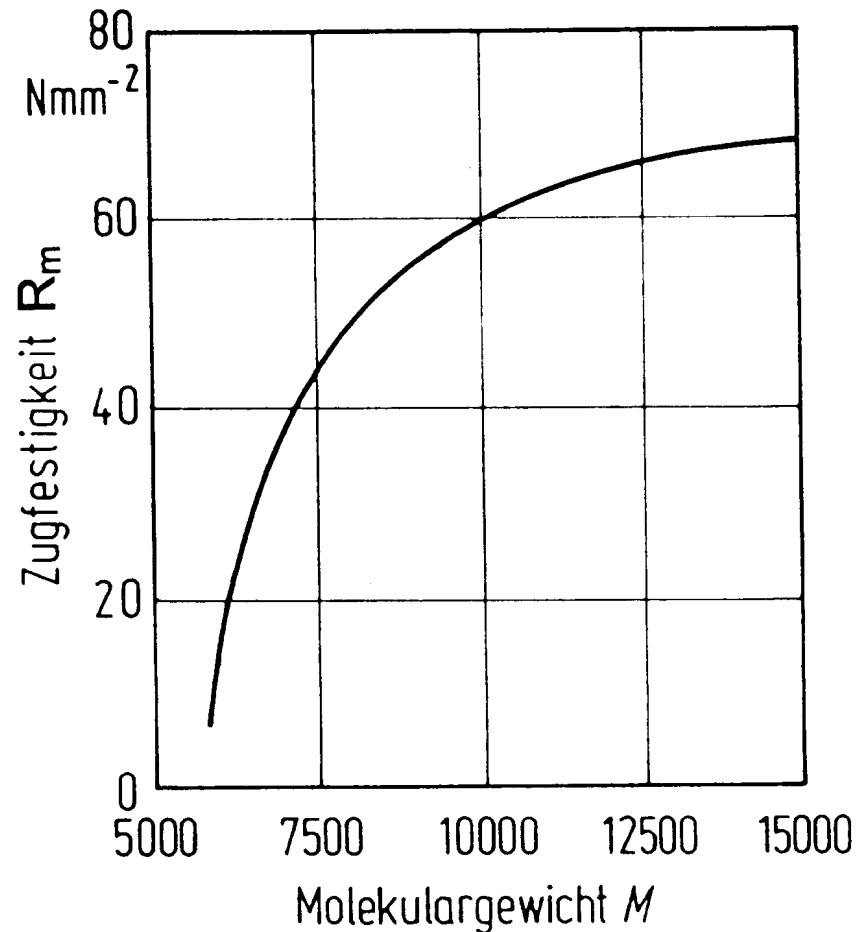


Spannungs-Dehnungskurve von PMMA (Plexiglas)  
Glasübergangstemperatur zwischen 40-80°C

- Das mechanische Verhalten der Kunststoffe ist durch seine extreme Zeit- und Temperaturabhängigkeit gekennzeichnet.
- Die **speziellen Eigenschaften** der einzelnen Kunststoffe lassen sich in einem weiten Bereich variieren und werden maßgeblich von

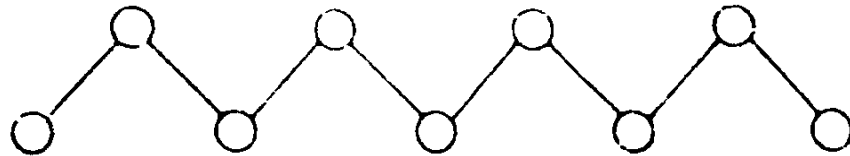
der Moleküllänge, der -anordnung  
und der -vernetzung

bestimmt.

