

# PHILIPS



# Kunststoff Experimentierkasten CE 1403



© Deutsche Philips GmbH, Abt. Technische Spielwaren, Hamburg — 1972

Alle Rechte vorbehalten. Nachdruck und fotomechanische Wiedergabe — auch auszugsweise — nicht gestattet.

Wir übernehmen keine Gewähr, daß die in diesem Buch enthaltenen Angaben frei von Schutzrechten sind.

Technische Änderungen vorbehalten.

**Anleitungsbuch**  
**zum Kunststoff-Experimentierkasten**  
**CE 1403**

Herausgegeben von der DEUTSCHEN PHILIPS GMBH

Abt. Technische Spielwaren, 2 Hamburg 1, Mönckebergstraße 7

## **Der Philips Kunststoff-Experimentierkasten CE 1403**

Dieser Kunststoff-Experimentierkasten bedeutet eine wesentliche Erweiterung der bewährten Philips Chemie-Experimentierkästen. Für denjenigen, der bereits die anorganische und die organische Chemie in eigenen Versuchen erlebt hat, bietet sich jetzt die Möglichkeit, ein sehr bedeutendes Teilgebiet der organischen Chemie kennenzulernen, nämlich den Bereich der Kunststoffe. Natürlich ist es ein großer Vorteil, wenn du bereits durch die Arbeit mit den Chemie-Experimentierkästen CE 1401 und CE 1402 einige Grundbegriffe der Chemie gelernt hast. Doch auch ohne diese Vorbereitung kannst du die Versuchsanleitungen und Erläuterungen zu dem Thema „Kunststoffe“ in diesem Anleitungsbuch verstehen, und die Experimente werden dir gelingen.

Wie in allen Philips Chemie-Experimentierkästen sind auch die Versuche zum Bereich „Kunststoffe“ gefahrlos auszuführen. Voraussetzung ist allerdings, daß du die „Hinweise für die Arbeit“ aufmerksam durchliest und dich daran hältst. Auch die Versuchsanleitungen solltest du genau befolgen.

## INHALTSVERZEICHNIS

	Seite
Der Philips Kunststoff-Experimentierkasten CE 1403	2
Vorwort	4
Inhalt des Kunststoff-Experimentierkastens CE 1403	6
Hinweise für die Arbeit	7
1. Einteilung der Kunststoffe	9
2. Was sind Kunststoffe?	10
3. Allgemeine Eigenschaften der Kunststoffe	13
4. Polyäthylen	25
5. Styrolpolymerisate	30
6. Polyvinylchlorid	43
7. Ungesättigte Polyester-Harze	46
8. Glasfaserverstärkte Kunststoffe	51
9. Polyamide	56
10. Harnstoff-Formaldehyd-Harze	59

## Vorwort

Lieber Jung-Chemiker,

gewiß hast Du in der Schule oder in einem Buch von Paracelsus, dem Begründer der eigentlichen Chemie, gehört oder gelesen. Ihm folgten viele große Wissenschaftler, die ihr Leben der Erforschung der Naturwissenschaften widmeten. Und für manchen von ihnen mag am Beginn einer weltbewegenden Entdeckung das simple Wort „warum“ gestanden haben. Ihnen genügte die Antwort „das ist nun einmal so“ eben nicht; sie wollten es genau wissen. So wie Du. Du möchtest selbst erforschen, wie man chemische Stoffe analysieren, verändern und neue Stoffe entstehen lassen kann.

Dieser Philips Kunststoffkasten bietet Dir eine fundierte Ausrüstung, um eines der bedeutendsten Gebiete der Naturwissenschaft Chemie kennenzulernen: das der Kunststoffe. Hast Du Dir schon einmal darüber Gedanken gemacht, was alles allein in Deiner nächsten Umgebung aus Kunststoff – also auf chemischer Basis – hergestellt ist? Die verschiedensten Haushaltsgegenstände und Textilien, Tapeten und Fußbodenbeläge, manche Schuhe, Furniere auf Türen und Möbelstücken, Verpackungsmaterialien – um nur eine verschwindend kleine Auswahl zu nennen. Viel beeindruckender wirst Du es gewiß finden, wie unerläßlich heute die Kunststoffe z. B. für den Schiffbau, für Autofabriken und auf dem Bau-sektor sind, daß sich durch Kunststoffe für diese Großindustrien völlig neue Aspekte ergeben haben und weiterentwickelt werden.

Durch diesen Kunststoffkasten und das Anleitungsbuch wirst Du interessante Entdeckungen machen über die erstaunlich zahlreichen Erscheinungsformen der Kunststoffe, über ihre speziellen Eigenschaften und was man alles damit machen kann. Wie ein richtiger Chemiker wirst Du mit Kunststoffen umgehen können, Du wirst „Schäumen“, „Gelieren“ und viele andere Spezialverfahren erlernen. Kurz: Du hast hier ein spannendes und nützliches Hobby gefunden, denn den Kunststoffen gehört tatsächlich

*die Zukunft. Ohne sie wäre unser modernes Leben gar nicht mehr denkbar, und nahezu täglich werden wichtige Ergebnisse in der Neuentwicklung von Kunststoffen erzielt. Darum halte ich es für ungemein wichtig, daß die Jugend von heute auf praktische und interessante Weise – wie hier durch den Philips Kunststoffkasten – mit diesem zeitgemäßen Thema vertraut gemacht wird.*

*Ich wünsche Dir viel Freude auf Deiner Entdeckungsreise in die faszinierende Welt der Kunststoffe. Laß Dich von diesem Anleitungsbuch führen – und Du wirst auf sicherem Weg zum erfolgreichen Kunststoff-Experten.*

A handwritten signature in black ink, reading "Heinz Haber". The signature is written in a cursive, slightly stylized font.

PROFESSOR DR. HEINZ HABER

# Inhalt des Kunststoff-Experimentierkastens (CE 1403)

Lfd. Nr.	Bestell-Nr.	Gegenstand	Inhalt
1	349.4005	Reagenzglas	2
2	4201	Vorratsröhrchen mit Polyäthylen, blau	1
3	4202	Vorratsröhrchen mit Polyäthylen, rot	1
4	4203	Vorratsröhrchen mit Polyäthylen, gelb	1
5	4204	Vorratsröhrchen mit Polyäthylen, grün	1
6	4205	Vorratsröhrchen mit Standard-Polystyrol	1
7	4206	Vorratsröhrchen mit Polyamid 6,6	1
8	4207	Vorratsröhrchen mit Leim	1
9	4208	Vorratsröhrchen mit PVC-Pulver	1
10	4209	Stab aus Polyäthylen	1
11	4210	Stab aus Polyamid 6	1
12	4211	Stab aus Standard-Polystyrol	1
13	4212	Stab aus hochschlagfestem Polystyrol	1
14	4213	Stab aus SAN	1
15	4214	Stab aus weichmacherhaltigem PVC	1
16	4216	Dose mit treibmittelhaltigem Polystyrol (perform)	1
17	4217	Schiffsausschneidebogen	1
18	4218	Teelicht	1
19	4219	Einbettungsform	1
20	4220	Glasseidenmatte	1
21	4221	Dose mit Gießharz	1
22	4222	Tube AP-Härter	1
23	4223	Schäum-Halbkugeln in Nirosta	2
24	4224	Schraube M3 in V2a	4
25	4225	Mutter M3 in V2a	4
26	4281	Anleitungsbuch CE 1403	1

## Hinweise für die Arbeit:

Bevor du mit diesem Experimentierkasten die ersten Experimente ausführst, sollst du die folgenden Hinweise aufmerksam durchlesen. Du kannst dir beim Ausführen der Versuche unnötige Fehler ersparen, und außerdem bereiten lediglich die erfolgreich durchgeführten Experimente Freude. Und nun beachte bitte:

1. Experimente aus dem Bereich der organischen Chemie verlaufen nicht immer in Sekundenschnelle, sondern dauern manchmal Stunden oder gar Tage. Du brauchst deshalb aber nicht so lange zu warten, bis der Versuch beendet ist, sondern kannst schon nebenher weiterarbeiten und das begonnene Experiment nach der angegebenen Zeit fortführen.
2. Den Arbeitsplatz zur Durchführung der Experimente richtest du dir am günstigsten in der Küche oder in einem Keller- bzw. Bodenraum ein. Sprich mit deinen Eltern darüber, wo bei euch der beste Platz dafür ist. Sehr praktisch wäre es, wenn du einen Wasseranschluß in der Nähe deines Arbeitsplatzes hättest. Einige Versuche müssen bei geöffnetem Fenster durchgeführt werden, um eine Geruchsbelästigung so gering wie möglich zu halten. Das erfährst du dann aber immer zum Beginn des Experiments.

3. Schütze deinen Arbeitsplatz durch eine Kunststoffunterlage. Das kann eine nicht mehr benötigte, mit Kunststoff beschichtete Platte oder ein altes Wachstischtuch sein. Auch eine große Plastikfolie ist sehr gut geeignet. Für einige Experimente benötigst du als Unterlage zusätzlich ein Sperrholzbrett, ein dünnes Blech oder einfach einen Ziegelstein.

Trage bei der Durchführung der Experimente für alle Fälle eine alte Schürze oder einen Kittel. Außerdem ist es ratsam, daß du stets einen alten Lappen bereitlegst, mit dem du Verunreinigungen schnell aufwischen kannst. Wasche dir stets die Hände, wenn du die Experimente beendet hast. In Labors ist das Tragen einer Schutzbrille notwendig. Wenn du eine besitzt, solltest du sie auch aufsetzen.

4. Vor der Ausführung eines Versuches solltest du die Anleitung immer ganz lesen, damit dir die einzelnen Arbeitsschritte klarwerden. Du kannst dir dann schon vorher die benötigten Geräte bereitstellen und verlierst während der Experimente keine Zeit.

Wenn du erst einmal eigene Schlußfolgerungen aus dem Versuchsablauf ziehen willst, so kannst du zunächst die *kursiv* gedruckten Erklärungen abdecken und dann nach der Durchführung des Experiments mit deinen Beobachtungen vergleichen.

5. Führe immer nur einen Versuch durch und räume dann erst wieder deinen Arbeitsplatz auf. Davon ausgenommen sind natürlich solche Experimente, die sich über mehrere Tage erstrecken.  
Halte deinen Kunststoff-Experimentierkasten immer gut verschlossen, wenn du nicht damit arbeitest. Hast du noch kleinere Geschwister, so stelle ihn immer so gut weg, daß sie ihn nicht erreichen können. Schließe ihn am besten ein.
6. Bewahre Kunststoffe und Chemikalien niemals in Eß- oder Trinkgefäßen auf.
7. Soll in einem Reagenzglas etwas erwärmt werden, dann halte das Glas schräg, und zwar so, daß die Öffnung von dir fort zeigt und auch auf keinen anderen Menschen gerichtet ist. Sollte nämlich etwas heraus-spritzen, so wird niemand gefährdet. Achte darauf, daß das Reagenz-glas vor dem Erhitzen außen immer trocken ist. Auch darf erhitztes Glas niemals in kaltes Wasser getaucht werden.
8. Eine Regel, die jeder Chemiker beherrscht, lautet:  
Halte niemals die Nase direkt über ein Reagenzglas oder Vorratsröhr-chen mit unbekanntem Inhalt, wenn du daran riechen willst. Auch dann nicht, wenn du etwas verbrennst. Fächele dir mit der Hand über dem Gefäß etwas Luft zu. Manche chemische Verbindungen haben nämlich einen sehr stechenden Geruch, andere ätzen sogar die Schleimhäute der Atemwege.

Und nun viel Spaß bei deinen Versuchen und gutes Gelingen.

# 1. Einteilung der Kunststoffe

Kein anderer Werkstoff hat das Leben in unserer Zeit so nachhaltig beeinflußt wie die Kunststoffe. Man könnte deshalb schon fast von einem „Zeitalter der Kunststoffe“ sprechen. Was wir auch ansehen oder anfassen, ob im Haushalt, auf der Straße, in Verkehrsmitteln oder in Bürohäusern: Mehr oder weniger deutlich treten die Kunststoffe in Erscheinung, und fast überall haben sie ihre Bedeutung erlangt. Was heute üblicherweise „Kunststoff“ genannt wird, muß in drei große Gruppen eingeteilt werden:

- 1.1. **Kunststoffe:** Der Chemiker bezeichnet als Kunststoffe jene künstlich hergestellten chemischen Verbindungen, die häufig die „klassischen“ Werkstoffe Metall, Holz, Stein, Glas und Porzellan ersetzen.
- 1.2. **Kunstfasern:** Sie entsprechen in ihrem chemischen Aufbau den Kunststoffen, aus denen sie zu Fasern versponnen werden. Es sind allerdings nicht alle Kunststoffe zum Verspinnen geeignet.
- 1.3. **„Ungeformte“ Kunststoffe:** Diese chemischen Verbindungen machen auch einen beträchtlichen Anteil der Kunststoffe aus, doch treten sie kaum als solche hervor. Zu dieser Gruppe gehören Klebstoffe, Lacke, Leime und viele Hilfsstoffe zur Veredelung von Papier, Textilien usw.

