

Name:	Datum:
-------	--------

## Eigenschaften von Gummi

### Geräte

mehrere Artikel aus Gummi (z.B. Haushaltsgummi, Einmachgummi, Luftballon, dünner Gummischlauch...), Lineal, Fön

### Materialien

Eisbad in einer Schüssel

---

### Durchführung

1. Miss als erstes die Länge der einzelnen Gummiartikel im ungestreckten Zustand und notiere sie in der Tabelle.
2. Lege dann das erste zu prüfende Gummiband an die Stirn.
3. Dehne es dann mehrere Male rasch hintereinander und kräftig.
4. Lege das gespannte Gummi erneut an deine Stirn und achte auf die Temperatur.
5. Wiederhole den Versuch mit den anderen Gummiartikeln.

### Beobachtung:

---

---

6. Dehne ein Gummiband wiederum schnell und kräftig, tauche es dann im gedehnten Zustand sofort in Eiswasser.
7. Warte kurz. Nimm dann das Gummiband heraus und miss sofort die Länge. Trage den Wert in der Tabelle ein.
8. Wiederhole den Versuch mit den anderen Gummiartikeln.

### Beobachtung:

---

---

9. Erwärme ein Band mit einem Fön. Wie lang ist das Band jetzt? Trage die Länge in der Tabelle ein.
10. Wiederhole den Versuch mit den anderen Gummiartikeln.

**Beobachtung:**

---

---

**Trage Deine Messergebnisse in die Tabelle ein:**

Gummiband	Anfangslänge	Länge nach dem Eisbad	Länge nach dem Erwärmen

**Verhalten sich alle Gummibänder gleich?**

---

---

---

**Erklärung**

---

---

---

## Lehrerinformation

Die SchülerInnen sollen auf Grundlage der vorgestellten Versuche die charakteristischen Eigenschaften der Elastomere kennenlernen und aufgrund ihrer besonderen Struktur im Vergleich mit anderen Kunststoffen wie Thermoplasten oder Duroplasten verstehen können. Die Elastomere nehmen in diesem Projekt insofern eine Sonderrolle ein, als zu ihnen sowohl Vertreter der natürlichen wie auch der synthetischen Polymere gehören. Modelle aus einfachen Bausteinen helfen den SchülerInnen, sich die Molekülstruktur vorzustellen (Abb. 1).



Abb. 1: Modelle je eines Thermoplasten, Elastomers und Duroplasten aus Bausteinen

Die Versuche sind einfach durchzuführen, dies betrifft sowohl das erforderliche Material als auch den Ablauf. Selbst Grundschul Kinder können diese ohne Hilfe bewerkstelligen. Die Versuchsmaterialien (Gummibänder, Luftballons...) stammen aus der Lebenswelt der Kinder und sprechen daher die SchülerInnen besonders an.

Die SchülerInnen sollen erfahren, dass sich die Eigenschaften von Elastomeren grundsätzlich von denen der Thermoplaste oder Duroplaste unterscheiden, obwohl die Molekülstrukturen sich auf den ersten Blick gar nicht so stark unterscheiden. Elastomere haben weniger Quervernetzungen als Duroplaste, die eine relativ eng vernetzte Struktur aufweisen. Dies lässt sich mit Modellbaukästen gut darstellen. Daher kann man nachvollziehen, dass Elastomere nicht so formstabil sind wie Duroplaste. Sie lassen sich bei Raumtemperatur verformen und kehren anschließend in ihre vorherige Struktur zurück. Ein interessantes Beispiel für die Auswirkung von einer größeren Zahl an Quervernetzungen sind zwei Gummibälle (Abb. 2), die äußerlich gleich erscheinen. Wenn man sie in die Hände nimmt, kann man spüren, dass der eine schwerer ist als der andere (ca. 20 g im Vergleich zu 16 g). Der schwere ist auch härter und unelastisch, d.h. er springt nicht. Ursache ist die größere Dichte des Materials aufgrund einer stärkeren Quervernetzung, es handelt sich um einen Duroplasten. Der leichtere verhält sich flummiartig, dieser ist ein Elastomer. Diese Gummibälle eignen sich gut zur Einführung in das Themengebiet.