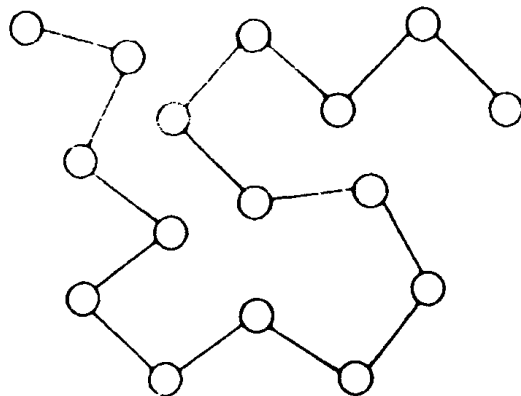


Einfluss des Molekulargewichtes auf die Zugfestigkeit eines Kopolymers

- Bei der Herstellung kann die resultierende Moleküllänge (ausgedrückt über das Molekulargewicht als das Gewicht, welches ein Mol der Makromoleküle wiegt) gesteuert werden.
- Allerdings liegt immer eine breite Verteilung der Moleküllängen vor, so dass das angegebene Molekulargewicht immer ein aus der Verteilung errechneter Mittelwert ist (der u.a. von der Berechnungsmethode abhängt).



- Wichtig für die Kunststoffe sind die Kettenmoleküle, die infolge Bindungsrichtungen auch im gestreckten Zustand nicht geradlinig sind.



- Da die Glieder der Ketten meist gegeneinander verdrehbar sind, entstehen unregelmäßig verknäulte und ineinander verschlungenen Formen.



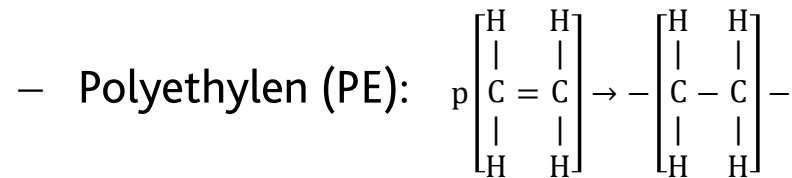
# (Iso)Polymerisation

Mer kommt ursprünglich aus dem Griechisch „meros“ = Teil

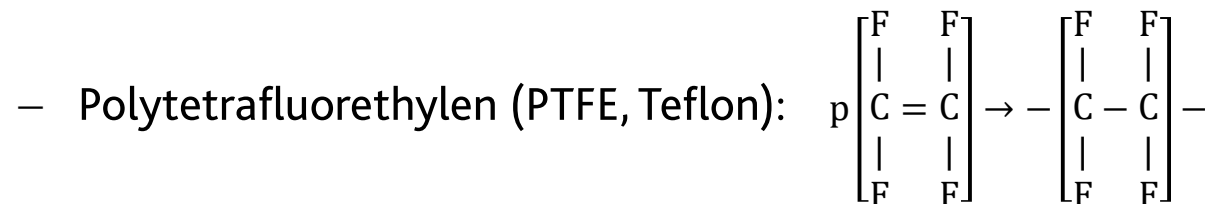
Durch Aufbrechen von Doppelbindungen des **Monomers** kommt es zur Bildung von Ketten:



Beispiele:



Müllsack aus PE



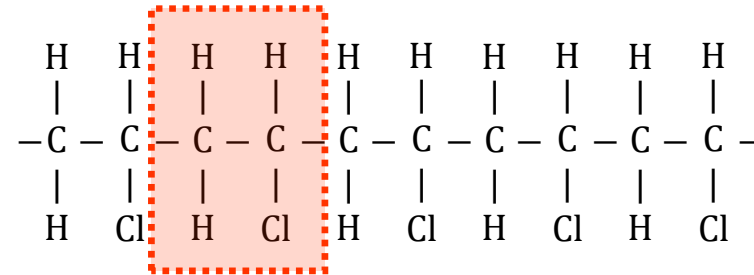
Teflon beschichtete  
Bratpfanne

# (Iso)Polymerisation

- Polyvinylchlorid (PVC):



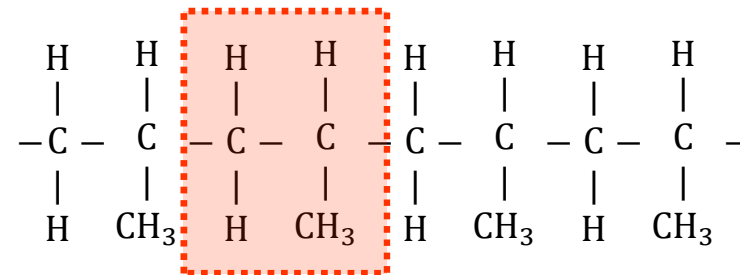
Fussbodenbelag aus PVC



- Polypropylen (PP):