Dieser Experimentierkasten beschäftigt sich im wesentlichen mit den Kunststoffen im engeren Sinne, also denen, die in der ersten Gruppe genannt wurden.

Eigentlich ist der Begriff „Kunststoffe“ irreführend, wenn er als Gegensatz zu den natürlichen Stoffen angesehen wird. Denn typische „Naturstoffe“ sind eigentlich gar nicht so „natürlich“. Eisen, Messing, Aluminium, Porzellan und Leder, um nur einige zu nennen, werden stets als „Naturstoffe“ bezeichnet. Sie kommen aber in der Natur in dieser Form nicht vor, sondern sie müssen erst durch künstliche Verfahren aus den Grundstoffen hergestellt werden.

Wie du später noch erfahren wirst, werden auch die Kunststoffe aus Naturprodukten durch mehr oder weniger komplizierte Verfahren hergestellt.

Auf Grund einer speziellen Eigenschaft der Kunststoffe, sich plastisch formen zu lassen, geht man allmählich dazu über, den Begriff der „Plaste“ anstelle der Bezeichnung Kunststoffe zu verwenden. (Das Wort „Plastik“ ist dir bestimmt bekannt.) Doch es wird sicherlich noch lange dauern, bis sich „Plaste“ durchgesetzt hat.

**Kunststoffe im Sinne der Chemie nennt man Plaste.**

## 2. Was sind Kunststoffe?

Um etwas über die Chemie der Kunststoffe zu erfahren, sollst du zunächst mit dir bekannten Verbindungen experimentieren.

- 2.1. Halte mit einer Pinzette nacheinander ein Stück Würfelzucker und etwas Watte für einen Augenblick in die Flamme des Teelichts. Achte auf die Veränderung der beiden Stoffe!

Streue dann etwas Zigarren- oder Zigarettenasche auf den Zucker und verbrenne ihn. Die Watte brennt auch ohne Asche.

Halte über die verbrennenden Stoffe ein mit kaltem Wasser gefülltes Reagenzglas. Es muß außen trocken sein. Achte auf das Glas!

*Der Zucker und die Watte verkohlen zunächst in der Flamme, später verbrennen sie. An der Außenwand des Reagenzglases bildet sich ein feiner Wasserniederschlag. Der schwarze Verbrennungsrückstand ist Kohlenstoff. Damit hast du nachgewiesen, daß beide Stoffe das chemische Element (Grundstoff) Kohlenstoff enthalten. Der Wasserniederschlag soll als Beweis gelten, daß in beiden Verbindungen Wasserstoff und Sauerstoff enthalten sind. Denn Wasser mit der Formel  $H_2O$  besteht ja aus diesen beiden Elementen. Aus der Analyse dieser beiden Stoffe erkennen wir also, daß Watte und Zucker aus den gleichen Stoffen aufgebaut sind. Welche chemischen Unterschiede aber bestehen, erfährst du im nächsten Versuch.*

- 2.2. Löse in einem Reagenzglas mit Wasser ein Stück Zucker. Versuche dasselbe mit etwas Watte im anderen Reagenzglas. Vergleiche die beiden chemischen Verbindungen miteinander.

*Der Zucker löst sich nach kurzer Zeit völlig im Wasser. Man erkennt sein Vorhandensein nur noch am süßlichen Geschmack der Lösung. Die Watte dagegen ist völlig unlöslich, auch wenn du Wochen warten würdest.*

*Rohrzucker, den du verwendest, hat die Formel  $C_{12}H_{22}O_{11}$ . Er kann aus zwei Molekülen Traubenzucker – auch Glukose mit der Formel  $C_6H_{12}O_6$  genannt – gebildet werden. Dabei wird Wasser abgepalten.*



*Da der entstandene Zucker aus zwei Molekülen Glukose gebildet wurde, kann man ihn auch als „zweifachen“ Zucker bezeichnen. Das griechische Wort für zweifach heißt „dimer“.*

*Wenn sich nun Glukose zu Doppelmolekülen zusammenschließen läßt, so kannst du dir vorstellen, daß auch noch mehrere davon zusammentreten zu einem viel größeren Molekül. Das ist bei der Watte geschehen. Dort haben sich ca. 1000 Glukosemoleküle zu einem*

riesigen Zellulosemolekül zusammengeschlossen; dabei wurde jeweils ein Molekül Wasser abgespalten.

Den Zusammenschluß von Molekülen unter Wasserabspaltung bezeichnet man als **K o n d e n s a t i o n**.

Da Watte chemisch nichts anderes ist als Zellulose, wissen wir, daß diese aus riesigen Molekülen besteht. Man spricht in der Chemie allerdings nicht von Riesenmolekülen, sondern man nennt sie **M a k r o m o l e k ü l e**. Die Formel für ein Makromolekül Zellulose lautet:



Aus dieser Formel kannst du ablesen, daß der Grundbaustein Glukose 1000mal aneinandergereiht ist.

Wenn wir vorher bei dem Zucker von einer zweifachen oder dimeren Verbindung gesprochen haben, so müssen wir bei der Zellulose von einer „vielfachen“ sprechen. Die griechische Übersetzung dafür lautet „polymer“.

Verbindungen, die durch den Zusammenschluß sehr vieler Grundeinheiten entstanden sind, bezeichnet man als **P o l y m e r e**.

Die Silbe „poly“ in vielen Kunststoffnamen deutet auf die polymeren Verbindungen hin.

- 2.3. Löse etwas Papierkleber (Tapetenkleister) in Wasser. Unter Umständen mußt du eine Zeitlang schütteln. Laß dann den Strahl einer Taschenlampe, den du vorher mit einer Lochblende verkleinerst, in einem verdunkelten Raum auf das Reagenzglas fallen. Führe diesen Versuch auch mit Zuckerlösung durch.

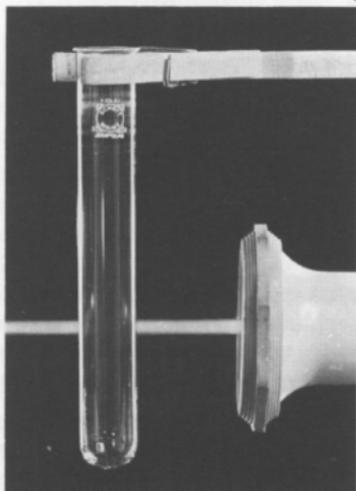


Abb. 1.

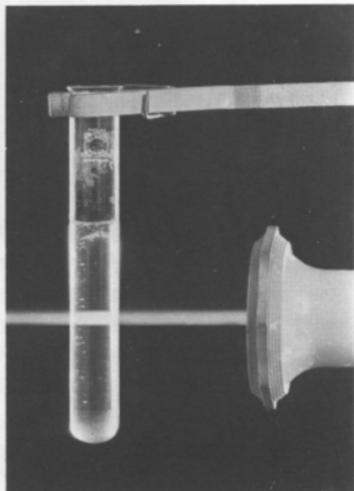


Abb. 2.

Der Kleister löst sich nach einiger Zeit vollständig im Wasser auf. Der feine Lichtstrahl der Taschenlampe ist im Glas als dünner, heller Streifen zu erkennen. Die Zuckerlösung zeigt diesen Effekt nicht.

Der Kleister ist chemisch eine verwandte Verbindung der Zellulose. Sie heißt Methylzellulose. Die Makromoleküle der Methylzellulose lassen das Licht in der Lösung sichtbar werden. Diese Erscheinung bezeichnet man als Tyndall-Effekt. Die Zuckermoleküle sind dazu zu klein.

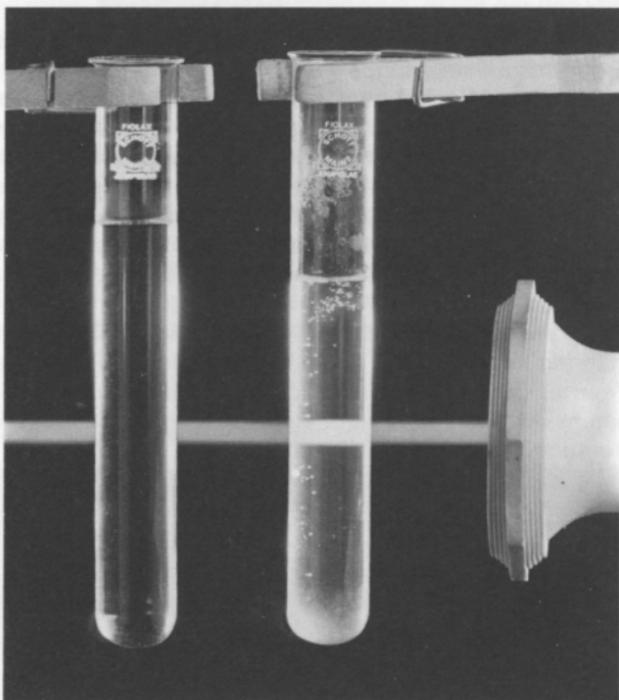


Abb. 3.

Je größer ein Makromolekül ist, desto stärker ist der Tyndall-Effekt. Mit dem Wissen, das du dir durch diese Versuche mit Naturstoffen erworben hast, kann nun die Erklärung des Begriffs „Kunststoffe“ noch erweitert werden. Für sie treffen nämlich dieselben Moleküleigenschaften zu.

Kunststoffe sind makromolekulare Verbindungen.

### 3. Allgemeine Eigenschaften der Kunststoffe

- 3.1. Fülle in einen Topf oder eine kleine Schüssel etwa 1 Liter Wasser. Lege dann alle 6 Kunststoffstäbe in das Wasser, die diesem Experimentierkasten beigegeben sind. Was beobachtest du?

*5 der Stäbe gehen in Leitungswasser unter, und nur einer schwimmt auf der Oberfläche. Dieser eine Stab ist sehr leicht.*

*Wenn du schon einmal etwas über das spezifische Gewicht (Dichte) oder „Artgewicht“ gehört hast, so weißt du, daß das spezifische Gewicht dieses Stabes kleiner ist als das des Wassers. (Falls du es noch nicht kennst: Mit der Dichte gibt man an, wie schwer ein  $\text{cm}^3$  eines Stoffes ist.) Wasser von  $4^\circ \text{C}$  hat die Dichte 1,0, das bedeutet, daß ein  $\text{cm}^3$  1 g wiegt. Da dieser Stab schwimmt, muß seine Dichte geringer sein als 1. Sie beträgt 0,918, ein  $\text{cm}^3$  wiegt also 0,918 g.*

*Der Stab besteht aus dem Kunststoff Polyäthylene. Er ist einer der leichtesten Kunststoffe.*

Kennzeichne den Stab, z. B. durch einen Aufkleber, mit dem Namen des Kunststoffs. Nimm ihn dann aus dem Wasser, laß aber die anderen darin. Ihr spezifisches Gewicht sollst du im nächsten Versuch bestimmen.

- 3.2. Gib in das Wasser, in dem die 5 Stäbe liegen, mit einem Eßlöffel nach und nach Kochsalz (Haushaltssalz). Rühre nach jedem Löffel voll gut um, damit kein Salz am Boden liegenbleibt.

Die zunehmende Trübung des Wassers rührt vom Kochsalz her. Unterbrich nach der Zugabe von ca. 4 Eßlöffeln voll Salz den Versuch. Was fällt dir auf?