Abb. 2: Zwei Gummibälle im Vergleich: der linke unelastisch, der rechte elastisch

Thermoplaste haben keine Quervernetzungen. Sie bestehen aus einzelnen Polymerketten, die höchstens über Wechselwirkungen mit ihren Nachbarmolekülen verbunden sind oder dadurch dass sich Seitenketten oder -gruppen untereinander verhaken. Aber Elastizität entsteht dadurch nicht, da ein Zurückschnellen in den ursprünglichen Zustand nicht stattfindet.

Entscheidend für das Auftreten der Elastizität ist die geringe Zahl der Quervernetzungen, die einerseits noch eine gewisse Beweglichkeit der Ketten untereinander zulässt, andererseits aber gegen stärkere Verformung wirkt. Dies führt zum für elastische Materialien typischen Strecken unter Zugspannung und das anschließende Zusammenziehen nach Abfall der Zugbelastung. Auf Molekülebene wird das Strecken durch Entflechtung der verknäulten Polymerketten und ihre Anordnung in Zugrichtung und die anschließende Rückkehr in den ungeordneten knäuelartigen Zustand. Triebkraft dieser Bewegung ist die Zunahme Entropie, die in der Natur immer angestrebt wird. Daher nennt man dieses Phänomen Entropieelastizität.

Bei der Vulkanisation von Gummi lässt sich die Elastizität des Produkts über den Schwefelgehalt steuern. Die Polymerstränge im Gummi werden durch Schwefelbrücken miteinander verbunden. Je mehr Brücken das Gummi enthält, desto härter wird es.

Viele Werkstoffe dehnen sich beim Erwärmen aus. Wie stark die Ausdehnung ist, ist eine Stoffeigenschaft jeden Materials. Es gibt auch Materialien, die sich beim Erwärmen nicht in jede Richtung gleichmäßig ausdehnen, sondern eine Richtung bevorzugen.

Man nennt dieses Phänomen Anisotropie. Holz dehnt sich quer zur Faser etwa 10mal stärker aus als längs der Faser.

Ganz anders verhalten sich Elastomere. Erwärmt man Elastomere im gespannten Zustand, so stellt man fest, dass sich der Kunststoff zusammen zieht. Der Grund dafür liegt in der stärkeren Schwingung der Netzfäden bei hohen Temperaturen. Die Netzknoten rücken dabei näher aneinander. Allerdings funktioniert dies nur in einem begrenzten Temperaturbereich. Bei sehr starkem Erhitzen verhalten sich Elastomere ähnlich wie Duroplaste, d.h. die Molekülbindungen werden gespalten.

Elastische Gummibänder werden aus Naturkautschuk hergestellt, dessen unpolare Makromoleküle amorph angeordnet sind. Es handelt sich um ein Elastomer (s.o.). Durch die Einwirkung von Zug erfolgt eine molekulare Orientierung in eine bevorzugte Richtung. Die Parallellagerung der Moleküle vergrößert den Ordnungszustand und verkleinert die Entropie. Bei der Orientierung wird quasi „Kristallisations“wärme frei.

Die Moleküle streben jedoch nach möglichst hoher Entropie. Da die Molekülketten beim Loslassen die Möglichkeit haben, wieder in ihren früheren – entropiereicheren - Zustand zurück zu gehen, nehmen sie ihren Ausgangszustand wieder ein. Wenn die Belastung aufgehoben wird, schrumpft das Gummiband also auf seine Anfangslänge, die Moleküle verknäulen sich und sind wieder amorph. Dabei wird Schmelzwärme benötigt. Das Elastomer ist wieder kalt.

Das Elastomer speichert daher keinerlei Spannenergie in sich selbst, sondern strahlt die beim Dehnen (und anderen Verformungen) zugeführte Energie als Wärme aus und erhöht stattdessen seine innere Ordnung. Wie ein Muskel benötigt es deshalb für erneutes Zusammenziehen Zufuhr von Energie, welche das Elastomer der Umgebungswärme entnimmt.