Plastikbecher aus PP



- Weiterhin: PMMA (Plexiglas) und PS (Styropor)

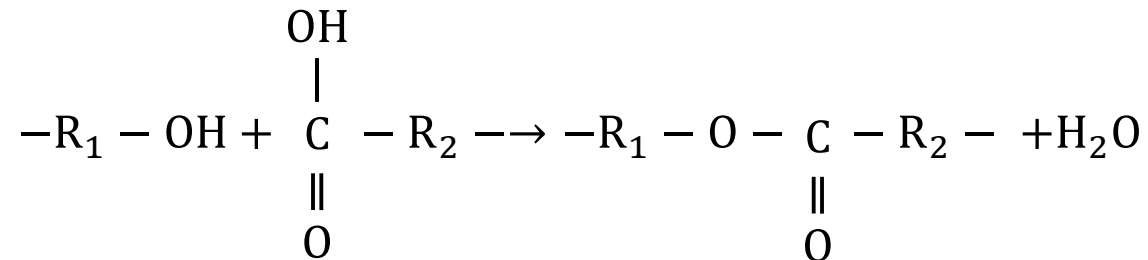
## Ko- oder Mischpolymerisation, Polykondensation

Ko- oder Mischpolymerisation:

- Gleichzeitige Verknüpfung verschiedener Monomere A, B, ...
- allgemein:  $nA + mB \rightarrow -[A_n B_m] -$
- Die Monomere können geordnet, in regelloser Folge, entmischt oder auch als Seitenzweige vorliegen.

Polykondensation:

- Reaktion von Monomeren (gleich oder ungleich) unter Abspaltung einer niedermolekularen Verbindung (meist  $H_2O$ ).
- allgemein:  $pA \rightarrow -[B]_p - + pC$
- Beispiel: Veresterung (Alkohol + Karbonsäure)

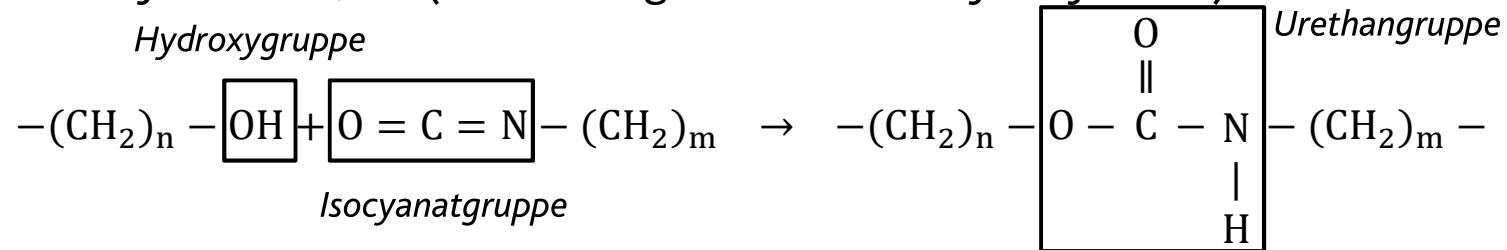


# Polyaddition

Verknüpfung gleicher oder ungleicher Monomere, wobei ein Austausch von Atomen stattfindet und keine Abspaltung einer Verbindung erfolgt.

allgemein:  $pA + pB \rightarrow -[C]_p -$

Beispiel: Polyurethane, PU (mehrwertige Alkohole + Polyisocyanate)



Adidas und Bayer MaterialScience entwickelten Textilbeschichtung auf Basis einer Polyurethan-Dispersion