*Während jetzt ein Stab auf der Oberfläche des Wassers schwimmt, bleiben die übrigen noch am Boden liegen. Der weiße Stab, der jetzt schwimmt, besteht aus Polystyrol. Nimm diesen Kunststoff aus dem Wasser und kennzeichne ihn.*

*Wenn Salz in Leitungswasser gelöst wird, so erhöht sich das spezifische Gewicht des Wassers oder, genauer gesagt, das der Lösung. Der griechische Mathematiker und Physiker Archimedes (287 bis 212 v. Chr.) hat schon herausgefunden, daß ein Körper im Wasser schwebt, wenn er ebenso schwer ist wie das Gewicht des Wassers, das er verdrängt. Er schwimmt, wenn sein Gewicht kleiner ist als das Gewicht des Wassers, das er verdrängt.*

*Da jetzt der Stab in der schweren Kochsalzlösung schwimmt, muß sein Gewicht geringer sein als das des verdrängten Wassers. Und so ist es auch: Das Polystyrol hat ein spezifisches Gewicht von 1,04, das Salzwasser etwa von 1,045.*

- 3.3. Verfahre nun mit den restlichen Stäben wie im vorigen Versuch. So wie ein Stab nach weiterer Kochsalzzugabe schwimmt, unterbrich wieder den Versuch.

*Nach ca. 5 Eßlöffeln voll Kochsalz zu dem Leitungswasser schwimmt ein durchsichtiger, glasklarer Kunststoffstab mit dem spezifischen Gewicht 1,05 auf der Salzlösung. Er besteht ebenfalls aus Polystyrol wie der vorige. Zum Unterschied solltest du diesen Stab mit der Aufschrift „Polystyrol II“ kennzeichnen, beim vorigen solltest du entsprechend eine „I“ hinter den Namen des Kunststoffs schreiben. Warum diese beiden Stäbe, die beide aus Polystyrol bestehen, so verschieden aussehen, und welche weiteren Eigenschaften sie besitzen, erfährst du in den späteren Versuchen.*

- 3.4. Gib einen weiteren Eßlöffel voll Kochsalz zu der Lösung. Rühre gut um.

*Der andere durchsichtige Stab schwimmt nach etwa 6 Löffeln voll Salz oben. Dieser Stab besteht aus dem Kunststoff mit dem schwierigen Namen Styrol-Acrylnitril-Copolimerisat. Eine international gebräuchliche Abkürzung für diese chemische Verbindung lautet SAN, abgeleitet von den Anfangsbuchstaben der Wörter Styrol-Acrylnitril. Dieser Kunststoff hat das spezifische Gewicht 1,08. Kennzeichne auch diesen Stab.*

*Die beiden letzten Stäbe, die auch nach weiterer Zugabe von Kochsalz nicht schwimmen, haben ein verhältnismäßig hohes spezifisches Gewicht. Der eine davon, gelblich mit glänzender Oberfläche, besteht aus Polyamid 6. Dieser Kunststoff besitzt ein spezifisches Gewicht von etwa 1,13–1,15.*

*Der letzte Stab – er ist sehr biegsam – ist aus Polyvinylchlorid gefertigt, das bekannter ist unter der Abkürzung PVC. Er hat das spezifische Gewicht 1,38.*

Kunststoff	Dichte
	$\frac{\text{g}}{\text{cm}^3}$
Polyäthylen	0,918
Polystyrol I	1,04
Polystyrol II	1,05
Styrol-Acrylnitril-Copolimerisat	1,08
Polyamid 6	1,13–1,15
Polyvinylchlorid	1,38
Polypropylen	0,896
Ungesättigte Polyester	1,219

Durch diese Versuchsreihe hast du die Dichte einiger Kunststoffe erfahren. In der Tabelle findest du sie noch einmal mit einigen anderen Kunststoffen zusammengestellt.

Wenn man neben diese Werte die Dichten einiger Metalle stellt, so wird gleich deutlich, daß die Kunststoffe den Metallen gegenüber einen großen Vorteil besitzen: Sie sind nämlich sehr viel leichter.

Metall	Dichte
	$\frac{\text{g}}{\text{cm}^3}$
Aluminium	2,7
Zink	7,1
Eisen	7,8
Kupfer	8,9
Silber	10,5
Blei	11,3

Du kannst dir nun sicherlich vorstellen, warum ein Eimer aus Polyäthylen im Haushalt lieber verwendet wird als einer z. B. aus Zink: Der Zinkeimer ist leer etwa 8 mal schwerer als der Kunststoffeimer. Daneben spielen natürlich noch andere Vorzüge der Kunststoffe eine entscheidende Rolle. Eine solche Eigenschaft ist z. B. die Korrosionsbeständigkeit. Doch über weitere Eigenschaften später mehr.

- 3.5. Nach einer sehr wichtigen Eigenschaft der Kunststoffe sollst du nun weitere kennenlernen.

Besorge dir einen Nagel. Ritze dann mit der Spitze nacheinander über alle Stäbe. Versuche möglichst mit dem gleichen Druck über alle Kunststoffe zu kratzen. Was stellst du fest? Probiere dann umgekehrt mit der Spitze eines Stabes (oder mehrerer) ein Stück Blech einer Dose zu ritzen.

*Alle Kunststoffe erhalten mehr oder weniger tiefe Kerben. Am leichtesten scheint sich Polyäthylen ritzen zu lassen, am schwersten das Polyamid 6.*

*Das Metall läßt sich von den Kunststoffen gar nicht ritzen. Es ist also im Vergleich zu den Kunststoffen sehr viel kratzfester. Anders ausgedrückt kann man sagen, daß die Oberflächengüte der Metalle größer ist. Trotzdem sind Kunststoffe im täglichen Gebrauch den Metallen in vielen Fällen überlegen: Sie lassen sich zwar verhältnismäßig leicht zerkratzen, doch die Kratzer verwischen sich allmählich wieder, so daß bald keine Spur davon zu erkennen ist.*

3.6. Versuche nun etwas über die Härte der Kunststoffstäbe zu erfahren. Dazu kannst du dich eines einfachen Versuches bedienen. Ritze mit einer Kante des Polystyrol I-Stabes den Polyäthylen-Stab und untersuche, ob ein Kratzer zurückbleibt. Verfahre dann in umgekehrter Weise.

*Das Polystyrol I hinterläßt auf dem Polyäthylen einen Kratzer, umgekehrt ist aber nichts zu erkennen. Daraus kannst du schließen, daß Polyäthylen weicher ist als Polystyrol.*

*Versuche anschließend durch gegenseitiges Kratzen aller Stäbe herauszufinden, welcher Kunststoff der weichste und welcher der härteste ist. Trage das Ergebnis in die Tabelle ein.*

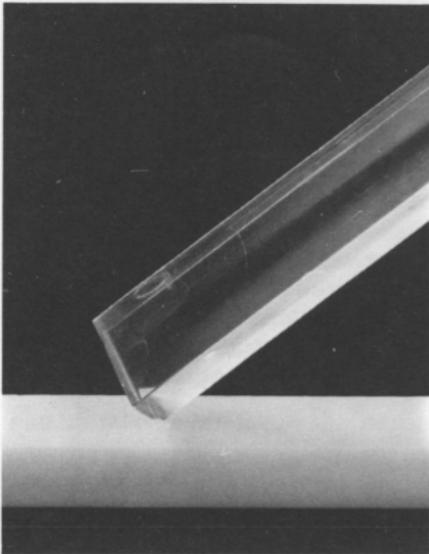


Abb. 4.

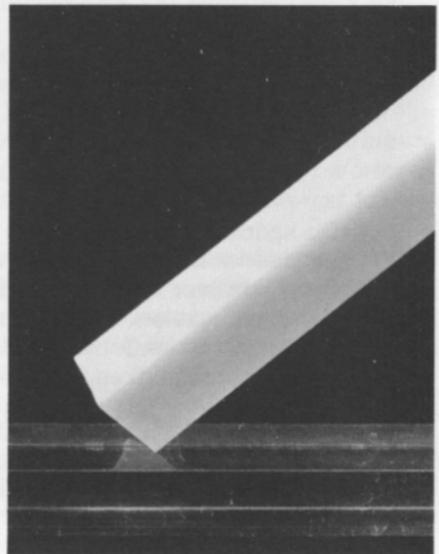


Abb. 5.

*sehr weich*



*sehr hart*

Die technischen Verfahren zur Härtebestimmung sind wesentlich komplizierter. Doch mit dieser einfachen Untersuchung kannst du schon einige deutliche Unterschiede zwischen den einzelnen Kunststofftypen herausfinden.

- 3.7. Halte den Polyäthylenstab so an der Tischkante fest, daß etwa die Hälfte des Stabes über die Kante hinausragt. Drücke nun mit der anderen Hand mehrere Male fest auf das freie Ende. Beobachte jedes Mal, wie sich der Stab verhält.

Der Stab aus Polyäthylen läßt sich ziemlich leicht verbiegen. Er nimmt aber zunächst wieder die ursprüngliche Form an, d. h., er streckt sich wieder. Erst nach etlichen Versuchen verformt („verbiegt“) er sich etwas. Die Eigenschaft eines Stoffes, nach dem Verformen durch eigene Kraft wieder in den alten Zustand zurückzukehren, bezeichnet man als *Elastizität*. Das Polyäthylen ist also bis zu einer bestimmten Kratteinwirkung elastisch. Ideal wäre es aber, wenn der Kunststoff immer wieder, wenn die Kraft nicht mehr wirkt, seine alte Form einnimmt.

Das Gegenteil von elastisch ist übrigens *plastisch*. Knetgummi z. B. ist sehr plastisch, weil es bei dem Einwirken einer Kraft seine Form bleibend verändert.

Verfahre mit den anderen Stäben ebenso wie mit dem Polyäthylen. Vergleiche die Elastizität der Stäbe untereinander.

Alle anderen Stäbe lassen sich nur sehr wenig „verbiegen“. Im täglichen Sprachgebrauch würde man sagen, sie sind „härter“ als Polyäthylen. Doch richtig muß du nun sagen, daß sie elastischer sind. Denn nach dem Fortfall der einwirkenden Kraft nehmen sie vollständig die alte Form wieder ein.

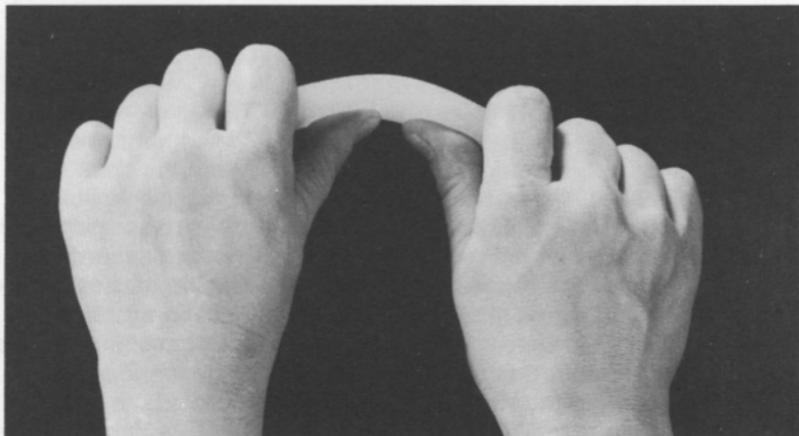


Abb. 6.

- 3.8. Ein genaueres Verfahren zur Untersuchung der Elastizität dieser Kunststoffe kannst du selbst ausprobieren. Lege nacheinander alle Stäbe zwischen zwei Klötze. Du mußt aber darauf achten, daß der Abstand zwischen beiden Unterlagen immer gleich groß ist. Miß nun mit einem Lineal möglichst genau, wie hoch die Stabunterkante vom Tisch entfernt ist. Belaste dann die Stäbe mit einem Gewicht (Stein o. ä.). Stelle durch Ablesen am Lineal fest, ob und wie weit sich ein Stab durchbiegen läßt. Nimm dann nach einer bestimmten Zeit (ca. 3 Min.) das Gewicht ab. Miß nun genau, wie weit sich der Stab nach einer festgelegten Zeit (wieder 3 Min.) zurückbiegt. So erhältst du einen recht genauen Vergleich der verwendeten Kunststoffe untereinander.