Natürlich sind den SchülerInnen die Grundlagen der Thermodynamik völlig fremd, daher muss ihnen anhand einfacher Beispiele die Wirkung der Entropie aufgezeigt werden. Am einfachsten und natürlich am wenigsten wissenschaftlich - dafür aber sehr lebensnah - ist das Kinderzimmer-Modell. Jedes Kind weiß, dass es unendlich anstrengend ist und Arbeit macht, sein Zimmer so aufzuräumen, dass alles an seinem Platz liegt. Ein aufgeräumtes Zimmer verwandelt sich aber fast von allein in ein unaufgeräumtes. Entropie spürt man also nach "In der Natur streben alle Dinge nach einer Zunahme der der Unordnung." in einem Kinderzimmer jederzeit.

Wesentlich näher an der eigentlichen Frage liegt das Spaghetti-Modell. Aus einem Haufen gekochter Spaghetti kann man einzelne Spaghetti herausziehen, da sie nicht miteinander verbunden sind. Das ist in einem Gummi natürlich nicht einfach so möglich, denn im Gummi sind etliche Querverbindungen zwischen den Ketten eingebaut. Wenn man jetzt an dem Molekülkettenhaufen zieht, dann können die Moleküle ein bisschen aneinander hin- und herrutschen, aber letztlich können sie wegen der Querverbindungen nicht von ihrem Platz weg. Wenn man am Gummi zieht, werden die Ketten also gestreckt.

Und wenn man das Gummi wieder loslässt, bewegen sich die Ketten dann wieder zurück. Warum tun sie das? Man kann sich das anschaulich so vorstellen: Alle Ketten und ihre einzelnen Kettenabschnitte schwingen ja immer ein bisschen hin und her. Dabei schubsen und drängeln sie sich natürlich auch gegenseitig. Ein langgestrecktes Molekül wird bei all dieser Schuberei wieder verknäult. Das kann man auch leicht ausprobieren: Legt einen langen Faden auf den Tisch und schnipst immer wieder dagegen – der Faden wird sich mehr und mehr zusammenknäulen und nie von allein ein gestreckte Form einnehmen.

Mit der Entropie hat das etwas zu tun, weil die Entropie die Zahl der Möglichkeiten angibt, wie ein System - und unser Gummi stellt ein System dar - einen bestimmten Zustand einnehmen kann. Ein Kettenmolekül hat im Wesentlichen nur eine Möglichkeit, ganz gerade zu sein, aber sehr viele, irgendwie verknäult vorzuliegen. Beim zufälligen Gegendreten durch die anderen Moleküle knäult es sich deshalb auf, genau wie der Faden auf dem Tisch.

### **Erklärung zum Versuch „Umschmelzen und Tiefziehen von Polystyrol“**

Das Gummiband wird ebenso wie andere Artikel aus Gummi beim Dehnen warm. Beim Entspannen nimmt es wieder seine ursprüngliche Länge ein und zeigt wieder „Zimmertemperatur“ an. Da die Stirn besonders temperaturempfindlich ist, kann sie als Messfühler dienen. Die Kinder können so schnell und einfach die Temperaturunterschiede registrieren.

Der Versuch lässt sich beliebig oft wiederholen, wenn das Gummiband zwischendurch wieder Raumtemperatur annimmt.

Die beim Dehnen entstehende Wärme wird beim Einlegen in das Eisbad an die Umgebung abgegeben. Das gedehnte Band behält seine Länge, auch wenn man die Enden loslässt und entspannt. Nach dem Herausnehmen aus dem Eisbad ist es einige Millimeter länger als zuvor. Erst wenn es sich langsam wieder auf Zimmertemperatur erwärmt, zieht es sich zusammen. Beim Zusammenziehen verbraucht das Band nämlich Wärme, die es erst aus der Umgebung aufnehmen muss. Besonders eindrucksvoll lässt sich dies bei einem Luftballon beobachten. Er lässt sich sehr lang dehnen und behält im kalten Zustand diese Länge (Abb. 3). Aufgrund der geringen Wandstärke nimmt das Material aber zügig wieder Umgebungstemperatur an, und der Ballon schnurrt quasi wieder auf seine ursprüngliche Länge zusammen.

Durch die mit dem Fön zugeführte Wärme geraten die Polymerstränge in Bewegung und schwingen. Dadurch verringert sich der Abstand der Netzknoten untereinander. Das Gummiband zieht sich zusammen. Nach dem Abkühlen nimmt es wieder die ursprüngliche Länge ein.



Abb. 3: Gummiballon ungedehnt (weiß) und gedehnt aus dem Eisbad (gelb)