Haushaltsschwämme aus weichem PUR-Schaum

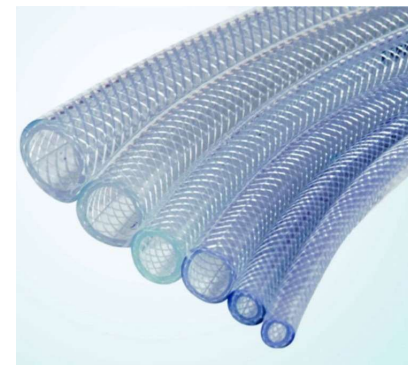


Dämmschicht aus Polyurethan-Hartschaum beim Hausbau

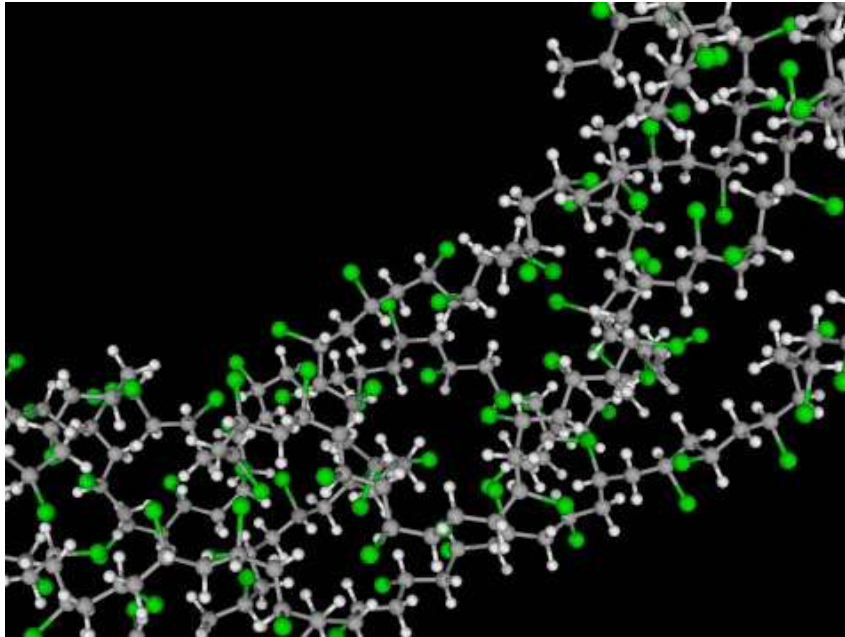
# Plastomere oder Thermoplaste

Die Eigenschaften der Kunststoffe werden maßgeblich von ihrer Struktur bestimmt. Häufig werden auch nichtpolymere Stoffe zugemischt, um die Eigenschaften zu beeinflussen:

- **Weichmacher** sind kleinere Moleküle, die zwischen den Ketten eines Thermoplastes liegen. Diese sollen die Versprödung bei niedrigen Temperaturen reduzieren.
- **Stabilisatoren** sollen abgespaltene Molekülteile (Cl aus PVC) bei höheren Temperaturen binden und so, z.B. beim PVC, die Freisetzung von  $\text{Cl}_2$  oder HCl verhindern.
- **Antistatische Additive** sollen die elektrische Leitfähigkeit erhöhen und Aufladung verhindern.
- **Pigmente** dienen zur Einfärbung des Werkstoffs.