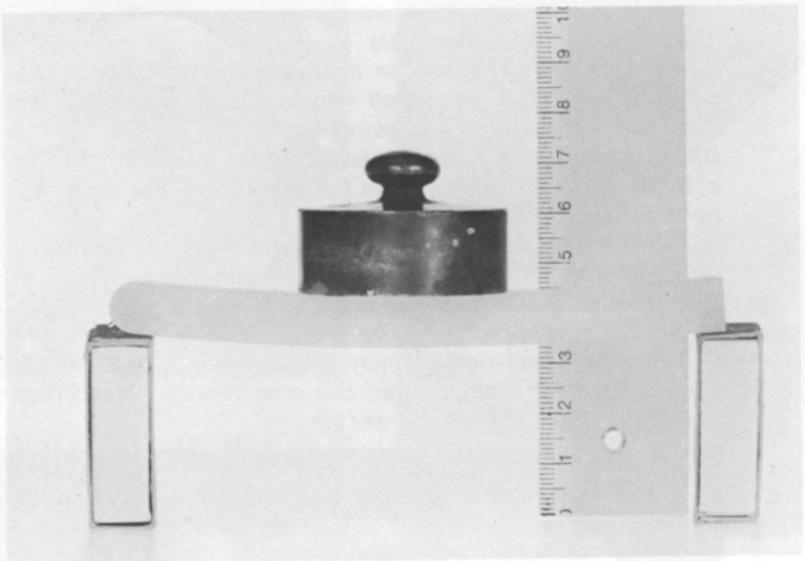


Abb. 7.

Die Elastizität eines Kunststoffes sagt natürlich nichts über die Qualität aus. Wenn z. B. für die Herstellung von Waschschüsseln und Eimern Polyäthylen verwendet wird, so kommt es nur darauf an, für **diesen** Zweck ein geeignetes Material zu finden, das sonst allen Anforderungen genügt. Stellt man aber ein Zahnrad für einen Motor aus Polyamid her, so werden an diesen Gegenstand ganz andere Anforderungen gestellt. Er muß also für diesen Zweck aus einem dafür geeigneten Material produziert werden.

In der folgenden Tabelle sind einige Stoffe (zum Vergleich auch Metalle) nach der zunehmenden Elastizität geordnet.

Blei	geringe Elastizität
Aluminium	
Polyäthylen	
Kupfer	
Polystyrol I	
Polyamid	
Stahl	
Polyvinylchlorid	
Polystyrol II	
Unverstärktes Polyesterharz	
Verstärktes Polyesterharz	

Du ersiehst aus der Tabelle, daß es inzwischen Kunststoffe gibt, die elastischer sind als Stahl.

- 3.9. Lege den Polyäthylenstab etwa 3 Minuten in kochendes Wasser. Nimm ihn dann mit einer Zange o. ä. aus dem Wasser und versuche, ihn hin- und herzubiegen. Fasse ihn dabei mit einem Lappen an. Vergleiche mit dem kalten Polyäthylen.

*Wenn sich Polyäthylen schon in kaltem Zustand ziemlich leicht verformen läßt, so ist dies in der Wärme in noch größerem Umfang möglich.*

*Im Gegensatz zu den Metallen verändern sich die Eigenschaften der Kunststoffe schon bei relativ niedrigen Temperaturen. Kupfer, Aluminium und Stahl z. B. verhalten sich bei 100° C fast genauso wie bei 20° C. Diese Eigenschaft der Kunststoffe liegt in der Größe der Moleküle begründet: Du hast bereits erfahren, daß Kunststoffe aus Makromolekülen zusammengesetzt sind. Diese Riesenmoleküle liegen bei normaler Temperatur ziemlich fest aneinander. Bei zunehmender Temperatur aber wird der Zusammenhalt zwischen ihnen geringer. Dadurch lassen sie sich leicht „verschieben“, wenn in der Wärme eine Kraft darauf ausgeübt wird. Das macht sich dann als Verformung des Stabes bemerkbar.*

- 3.10. Lege auch die übrigen Stäbe etwa 3 Minuten in kochendes Wasser und biege sie ebenso wie das Polyäthylen. Vergleiche.

*Das Polyamid 6 läßt sich nach dem Polyäthylen am besten verformen, dann, etwas schlechter, das Polystyrol II. Bei den anderen Stäben ist auf diese Art keine Änderung festzustellen. Das bedeutet allerdings nicht, daß sich bei ihnen die Eigenschaften in der Wärme nicht ändern. Sie müßten nur auf etwa 120° C–150° C erwärmt werden, bevor sie sich leichter verformen lassen.*

*Dir wird jetzt sicher klar, daß sich aus diesem Verhalten der Kunststoffe in der Wärme ein engerer Verwendungsbereich ergibt. Sie können also nur dort eingesetzt werden, wo Temperaturen von 80° C*

bis 100° C nicht überschritten werden. Doch auch das ist häufig schon zu hoch. Dir leuchtet sicher ein, daß man Abflußrohre aus Polyäthylen im Haushalt nicht verwenden kann. Sie könnten sich, wenn heißes Wasser ausgegossen wird, leicht verformen. Polyvinchlorid eignet sich für diese Zwecke erheblich besser.

Neben dem Polyäthylen, das sich beim Erwärmen leicht verformt, gibt es aber auch solche Kunststoffe, die erheblich höheren Temperaturen ausgesetzt werden können, ohne ihre speziellen Eigenschaften zu verlieren. Dazu gehört z. B. das Polytetrafluoräthylen, das bekannter ist unter dem Namen **Teflon**® \*). Es kann immerhin bis zu einer Temperatur von ca. 300° C verwendet werden, ohne daß nennenswerte Änderungen der speziellen Eigenschaften auftreten.

- 3.11. Wie sich Kunststoffe in der Wärme verhalten, hast du nun zum Teil erfahren. Auch in der Kälte ändern sich die Eigenschaften. Um das zu untersuchen, lege den Polyäthylenstab etwa 1 Stunde in das Eisfach eines Kühlschranks. Versuche danach, den Kunststoff mit den Händen zu biegen.

*Das Polyäthylen läßt sich im kalten Zustand nicht so gut verformen wie im warmen. Die Erklärung dafür fällt dir sicher selbst ein, wenn du noch einmal Versuch 3.10. durchliest. Mit zunehmender Kälte wird nämlich der Zusammenhang zwischen den Makromolekülen immer größer. Dadurch wird auch die Verformungsmöglichkeit geringer. Bei tiefen Temperaturen werden Kunststoffe „spröde“, eine Erscheinung, die man auch vom Stahl kennt. Dort tritt diese Eigenschaft aber erst um -50° C auf.*

- 3.12. Wenn du eine genaue Übersicht über das Verhalten der Kunststoffe bei verschiedenen Temperaturen gewinnen willst, so kannst du die Stäbe wie in Vers. 3.10. einmal bei Zimmertemperatur, dann nach dem Erhitzen und schließlich nach dem Abkühlen im Eisfach untersuchen. Auf diese Art erhältst du – in Form einer Tabelle – das Verhalten einiger Kunststoffe bei unterschiedlichen Temperaturen.

- 3.13. Noch einmal sollst du eine spezielle Eigenschaft der Kunststoffe erproben. Lege den Polyäthylenstab etwa 3 Minuten in kochendes Wasser. Nimm ihn dann heraus (Vorsicht, nicht verbrennen) und biege ihn soweit, daß die beiden Enden aneinanderliegen. Laß ihn dann in dieser Stellung abkühlen. Das kannst du beschleunigen, indem du kaltes Wasser darüberlaufen läßt.

*In der Hitze läßt sich Polyäthylen, wie du bereits gelernt hast, sehr gut verformen. Läßt beim Abkühlen die einwirkende Kraft aber nicht nach, so bleibt der Kunststoff in diesem Zustand. Er streckt sich nicht mehr. Beim Erwärmen lassen sich die Moleküle leicht verschieben.*

\*) „Teflon“ ist die gesetzlich geschützte Bezeichnung für das Polytetrafluoräthylen des amerikanischen Chemiekonzerns Du Pont.

*Kühlen sie dann in dieser „verschobenen“ Stellung ab, so bleiben die Moleküle in diesem Zustand liegen. Sie „frieren ein“.*

- 3.14. **Wirf den gebogenen Polyäthylenstab wieder in heißes Wasser. Achte darauf, wie er sich verhält.**

*Beim erneuten Erhitzen streckt sich der Stab wieder, er nimmt also seine alte Form wieder ein. Diese Eigenschaft bezeichnet man als **Rückerinnerungsvermögen**.*

*Die Moleküle, die nach dem Abkühlen in einem „unnormalen“ Zustand verharrten, haben beim Erhitzen das Bestreben, den alten Zustand wiederherzustellen. Deshalb wird der Stab durch die Kräfte, die die Moleküle im Innern ausüben, wieder weitgehend in die alte Form zurückgebogen.*

*Wie du leicht mit dem Polyamidstab nachprüfen kannst, ist dieses Verhalten auch bei anderen Kunststoffen festzustellen.*

- 3.15. **Besorge dir einen Teelöffel oder, noch besser, eine Stricknadel. Halte dann die Nadel und einen der Stäbe so in heißes Wasser, daß deine Hände an beiden Gegenständen gleich weit vom Wasser entfernt sind. Was fällt dir auf?**



Abb. 8.

Nach kurzer Zeit wird die Stahlnadel warm und schließlich so heiß, daß du sie aus der Hand legen mußt. Am Kunststoffstab dagegen ist fast keine Temperaturerhöhung festzustellen. Mit diesem einfachen Versuch hast du noch eine spezielle Eigenschaft der Kunststoffe erkannt, nämlich ihre sehr geringe Wärmeleitfähigkeit. Metalle sind dagegen sehr viel bessere Wärmeleiter, wie du an deiner eigenen Hand gespürt hast.

An der folgenden Tabelle kannst du eine Rangfolge der Wärmeleitfähigkeit ablesen. Um dir einen zahlenmäßigen Vergleich anzugeben, zusätzlich noch einige genaue Daten: Kupfer, ein sehr guter Wärmeleiter, „überträgt“ die Wärme ca. 2400mal schneller als z. B. Polystyrol.

Wärmeleitfähigkeit	
Kupfer	gut
Aluminium	
Blei	
Quarzglas	
Wasser	
Polystyrol	
Luft	

- 3.16. Sicherlich hast du schon einmal davon gehört, daß Kunststoffe besonders viel und schnell Staub „anziehen“. Worauf das zurückzuführen ist, sollst du nun untersuchen.

Reibe den Polystyrol II-Stab kräftig mit einem alten Damenstrumpf oder einem trockenen Fensterleder. Du kannst aber auch einige Male über Teppichboden streichen. Halte dann den Stab dicht über kleine Papierstückchen.

*Das Papier wird von dem Stab angezogen und bleibt etliche Minuten daran „hängen“. Eine ähnliche Erscheinung kennst du sicherlich von einem Magneten, der einen Nagel anzieht. Bei dem Kunststoff ist die Ursache für die Anziehung allerdings eine andere.*

*Durch das Reiben werden an der Oberfläche des Stabes und an dem Gegenstand, mit dem gerieben wird, Elektronen aus den Atomen ungleichmäßig verteilt. Auf der einen Seite entsteht ein Elektronenüberschuß, auf der anderen ein Elektronenmangel. Beide elektrischen Ladungen sind imstande, kleine Teilchen – Papier, Staub o. ä. – anzuziehen.*

- 3.17. Untersuche, ob sich verschiedene Kunststoffe unterschiedlich oder gleich elektrisch aufladen. Befestige dazu den Stab aus Styrol-Acrylnitril-Copolymerisat (SAN) so an einem Zwirnsfaden, daß er waagrecht liegt. Hänge ihn frei auf. (Mit Klebeband an einer Tisch-

kante o. ä.). Reibe dann eine Hälfte mit dem Lappen und Sorge anschließend dafür, daß dieser Stab möglichst schnell still hängt. Reibe dann den Stab aus Polystyrol II und nähere ihn langsam dem Ende des freihängenden Stabes, das du aufgeladen hast. Wie verhält sich der schwebende Stab?

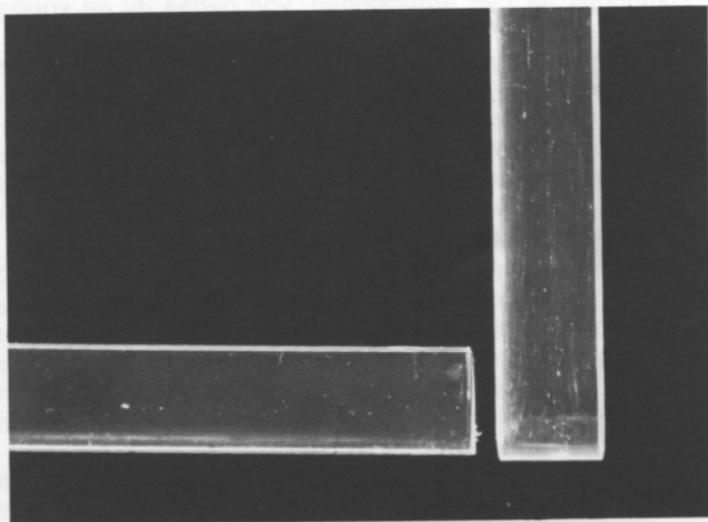


Abb. 9.

