

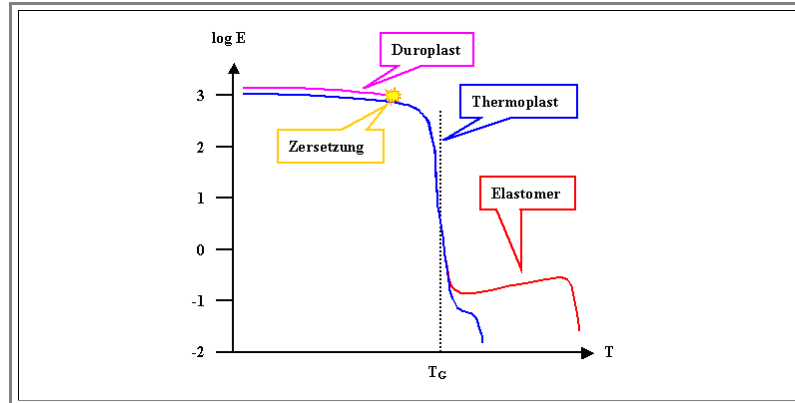
## 9.2 Elastische und viskoelastische Eigenschaften von Polymeren

### 9.2.1 Einige allgemeine Eigenschaften

#### Temperaturabhängigkeit des Elastizitätsmoduls

Alle Polymere (außer einige Duroplaste) zeigen eine sehr starke Temperaturabhängigkeit des Elastizitätsmoduls.

In einem Diagramm mit dem *Logarithmus* des E-Moduls über der Temperatur sieht das etwa so aus:



In der Nähe der Glas temperatur sinkt der E-Modul um mehrere *Größenordnungen*.

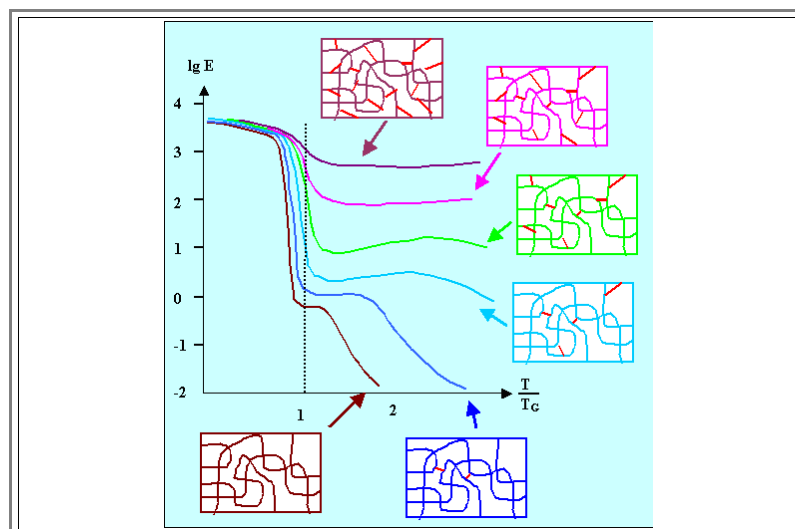
- Aus recht harten Thermoplasten und Elastomeren (die, wenn man mit dem Hammer draufhaut, wie Glas zerspringen), werden weiche Materialien (**Thermoplaste** oder hochelastische **Elastomere**).
- Der Übergang in den flüssigen Zustand erfolgt bei Thermoplasten kontinuierlich; die Angabe eines E-Moduls alleine verliert ihren Sinn.
- Duroplaste bleiben hart, aber nur weil sie sich vor Erreichen der Glas temperatur zersetzen.

Die  $E(T)$  Kurve eines Polymers hat es in sich; sie wird uns im nächsten Unterkapitel noch ausführlicher beschäftigen.

#### E - Modul und Vernetzungsgrad

Der Verlauf der  $E(T)$  Kurve ist für ein gegebenes Polymer stark abhängig vom Vernetzungsgrad.