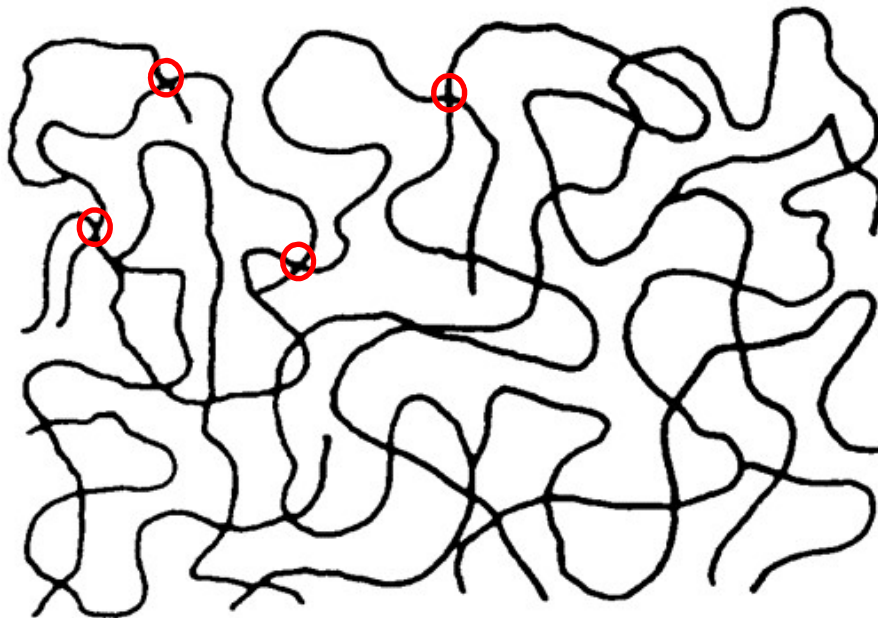


## Amorphe Plastomere



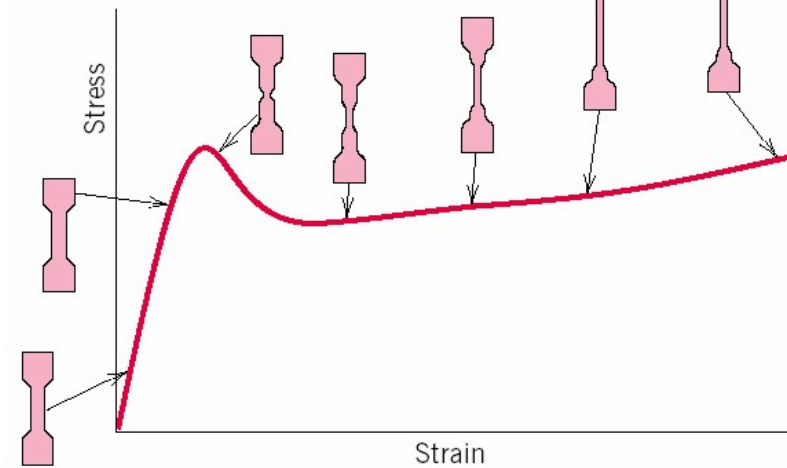
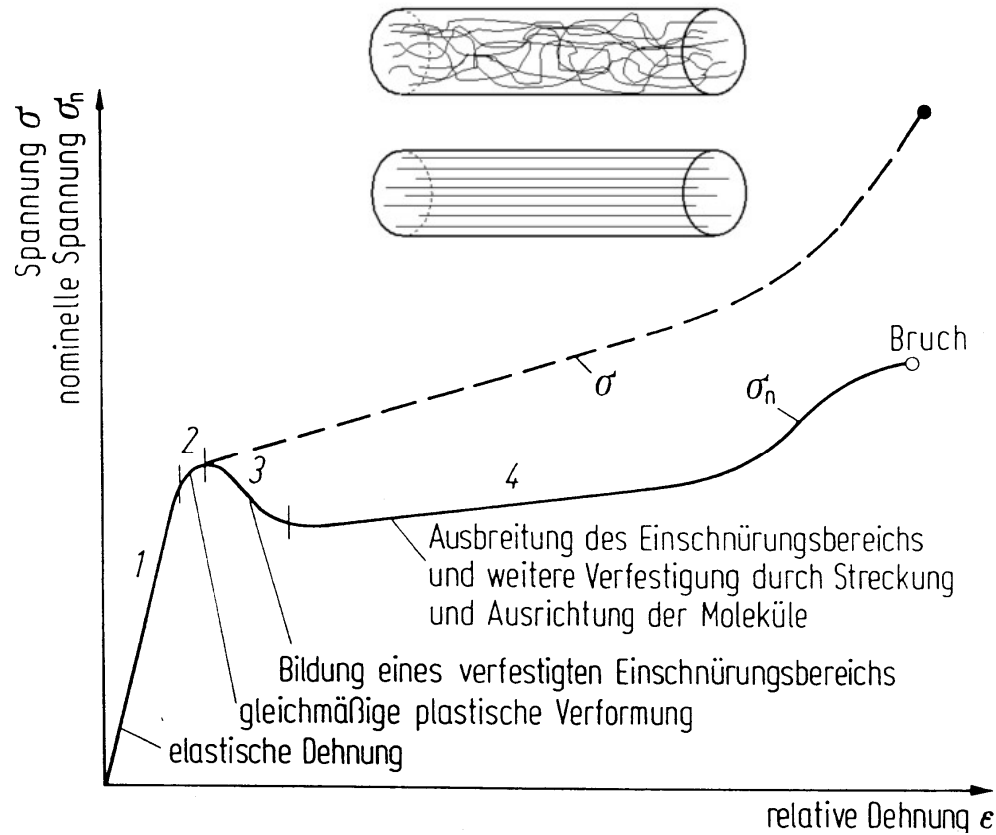
- Die Struktur ist gekennzeichnet durch die so genannte „Wattebauschstruktur“.
- Die langen Makromoleküle, deren Atome über starke kovalente Bindungen miteinander verbunden sind, liegen regellos verfilzt vor.
- Zwischen den Molekülen herrschen relativ schwache Bindungskräfte (van-der-Waals-Bindungen).