*Wenn du bis etwa 5 mm an den aufgehängten Stab herankommst, so dreht er sich in die andere Richtung.*

*Vom Magneten kennst du, daß sich gleiche Pole abstoßen, ungleiche aber anziehen. Ebenso verhält es sich mit den elektrischen Ladungen, die sich auf den Kunststoffen durch das Reiben bilden. Aus dem gegenseitigen Abstoßen kannst du also erkennen, daß auf den Stäben gleiche Ladungen entstehen.*

*Die Größe der elektrostatischen Aufladung ist für den Menschen ungefährlich, wenn auch manchmal unangenehm. Du kannst z. B. einen elektrischen Schlag bekommen, wenn du über den kunststoffbezogenen Handlauf eines Geländers streichst und anschließend einen Metallgegenstand berührst.*

- 3.18. Wenn du eine Glühlampe (4,5 V), eine Fassung und eine Batterie besitzt, kannst du nach dem Ausführen eines kleinen Versuchs noch etwas über die elektrische Leitfähigkeit aussagen. Prüfe verschiedene Gegenstände (Geldstücke, Holz und die Kunststoffstäbe) auf ihre Leitfähigkeit. Schalte sie dazu in einen einfachen Stromkreis. Prüfe, wann die Lampe leuchtet.

Bei allen Metallen leuchtet die Lampe, bei den anderen Stoffen, auch bei den Stäben, leuchtet sie nicht. Kunststoffe sind für den elektrischen Strom Nichtleiter. Sie besitzen einen so hohen Durchgangswiderstand, daß kein Strom fließen kann. Weil dieser Widerstand so groß ist, entstehen auch die elektrostatischen Aufladungen an den Kunststoffen, von denen du im vorigen Versuch gehört hast.

Da Kunststoffe den elektrischen Strom nicht leiten, werden sie sehr viel als Isolatoren verwendet. Deshalb werden für Haushaltsgeräte gern Kunststoffgehäuse gewählt. Manchmal aber setzt man den verschiedenen Kunststoffen Füllstoffe zu, um die Leitfähigkeit zu verbessern. Fügt man z. B. zu Polyäthylen 30–35% Ruß, Graphit oder Metallpulver hinzu, so wird aus dem Nichtleiter ein recht guter Leiter für den elektrischen Strom.

- 3.19. Frage deine Eltern, ob du dir aus einer Apotheke oder Drogerie je 50 cm<sup>3</sup> 15%ige Natronlauge und 15%ige Salzsäure kaufen darfst. Wenn du sie besitzt, gib in ein Reagenzglas aus dem Vorratsröhrchen ein paar Körnchen Polystyrol, in das andere einen Eisennagel. Gieße nun in beide Gläser etwas verdünnte Salzsäure. Beobachte den Inhalt etwa 5 Minuten nach dem Übergießen und dann noch einmal nach ca. 1 Stunde. Fällt dir ein Unterschied auf?

An dem Polystyrol sind gar keine Veränderungen festzustellen. Vom Eisennagel dagegen steigen kleine Bläschen auf, und nach ca. einer Stunde kann sich ein kleiner Nagel völlig mit der Salzsäure umgesetzt haben, ein großer wird auf jeden Fall stark angegriffen.

Im Gegensatz zu den Metallen werden Kunststoffe von verdünnten Säuren gar nicht angegriffen. Höchstens heiße konzentrierte Säuren (z. B. Schwefelsäure) bewirken eine Veränderung. Die Widerstandsfähigkeit der Kunststoffe gegen verdünnte Säuren bedingt die hervorragende Verwendung als Material für Haushaltsgeräte.

- 3.20. Wiederhole den vorigen Versuch (mit einem neuen Nagel), übergieße die Proben jedoch mit verdünnter Natronlauge. Vergleiche wieder die Wirkungen.

Wie gegen verdünnte Säuren sind die Kunststoffe auch gegen verdünnte Laugen sehr widerstandsfähig. Metalle dagegen werden auch von Laugen angegriffen.

Diese Eigenschaft der Kunststoffe, von verdünnten Säuren und Laugen nicht angegriffen zu werden, zeichnet sie vor den Metallen aus und erschließt ihnen weite Anwendungsbereiche.

Du hast nun in diesem Kapitel vieles über Eigenschaften gehört, die allen Kunststoffen gemeinsam sind. In den nächsten Kapiteln erhältst du Informationen über spezielle Eigenschaften einiger Kunststoffe, ihre chemische Zusammensetzung und ihre Anwendung.

#### 4. Polyäthylen (PE)

Polyäthylen – die Abkürzung dafür lautet PE – wird von vielen in- und ausländischen Firmen unter verschiedenen Handelsnamen hergestellt. Sie sind für die betreffenden Firmen gesetzlich geschützt. In der folgenden Tabelle findest du einige dieser Handelsprodukte und die Herstellerfirmen.

Polyäthylen (PE)	
Handelsname	Hersteller
Alathon® *	Du Pont
Alkathene®	ICI
Hostalen®	Farbwerke Höchst
Lupolen®	BASF
Suprathen®	Kalle
Polythene®	Union Carbide

Der Anwendungsbereich für Polyäthylen ist sehr groß. Du hast schon erfahren, daß z. B. Eimer und Schüsseln für den Hausgebrauch aus diesem Kunststoff hergestellt werden. Doch das ist nur ein kleiner Teil. Daneben findet es Verwendung zur Herstellung von Folien, die zu Tragetaschen oder Säcken weiterverarbeitet werden. Drahtisolierungen und Kabelummantelungen werden ebenso aus Polyäthylen gefertigt wie Rohre für bestimmte Zwecke. Auch Papier wird manchmal dünn mit Polyäthylen beschichtet.

- 4.1. Vergleiche die Oberfläche des Polyäthylenstabes mit denen der anderen. Streiche über alle mit den Fingerspitzen. Vergleiche miteinander.

*Die Oberfläche des Kunststoffes Polyäthylen fühlt sich etwa an wie eine Wachskerze, die anderen Stäbe dagegen sind glatt. Diese Oberflächenbeschaffenheit ist typisch für Polyäthylen. Du kannst Haushaltsgegenstände darauf untersuchen, und du wirst mit ziemlicher Genauigkeit angeben können, ob der Gegenstand aus Polyäthylen besteht oder nicht.*

*Im Vergleich zu einigen anderen Kunststoffen ist das Polyäthylen nie durchsichtig und klar, sondern immer trübe.*

- 4.2. Im Versuch 3.1. hast du die Dichte des Polyäthylenstabes ermittelt. Diesem Experimentierkasten liegt derselbe Kunststoff auch in Form von Granulat (Körnchen) bei. Weise über die Schwimmprobe nach, daß beide chemisch identisch sein können. Lege dazu den Stab und ein paar Körnchen in Leitungswasser.

\* Dieses Zeichen bedeutet, daß der Name des Handelsproduktes für die genannte Firma gesetzlich geschützt ist.

Wie der Stab schwimmen auch die Körnchen im Wasser. Damit hast du zwar keinen exakten Beweis erhalten, jedoch du kannst immerhin davon ausgehen, daß die Dichten gleich sind. Genauere Beweise wirst du in den nächsten Versuchen finden.

- 4.3. Halte auf einem alten Teelöffel ein paar Körnchen des roten Polyäthylens in die Kerzenflamme. Die Körnchen müssen an der Spitze des Löffels liegen. (Du kannst aber auch eine Probe mit der Pinzette in die Flamme halten.) Vorher mußt du auf den Tisch, auf dem du arbeitest, eine Unterlage – z. B. ein Holzbrett oder mehrere Lagen Zeitung – legen. Das ist sehr wichtig! Beobachte nun, ob und wie die Probe brennt.

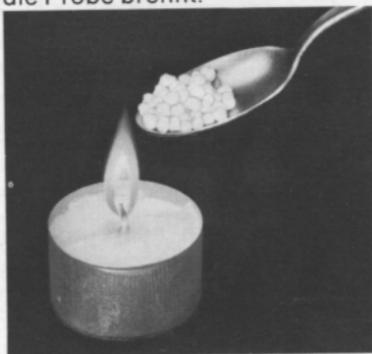


Abb. 10.



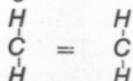
Abb. 11.

Das Polyäthylen entzündet sich und brennt mit einer blau gesäumten Flamme. Dabei fallen brennende Tropfen ab. Vor dem Entzünden schmilzt das Polyäthylen. Der Rauch hat eine graublau Farbe und riecht etwa wie bei brennendem Wachs.

Im Gegensatz zu dem weißen, undurchsichtigen Stab sind die Granulate gefärbt. Das normale Polyäthylen ist weiß, es kann jedoch gut eingefärbt werden, wie du an den leuchtenden Farben der Granulate erkennen kannst. Gegenstände aus Polyäthylen werden also aus dem gefärbten Kunststoff hergestellt und nicht erst nach der Fertigung mit einem Farbüberzug versehen.

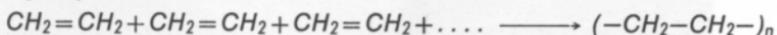
- 4.4. Halte den Stab aus Polyäthylen in die Flamme und vergleiche, ob du dieselben Merkmale wahrnehmen kannst wie beim Verbrennen des Granulats. Blase nach kurzer Zeit die Flamme wieder aus. Auch der Stab brennt mit einer blau geränderten Flamme. Dabei fallen ebenfalls Tropfen ab, weil der Kunststoff beim Entzünden schmilzt. Auch der Rauch weist dieselben Merkmale auf. Der Kunststoff Polyäthylen wurde zum ersten Male im Jahre 1936 hergestellt. Das Ausgangsprodukt ist die chemische Verbindung Ä t h y l e n mit der Formel  $C_2H_4$ .

Im Äthylen sind die Atome in folgender Weise angeordnet



Du findest auch diese Darstellung:  $\text{CH}_2 = \text{CH}_2$

Bei der Anwesenheit von *Katalysatoren* – das sind Stoffe, die eine chemische Reaktion beschleunigen, ohne selbst an der Umsetzung beteiligt zu sein – lagern sich viele (griech. = poly) Äthylenmoleküle zu einem Makromolekül aneinander. Dabei entsteht das Polyäthylen.



Die Zahl  $n$  bedeutet wieder, daß sich eine große Zahl von Einzelmolekülen zusammengeschlossen hat, in diesem Fall können es einige 1000 sein.

Den Zusammenschluß sehr vieler einzelner Moleküle zu einem Makromolekül bezeichnet man als *Polymerisation*.

Nun läßt sich der Zusammenschluß der Äthylenmoleküle nicht ohne weiteres durchführen. Man muß nämlich unter einem Druck von ca. 1500 at und bei einer Temperatur von ca. 200° C arbeiten. Dabei entsteht das *Hochdruckpolyäthylen*. Erst später konnte ein Verfahren entwickelt werden, bei dem die Polymerisation (Zusammenschluß) von Äthylenmolekülen bei einer Temperatur von 100° C und einem Druck von nur 50–100 at ablief. Dieses Produkt nennt man *Niederdruckpolyäthylen*.

- 4.5. Versuche, einige Körnchen Polyäthylen mit einem Alleskleber zusammenzukleben. Prüfe nach dem Härten, ob die Verbindung sehr fest ist.

Dieser Kunststoff läßt sich nicht besonders gut kleben. Dazu muß die Oberfläche vorher besonders behandelt werden. Auch nimmt die Oberfläche keine Wasserfarben an, was du leicht nachprüfen kannst, da das Polyäthylen vom Wasser kaum benetzt wird; es läuft immer sofort wieder ab.

- 4.6. Schneide dir aus einem Einkaufsbeutel aus Kunststoff (meistens Polyäthylen), die heute in fast jedem Geschäft mitgegeben werden, ein etwa 20 x 20 cm großes Stück Folie heraus. Falte es so zusammen, daß die Seiten genau übereinanderliegen.