- Gemessene Kurven für Polyisopren oder Naturkautschuk; das milchig-klebrige Zeug von den Gummibäumen, sind unten gezeigt.
- Naturkautschuk ist nicht sehr nützlich, es entspricht in etwa der braunen bis dunkelblauen Kurve. Es bedurfte der Erfindung der **Vulkanisation** des Herrn **Goodyear**, bevor aus Kautschuk nutzbarer Gummi für Reifen und zahllose andere Anwendungen wurde.

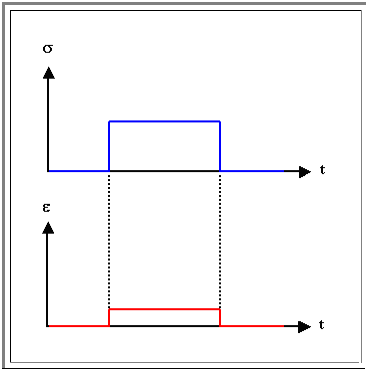


Durch zunehmende Vernetzung wird aus weichem, halbviskosem **Naturkautschuk** ein **Elastomer**, ein guter nutzbarer Gummi, dessen elastischer Bereich in Maßen einstellbar ist.

- Bei sehr starke Vernetzung wird Hartgummi produziert, schon fast ein **Duroplast**.
- Die Vernetzung erfolgt in diesem Fall durch Schwefelbrücken daher der Name "Vulkanisation".

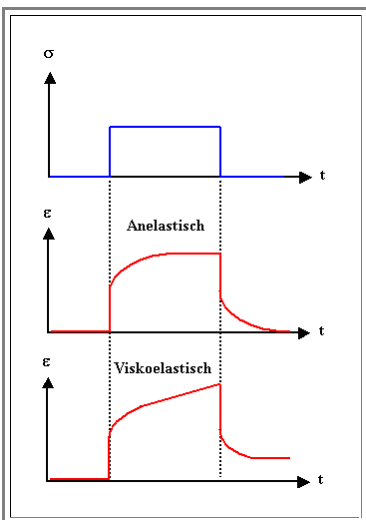
## Zeitabhängigkeit der Dehnung

Nimmt man einen beliebigen Kristall und setzt ihn *plötzlich* einer Spannung  $\sigma$  aus, die nicht so groß ist daß die Fließgrenze überschritten wird, wird die zugehörige *elastische* Dehnung  $\epsilon = (1/E)\sigma$  sich praktisch *instantan* einstellen.



- Wird die Spannung plötzlich entfernt, wird die Dehnung sehr schnell auf Null zurückgehen.
- Das gilt auch für Polymere - solange wir im Bereich des großen **E-Moduls** sind, d.h. deutlich unterhalb der Glastemperatur.
- Tragen wir Spannung und Dehnung als Funktion der Zeit auf, erhalten wir nebenstehendes Prinzipdiagramm.

In den "weichen" Bereichen ist das zeitliche Verhalten anders: Bei plötzlichem Einschalten der Spannung beobachten wir eine ausgeprägte zeitliche Entwicklung der Dehnung, ebenso beim plötzlichen Abschalten der Spannung.



- Man kann zwei qualitativ verschiedene Verhaltensmuster unterscheiden:
- **Anelastisches Verhalten.** Auf eine angelegte Spannung erfolgt eine unmittelbare instantane Dehnung, die aber nicht zur Enddehnung führt. Diese wird erst nach einiger Zeit erreicht, in der das Polymer sich mehr oder weniger schnell immer weiter dehnt.
- Beim Abschalten der Spannung erfolgt die Rückbildung der Dehnung "spiegelverkehrt". Erst nach einiger Zeit ist die Dehnung wieder auf Null.
- Die **viskoelastische Verformung** enthält die Anelastizität, aber auch noch eine plastische Komponente. Nach einem rein elastischen und anelastischen Verformungsteil wird die Probe unter konstanter Last jetzt kontinuierlich länger.
- Beim Abschalten der Spannung wird der Ausgangszustand nicht wieder erreicht, die Probe hat sich zu einem Teil plastisch verformt.