## Amorphe Plastomere



- Aus dieser Anordnung der Moleküle erklärt sich die Erweichung bei Erwärmung, da die Makromoleküle in der Lage sind, voneinander abzugleiten.
- Bei Abkühlung „friert“ die Struktur wieder ein. Bei tiefen Temperaturen wird der Werkstoff spröde, da keine Bewegung der Molekülketten mehr möglich ist.
- Eine wiederholte plastische Formgebung ist möglich, was die Thermoplaste unter dem Gesichtspunkt der Wiederverwertung attraktiv macht.

# Spannungs-Dehnungsverhalten



gestrichelt eingezeichnet: wahre Spannung

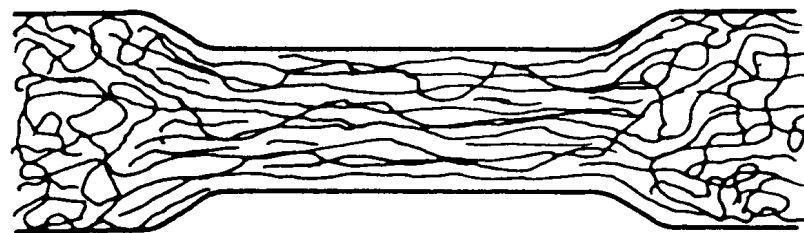


## Teilkristalline Plastomere

Liegen die Makromoleküle zwischen amorphen Bereichen **gebündelt** (linkes Bild) oder **gefaltet** (rechtes Bild) vor, dann spricht man von teilkristallinen Plastomeren.

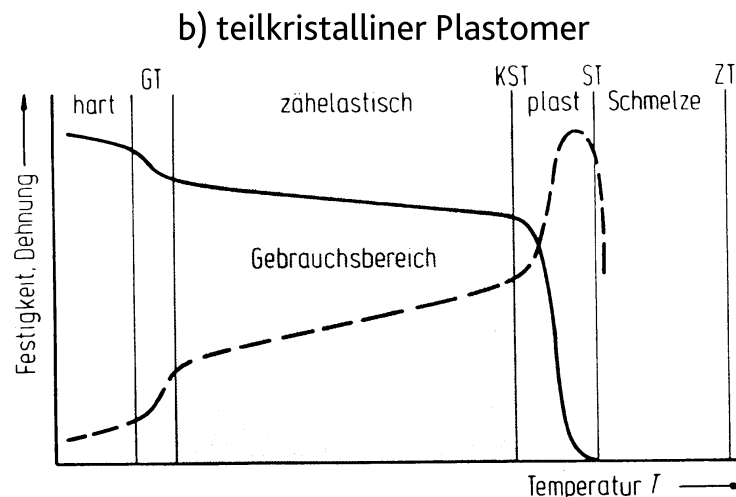
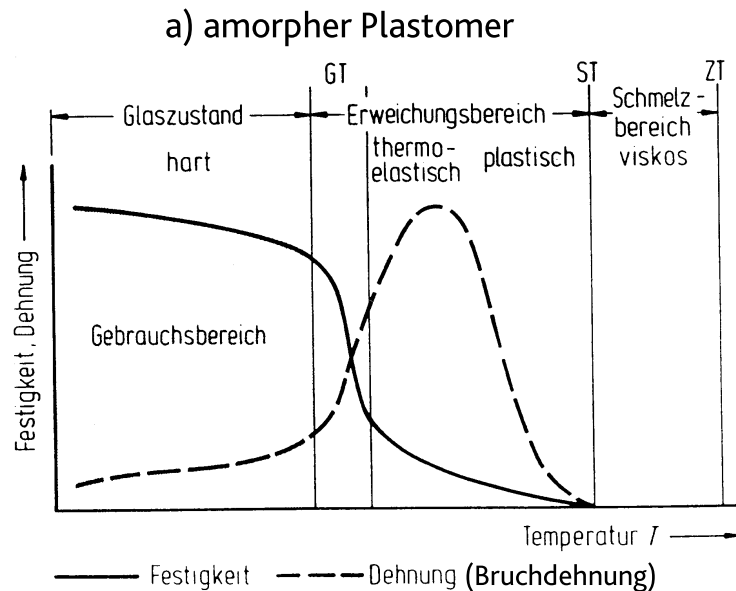