Lege nun diese freien Seiten so zwischen zwei Stahllineale, daß etwa 2–3 mm der Folie hervorstehen. (Falls du keine Stahllineale besitzt, kannst du auch zwei Holzleisten verwenden. Es dürfen aber keine Kunststofflineale sein!) Fahre dann mit der Kerzenflamme unter der hervorstehenden Folie entlang. Nachdem die Folie nicht mehr brennt, warte noch einen Moment und nimm die Stahlschienen fort. Untersuche die Folie.

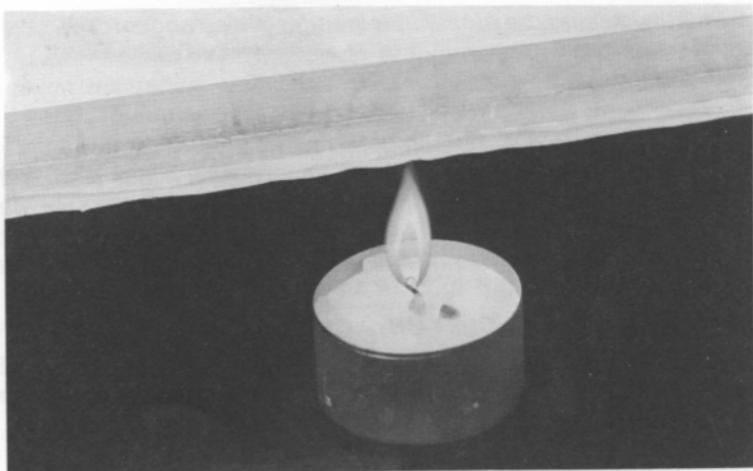


Abb. 12.

*Der überstehende Rest der Folie verbrennt. Dabei schmelzen beide Seiten und verbinden sich in der Schmelze fest miteinander. Diese Art der Verbindung von Kunststoffen wird als **Schweißen** bezeichnet, in diesem speziellen Verfahren spricht man vom **Ab-schmelzschweißen**. Daneben gibt es noch einige andere Möglichkeiten, um Polyäthylen zu verschweißen. Alle Verfahren haben aber eines gemeinsam: Die Kunststoffteile werden unter Anwendung von Wärme und Druck miteinander verbunden.*

- 4.7. Schneide dir aus dem Einkaufsbeutel einen Streifen von etwa 20 cm Länge und 3 cm Breite heraus. Versuche nun, diesen Streifen sehr langsam auseinanderzuziehen.

*Der Streifen läßt sich nicht ohne weiteres strecken. Du mußt schon eine bestimmte Kraft aufwenden, aber dann läßt er sich sehr plötzlich auf ein Vielfaches dehnen. Dabei wird der Streifen allerdings schmaler. Wenn du langsam gezogen hast, so merkst du nach einer bestimmten Dehnung, daß sich die Folie nicht mehr strecken läßt. Ziehst du trotzdem weiter, so reißt der Streifen. Diese **Weiter-reißfestigkeit** ist eine Größe, mit der einige mechanische Eigenschaften einer Folie angegeben werden können.*

- 4.8. Besorge dir ein Eisen- oder Aluminiumblech von etwa 15 x 20 cm Größe. Falls dir das schwerfällt, kannst du auch eine Konservendose verwenden, von der du den Deckel abgeschnitten hast.

*Schmiere dieses Blech mit Seife ein und streue dann ein paar farbige Polyäthylen-Körner auf das Blech. Erhitze dann das Blech bei etwa 150° C etwa eine halbe Stunde im Backofen. Löse das Polyäthylen von dem Blech. Was beobachtest du?*

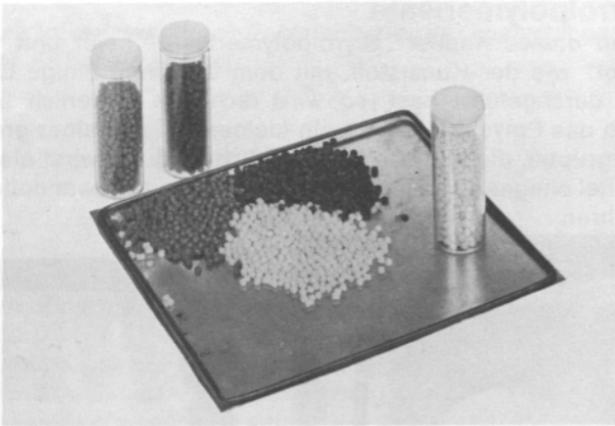


Abb. 13.

Das Polyäthylen erweicht bei dieser Temperatur, und das Granulat verläuft. Dort, wo die Körner dicht beieinanderlagen, haben sie sich fest verbunden. Sie lassen sich auch durch kräftiges Ziehen kaum voneinander trennen.

Kunststoffe, wie in diesem Falle das Polyäthylen, lassen sich zum Beschichten von Metallen verwenden. Diese sind dann gegen Witterungseinflüsse weitgehend geschützt.

- 4.9. Aus dem farbigen Polyäthylen-Granulat kannst du dir sehr bunte Tafeln (Plastarelle) oder sogar Kunststoff-Bilder herstellen. Schmiere das Blech wieder mit Seife ein und lege dann am Rand entlang einen starken Draht (sonst fällt das Granulat zu leicht herunter). Streue nun die gewünschten Farben nach deinen Vorstellungen auf das Blech. Die Körner müssen aber **sehr** dicht beieinanderliegen, damit du eine zusammenhängende Fläche bekommst. Erhitze das Blech dann etwa eine Stunde bei  $150^{\circ}\text{C}$ . Anschließend kannst du die Platte leicht ablösen und die Ränder mit einem scharfen Messer beschneiden. Wäre das nicht ein Wandschmuck für dein Zimmer?

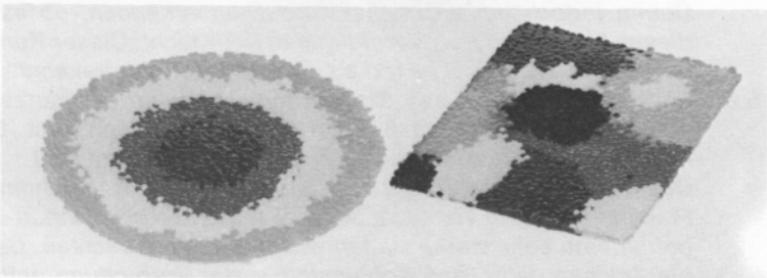


Abb. 14.

## 5. Styrolpolymerisate

Wenn dieses Kapitel „Styrolpolymerisate“ heißt und nicht „Polystyrol“ wie der Kunststoff, mit dem du schon einige Untersuchungen durchgeführt hast, so wird dich das sicherlich überraschen. Doch das Polystyrol ist nur ein kleiner Teil aus einer großen Kunststoffgruppe, die alle chemisch ähnlich sind. Du wirst also in diesem Kapitel einiges über das Polystyrol und die abgewandelten Produkte erfahren.

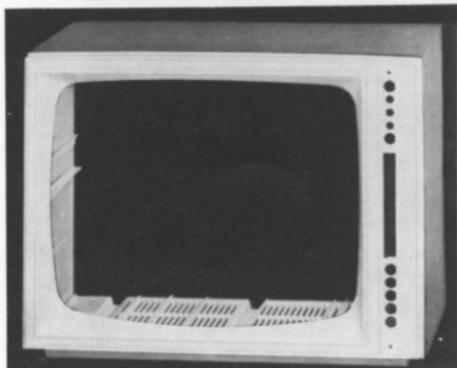


Abb. 15.

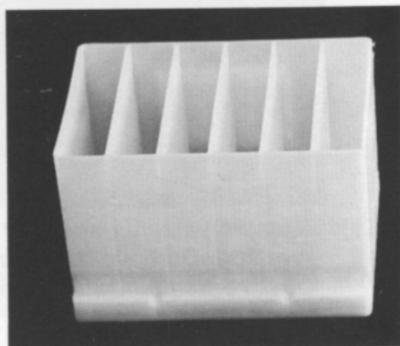


Abb. 16.

Formteile aus schlagfestem Polystyrol  
Werkfotos BASF

- 5.1. Laß den Polystyrol II-Stab aus geringer Höhe auf eine Tischplatte fallen. Wiederhole diese Probe mit den anderen Stäben. Vergleiche den Klang der einzelnen Stäbe beim Aufprall miteinander. Wenn du nicht sicher bist, versuche es noch einmal.

*Der Stab aus Polystyrol II hat einen wesentlich helleren Klang beim Aufprall als die anderen. Man könnte fast von einem Metallklang sprechen. Dieses Geräusch verursacht aber nur das Polystyrol II, nicht der Stab, den du mit Polystyrol I bezeichnet hast.*

*So einfach dieser Versuch auch sein mag, so kann man bei einiger Übung jedoch mit ziemlicher Sicherheit erkennen, ob es sich um dieses bestimmte Polystyrol handelt oder nicht. Dieser Kunststoff ist unter dem Namen Standardpolystyrol bekannt.*

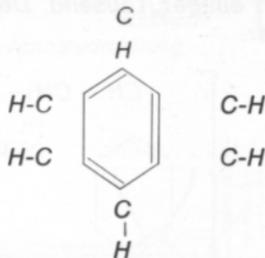
- 5.2. Entzünde den Stab aus Standardpolystyrol an der Kerzenflamme. Achte wieder darauf, daß die Tischplatte geschützt ist. Blase die Flamme wieder aus, wenn du ihre Merkmale erkannt hast.

*Das Polystyrol entzündet sich und brennt mit leuchtend gelber Flamme, die man vielleicht sogar als gelbrot bezeichnen kann. Dabei ist eine sehr starke Rußentwicklung zu beobachten. Der Ruß ist ein Zeichen dafür, daß Kohlenstoff in der Verbindung enthalten ist. Der entstehende Rauch riecht etwas süßlich.*

Polystyrol entsteht durch Polymerisation der chemischen Verbindung Styrol. Es hat die Formel



Dieser Ring, der an das erste Kohlenstoffatom gebunden ist, wird **Benzolring** genannt. In der Verbindung Benzol sind die Kohlenstoffatome nämlich nicht in gerader Kette miteinander verbunden, sondern sie haben sich zu einem Ring verbunden. Dieser Ring müßte vollständig so gezeichnet sein:



und hat die Formel  $C_6H_6$ .

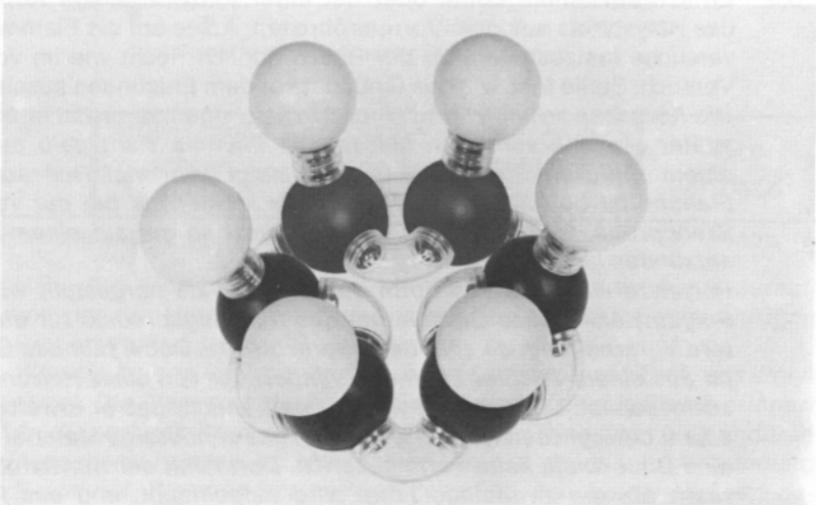


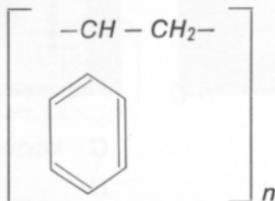
Abb. 17.

Der Einfachheit halber schreibt man jedoch die Kohlenstoffatome nicht mit, die an den Ecken sitzen, und die Wasserstoffatome läßt man völlig fort. Es wird dann nur dieser Ring gezeichnet:



In der Verbindung Styrol sind ein Wasserstoffatom des Ringes und eines des ersten Kohlenstoffatoms angespalten. So kann sich der Ring mit dem Kohlenstoffatom verbinden.