Eine Teilkristallinität kann auch durch Recken z.B. bei der Formgebung erreicht werden, was zu anisotropen Eigenschaften führt.



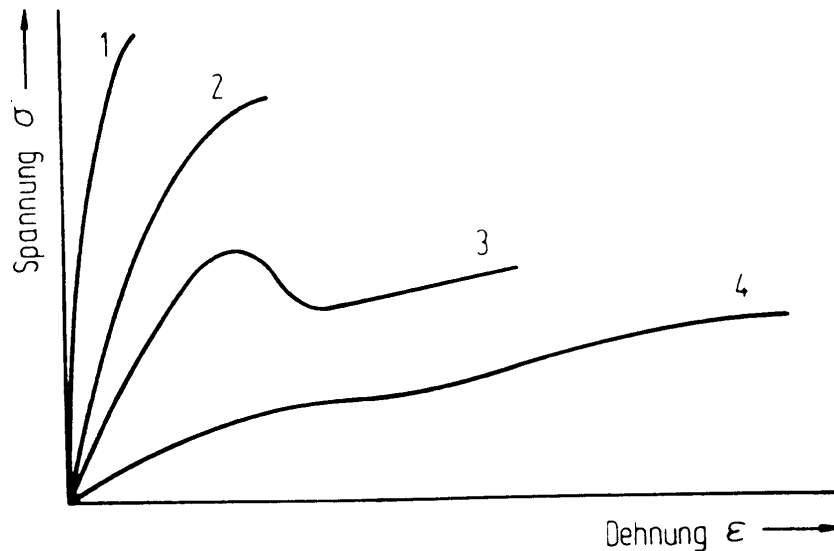
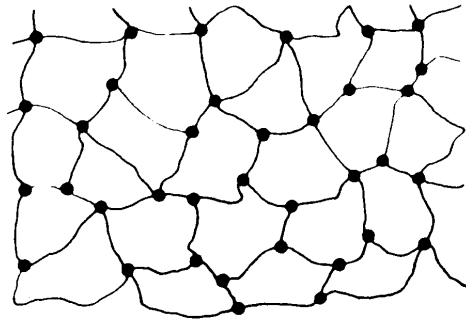
gereckt

# Mechanische Eigenschaften



- Die parallele Anordnung ist mit größeren zwischenmolekularen Kräften als bei der amorphen Struktur verbunden.
- Somit ergibt sich eine höhere Festigkeit und ein größerer Einsatztemperaturbereich.
- Während bei amorphen Plastomeren ab der Glastemperatur (GT) die Abgleitung der Makromoleküle beginnt und somit die Festigkeit niedrig ist, behält der teilkristalline Thermoplastomer bis zur Zerstörung der Kristallinität bei der Kristallisationstemperatur (KST) nennenswerte Festigkeit.