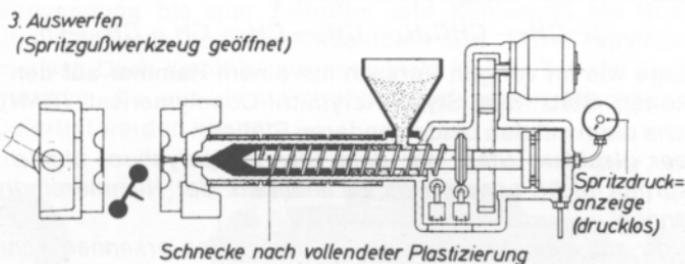
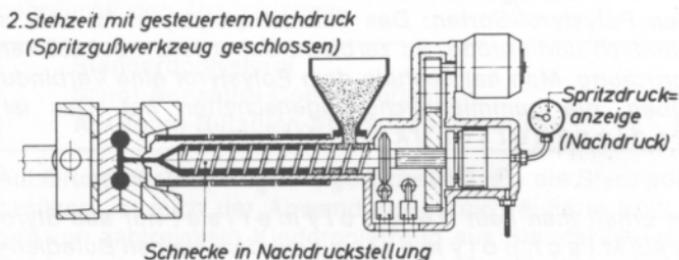
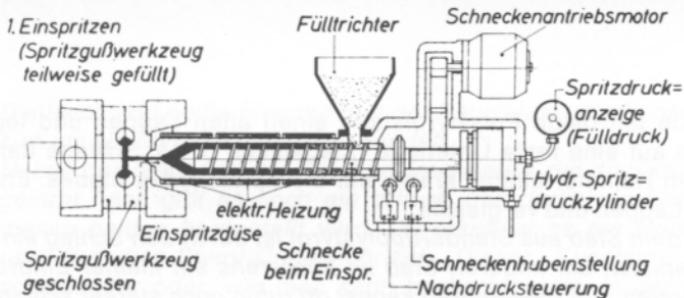
Polystyrol entsteht also durch den Zusammenschluß vieler Styrolmoleküle, nämlich einiger Tausend. Das bedeutet wieder das „n“ hinter der Klammer.



- 5.3. Erhitze auf einem Löffel oder mit einer Pinzette einige Körnchen des Polystyrols aus dem Vorratsröhrchen. Achte auf die Flamme und versuche festzustellen, ob der Rauch ähnlich riecht wie im vorigen Versuch. Stelle fest, wie das Granulat vor dem Entzünden aussieht.

Die Körnchen schmelzen zu einer durchsichtigen, zunächst farblosen, später etwas bräunlichen Masse. Die Flamme sieht gelb aus mit einem rötlichen Schimmer, und es steigt sehr viel Ruß auf. Die Flamme ist bei diesem Versuch etwas kleiner als bei der vorigen Brennprobe, weil sich das Polystyrol nicht so gut auf einem Löffel entzünden läßt.

Polystyrol wird auch in Form eines Granulats hergestellt wie das Polyäthylen. Dieses Granulat ist das Ausgangsprodukt für die weitere Verarbeitung, so z. B. beim Spritzgießen. Dabei fällt das Granulat aus einem Trichter in einen Zylinder, der von einer Heizung umschlossen ist. Der Rohstoff wird so weit erhitzt, daß er erweicht. Mit einem beweglichen Kolben wird dann das zähflüssige Material durch eine Düse in die kalte Form gespritzt. Dort kühlt der Kunststoff sehr rasch ab, die zweiteilige Form wird aufgeklappt, und das fertige Produkt kann herausgenommen werden.



Arbeitszyklus einer Schnecken-spritzguß-  
maschine. Schnecken-spritzeinheit  
Bauart: Ankerwerk Nürnberg

Kuro  
60 08 05

**BASF**  
Ludwigshafen am Rhein  
1960

Werkzeichnung BASF

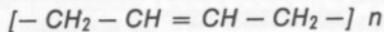
Abb. 18.

5.4. Halte den Stab aus Polystyrol I in die Kerzenflamme. Achte darauf, wie der Kunststoff brennt, und vergleiche mit den beiden vorigen Proben. Prüfe auch den Geruch des Rauchs.

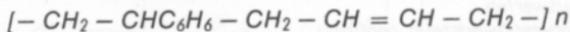
Wie die beiden vorigen Proben brennt auch dieser Stab aus Polystyrol. Die Flamme hat dieselbe Farbe, und auch der Rauch erinnert an die anderen Brennproben mit Polystyrol. Trotz des völlig anderen Aussehens handelt es sich immer um die chemische Verbindung Polystyrol. Welcher Unterschied zwischen den beiden Stäben besteht, sollst du im nächsten Versuch erfahren.

- 5.5. Wickle um beide Polystyrolstäbe einen alten Lappen und lege sie dann auf eine feste Unterlage (Ziegelstein o. ä.). Schläge dann mit einem Hammer einmal kräftig auf die Spitze jedes Stabes. Entferne den Lappen und vergleiche.

*Von dem Stab aus Standardpolystyrol ist durch den Schlag ein Stück abgeplatzt, am anderen Stab ist höchstens ein kleiner Eindruck zu erkennen. Auf diesen Stab kannst du ruhig noch stärker schlagen, er wird nicht zerspringen. Du kennst nun den Unterschied zwischen den beiden Polystyrol-Sorten: Das Standardpolystyrol ist sehr schlagempfindlich und spröde. Es zerbricht daher leicht bei stärkerer Beanspruchung. Man hat deshalb dem Polystyrol eine Verbindung zugegeben, die gummiähnliche Eigenschaften hat. Das ist z. B. Butadienkautschuk\* mit der Formel*



*Dann erhält man kein Reinpolymerisat nur aus Styrol, sondern ein Mischpolymerisat mit dem Namen Butadien-Styrol. Die Formel zeigt, daß sich zwischen zwei Styrolmolekülen immer ein Butadienmolekül anlagert (Butadien).*



- 5.6. Schläge wie im vorigen Versuch mit einem Hammer auf den eingewickelten Stab aus Styrol-Acrylnitril-Copolymerisat (SAN). Vergleiche dann mit den beiden anderen Stäben.

*Dieser glasklare Stab, der dem Standardpolystyrol ähnlich sieht, zerspringt nicht, sondern es ist allenfalls der Hammereindruck zu erkennen.*

*Wie du aus dem Namen dieses Kunststoffes erkennen kannst, ist auch er auf der Basis des Styrols aufgebaut. Allerdings wurde ein Mischpolymerisat, auch Copolymerisat genannt, mit der chemischen Verbindung Acrylnitril erzielt.*

*Acrylnitril hat folgende Formel:*



*Davon wird wieder je ein Molekül zwischen zwei Styrolmoleküle eingebaut.*

- 5.7. Mit der Brennprobe kannst du beweisen, daß das Styrol-Acrylnitril-Copolymerisat auch eine Styrolverbindung ist. Achte wieder auf die Flammenfärbung und den Geruch des Rauches. (Fächle dir nur geringe Mengen des Rauches mit der Hand zu!)

\* In der Silbe „dien“ von Butadien spricht man das „i“ und das „e“ getrennt aus, also „di-en“.

Die leuchtend gelbe Flamme und der Rauch lassen erkennen, daß es sich um ein Styrol-Polymerisat handelt.

Neben den beiden Styrol-Mischpolymerisaten, die du bisher kennengelernt hast, gibt es noch ein drittes, das durch ein Gemisch aus diesen beiden hergestellt wird. Du erkennst es am Namen Acrylnitril-Butadien-Styrol-Copolymerisat. Dieser Kunststoff ist noch schlagfester oder, wie man sagt, hochschlagfest. In der folgenden Übersicht findest du noch einmal die Styrolpolymerisate mit den gebräuchlichen Abkürzungen

Standardpolystyrol	PS
Styrol-Acrylnitril-Copolymerisat	SAN
Acrylnitril-Butadien-Styrol-Copolymerisat	ABS

Auf Grund der vielfältigen Eigenschaften, die die Styrolpolymerisate besitzen, ist auch der Anwendungsbereich äußerst breit. Angefangen von zahlreichem Kinderspielzeug aus Standardpolystyrol, über Gehäuse für Haushalts- und Küchengeräte, Gartenmöbel und Autozubehör aus schlagfestem Polystyrol reichen die Möglichkeiten der Verwendung bis zum Ziergitter und Kühlergrill am Kraftfahrzeug und Gehäusen für Verkehrsampeln aus Styrol-Acrylnitril-Copolymerisat. Doch damit ist nur ein winzig kleiner Teil der Gegenstände genannt, die aus dem Polystyrol und seinen Mischpolymerisaten gefertigt werden können.

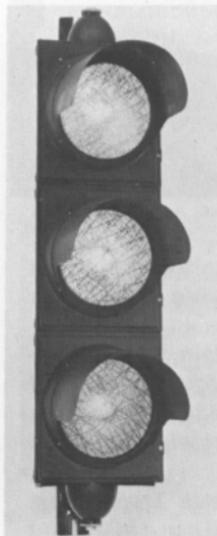


Abb. 19.



Werkfotos BASF

Abb. 20.

- 5.8. Nun sollst du noch ein Polystyrolprodukt kennenlernen, das sich aber völlig von den bisherigen unterscheidet. In diesem Experimentierkasten ist eine Dose, die **treibmittelhaltiges Polystyrol** enthält. Du mußt die Dose vorsichtig öffnen, damit dir die kleinen Perlen nicht herausfallen. Der Inhalt soll möglichst innerhalb von ca. 8 Wochen verarbeitet werden kann.

Erhitze auf dem Löffel einige wenige Perlen treibmittelhaltiges Polystyrol in der Kerzenflamme. Achte nicht nur auf die Färbung beim Verbrennen, sondern vor allem auf das Verhalten der einzelnen Körnchen.

*Wie bei den anderen Polystyrol-Sorten färbt sich die Flamme auch gelbrot. Die kleinen Kugeln aber blähen sich in der Wärme sehr stark auf, bis sie zu einer bräunlichen, durchsichtigen Masse zusammenschmelzen.*

*Das Polystyrol in dieser Form enthält ein Treibmittel, das leicht verdampft. In der Wärme entweicht dieses Treibmittel, und dabei entstehen in den Perlen kleine Poren und Bläschen, so daß sie dadurch aufgebläht werden.*

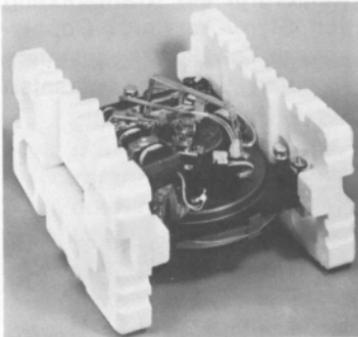


Abb. 21.

Werkfotos BASF

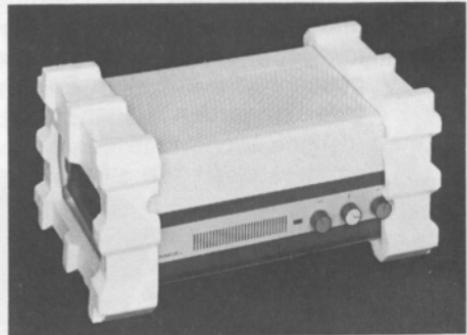


Abb. 22.

- 5.9. Wirf einige Körnchen des treibmittelhaltigen Polystyrols in siedendes Wasser. Beobachte die Perlen etwa 5 Minuten und prüfe den Geruch des aufsteigenden Wasserdampfes.

*Nicht nur in der Flamme, sondern auch in kochendem Wasser verdampft das Lösungsmittel und läßt die Perlen aufquellen. Dir ist sicherlich aufgefallen, daß sie um ein Vielfaches größer werden, als sie es ursprünglich waren. Mit dem Wasserdampf steigt auch das Treibmittel auf.*

*Diesen Vorgang, bei dem durch das Verdampfen des Treibmittels das Polystyrol aufquillt, bezeichnet man als Schäumen. Wartet man so lange, bis das gesamte Treibmittel entwichen ist, so können*

sich die Perlen auf das Fünzigfache ihres Volumens (Rauminhalt) vergrößern. Dann allerdings sind sie totgeschäumt und können nicht weiter verarbeitet werden.

Das treibmittelhaltige Polystyrol ist dir sicher bekannt unter dem Namen **Styropor**<sup>®</sup>. Styropor<sup>®</sup> ist der gesetzlich geschützte Handelsname der BASF für dieses Produkt. Diese Firma hat das Verfahren zur Herstellung und Verarbeitung entwickelt.