# Duromere



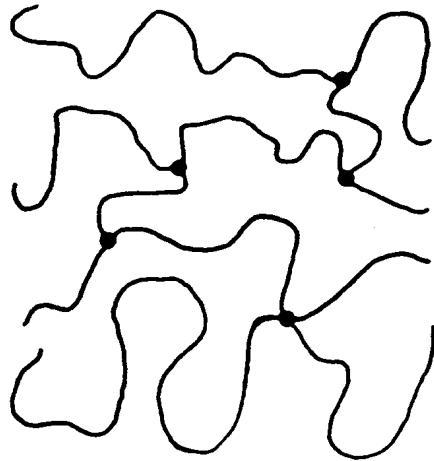
- Duromere haben räumlich eng vernetzte Makromoleküle. Durch diese zusätzlichen kovalenten Bindungen ergeben sich hohe Festigkeit, Steifigkeit und Härte.
- Die enge Verknüpfung macht die Duromere unlöslich und verhindert die plastische Verformung (kein Abgleiten der Makromoleküle):
  1. Duromer
  2. Glasharter Plastomer
  3. Plastomer verstreckbar
  4. Elastomer

## Duromere

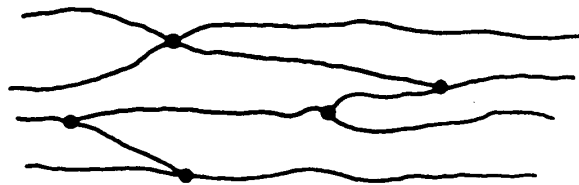


- Duromere sind nicht schweißbar und nicht schmelzbar.
- Bei Temperaturerhöhung zersetzen sie sich bei Erreichen der Zersetzungstemperatur (ZT).
- Eine direkte Wiederverwendung ist somit nicht möglich.
- Die Vernetzung der Duromere wird als Härtung bezeichnet und erfolgt z.B. nach Zugabe eines Härterers (z.B. Zweikomponentenkleber) und/oder bei erhöhtem Druck und erhöhter Temperatur.

# Elastomere



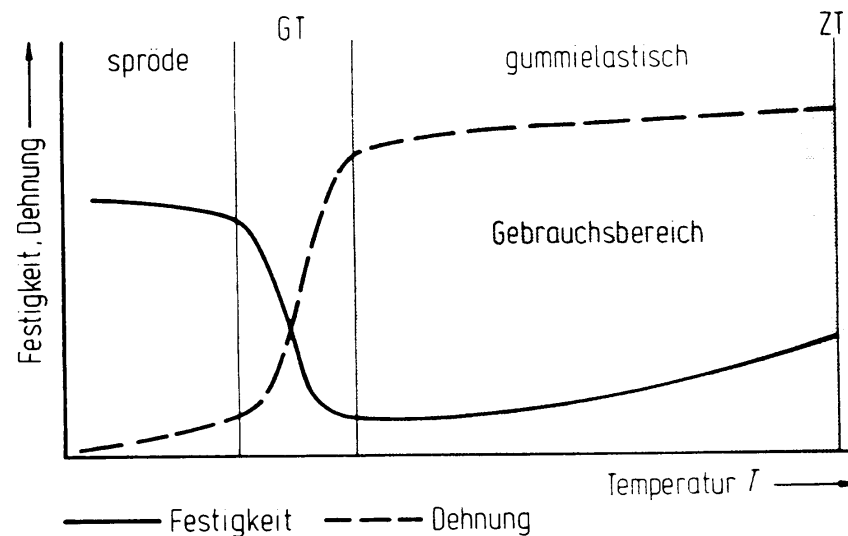
unbelastet



gedehnt

- Elastomere sind durch weitmaschig verknüpfte Makromoleküle gekennzeichnet.
- Die große elastische Dehnbarkeit dieser (gummielastischen) Stoffe ist darauf zurückzuführen, dass bei äußerer Kraft eine Streckung der Moleküle aus der verknäulten Lage erfolgt.
- Nach Wegnahme der Kraft, gehen die Moleküle wieder in die ursprüngliche Lage zurück.

# Elastomere



- Ähnlich wie bei den Duromeren verhindern die Vernetzungen plastisches Fließen und Aufschmelzen.
- Im spröden Glaszustand sind Elastomere nicht technisch nutzbar.
- Sie werden im Temperaturbereich zwischen der Glastemperatur (Einfriertemperatur, meist relativ niedrig) und der Zersetzungstemperatur benutzt.
- Hinweis: **Vulkanisieren** ist das Vernetzen bei Gummi durch Schwefelbindungen zwischen den Kettenmolekülen.