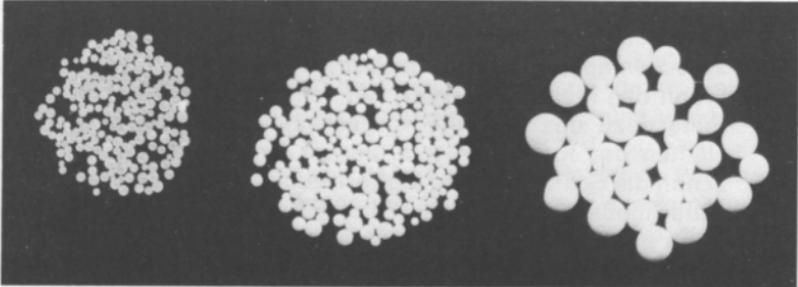


Abb. 23.

- 5.10. Wie das treibmittelhaltige Polystyrol verarbeitet wird, sollst du in den nächsten Versuchen kennenlernen. Entleere ein Vorratsröhrchen mit dem farbigen Polyäthylen. Fülle dann dieses Röhrchen bis zum Rand mit dem Polystyrol aus der Dose. Das ist genau die Menge, die du benötigst.

Erhitze nun in einem großen Kochtopf etwa 1 Liter Wasser bis zum Sieden. Lege dir inzwischen schon ein altes, trockenes Handtuch, ein feinmaschiges Metallsieb und eine Uhr mit Sekundenzeiger bereit. Wenn das Wasser siedet, gib das Polystyrol aus dem Vorratsröhrchen in das Wasser. Rühre um. Fülle nach genau 2 Minuten etwa 1 Liter kaltes Wasser in den Topf. Anschließend gieße das Wasser mit den Perlen in das Sieb.

*In dem siedenden Wasser quellen die Polystyrol-Perlen wie im vorigen Versuch auf. Es darf jedoch nicht das gesamte Treibmittel verdampfen, weil sonst eine weitere Verarbeitung nicht möglich ist. Deshalb mußst du genau nach der angegebenen Zeit das kalte Wasser hinzufügen, damit das V o r s c h ä u m e n – so nennt man diesen Arbeitsgang – unterbrochen wird.*

*In den Betrieben, die dieses Produkt verarbeiten, wird in den meisten Fällen nicht mit heißem Wasser vorgeschäumt, sondern mit Wasserdampf.*

- 5.11. Wenn das Wasser aus dem Sieb abgetropft ist, verteile das vorgeschäumte Polystyrol auf dem trockenen Handtuch. Reibe dann so lange mit der flachen Hand über die Kugeln, bis sie nicht mehr zu-

sammenballen. Sie müssen mindestens 10–15 Minuten trocknen. Prüfe einmal das Gewicht des vorgeschäumten Materials.

*Das vorgeschäumte Polystyrol hat eine äußerst geringe Dichte, wie du leicht feststellen kannst.*

*Nach dem Vorschäumen muß das Material zwischenlagern, und zwar so, daß es von der Luft umgeben ist. Durch das Entweichen des Treibmittels entsteht nämlich im Innern der Kugeln ein Unterdruck, der durch die Luft ausgeglichen werden muß. Du kannst schon nach etwa 20 Minuten das vorgeschäumte Polystyrol weiterverarbeiten. Günstiger wäre es allerdings, wenn du es ca. 24 Stunden zwischenlagerst, wie es in Industriebetrieben auch gemacht wird.*

- 5.12. Wenn das Material gelagert hat, kann es weiterverarbeitet werden. Fülle dazu das gesamte vorgeschäumte Polystyrol in die beiden Hälften der Kugelform aus diesem Experimentierkasten. Lege dir schon die Schrauben und Muttern zum Verschließen der Form bereit. Verschließe nun die eine Hälfte mit einem Stück Karton und lege dann die Halbkugelschalen so aufeinander, daß die Bohrungen für die Schrauben übereinstimmen. Jetzt kannst du den Karton herausziehen und die beiden Hälften fest miteinander verschrauben.

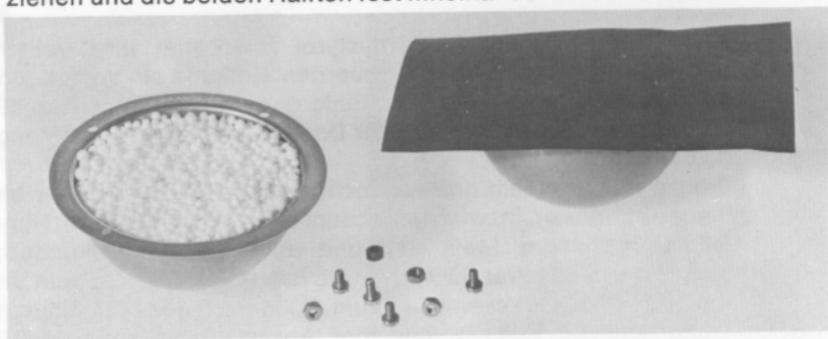


Abb. 24.

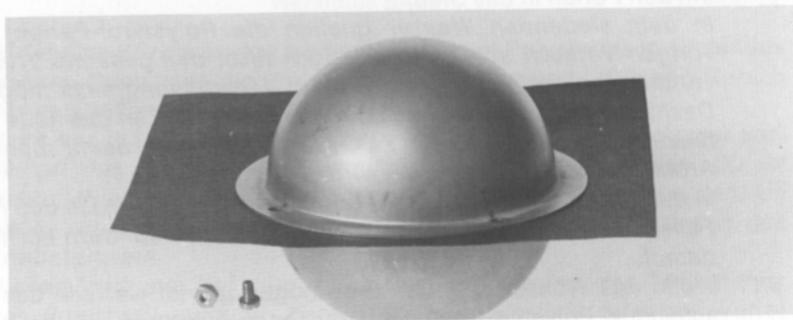


Abb. 25.

Ähnlich wie bei deinem Versuch muß in der Technik für jedes Stück, das aus treibmittelhaltigem Polystyrol hergestellt werden soll (z. B. der Styroporblock dieses Baukastens), zunächst eine Stahlform gefertigt werden. Formen aus anderen Materialien, z. B. aus Kunststoffen, können nicht verwendet werden, da ihre Wärmeleitfähigkeit zu gering ist. Stahl ist auch deshalb notwendig, weil die im Innern der Form auftretenden Kräfte ziemlich groß sind. Daher muß die Form stabil sein.

- 5.13. Lege die fest verschlossene Stahlkugel so weit in den Topf mit kochendem Wasser, daß sie etwa zur Hälfte bedeckt ist. Lege einen Deckel auf den Topf und laß das Wasser etwa 30 Minuten weiter-sieden. Nach dieser Zeit kannst du die Form unter fließendem Wasser kurz abkühlen. Löse dann die Verschraubung und betrachte die fertige Kugel.

*In der verschlossenen Form haben sich die einzelnen Perlen unter Hitzeeinwirkung weiter gedehnt. Da sie gegeneinandergedreht lagerten, wurden sie fest verschweißt. Es entstand also eine zusammenhängende Kugel.*

*Wenn in Industriebetrieben viele gleiche Teile aus treibmittelhaltigem Polystyrol hergestellt werden sollen, so können dafür automatische Maschinen benutzt werden, die in sehr kurzer Zeit ein Formstück fertiggeschäumt haben.*

*Deine Kugel ist noch nicht besonders fest. Den überstehenden Grat, der durch die beiden Formhälften entstanden ist, kannst du durch leichtes Abrollen auf einer Tischplatte andrücken. Das Wasser, das noch in dem geschäumten Stück enthalten ist, muß erst noch entweichen, und erst dann (nach ca. 24 Stunden) erhält die Kugel ihre volle Festigkeit.*

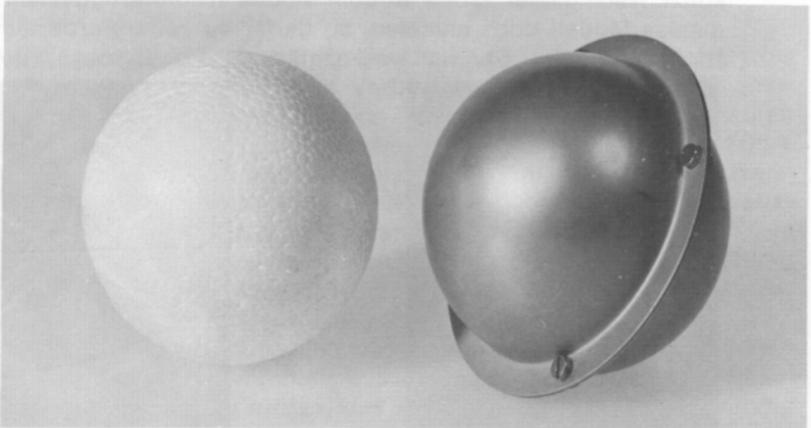


Abb. 26.

5.14. Wenn es dir Freude gemacht hat, eine Kugel aus treibmittelhaltigem Polystyrol zu fertigen, so kannst du dir aus 9 solcher Kugeln ein Modell des Atomiums herstellen, das 1959 zur Weltausstellung in Brüssel gebaut wurde. Dort steht es heute noch als ein neues Wahrzeichen der Stadt (siehe auch Abb. 48–50 auf den Seiten 61–63).

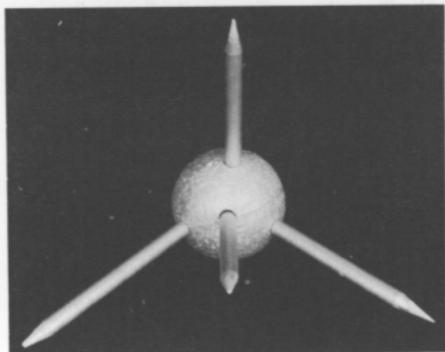


Abb. 27.

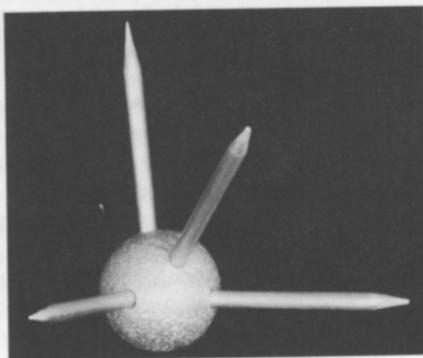


Abb 28.

Das Verfahren des Vorschäumens der übrigen 8 Kugeln kannst du beschleunigen, indem du den Rest des Styropors aus der Dose in zwei Hälften teilst und sie nacheinander vorschäumst. Dann mußt du allerdings eine Kugel nach der anderen ausschäumen. Wenn du sie fertiggestellt hast, mußt du von einer die untere Rundung mit einem Messer abschneiden, damit du das Modell auf eine Platte kleben kannst. Verbinde dann die einzelnen Kugeln nach dem Foto durch ca. 15 cm lange Rundhölzer miteinander. Das Holz läßt sich am besten in die Kugeln drücken, wenn du es wie einen Bleistift anspitzt. Nach dieser Arbeit ist dein Modell schon fertiggestellt. Willst du das Modell noch anmalen, so darfst du keine Farbe auf Nitro-Basis verwenden. Dadurch wird nämlich das Polystyrol gelöst.

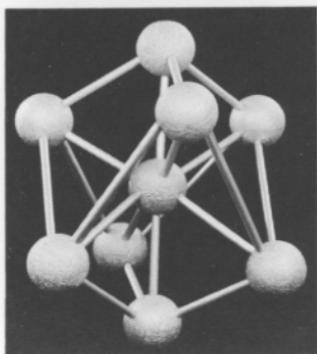


Abb. 29.

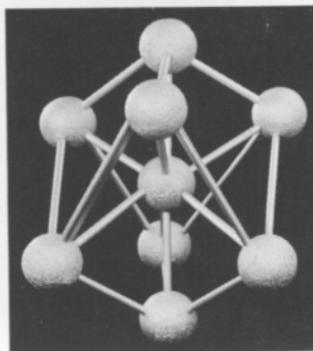


Abb. 30.

- 5.15. Lege deine Handfläche für eine kurze Zeit auf die geschäumte Kugel und danach, zum Vergleich, auf die Stahlform und eine Holzplatte. Was fällt dir auf?

*Die Kugel erscheint viel wärmer als die Stahlform oder die Holzplatte, obwohl alle Gegenstände Raumtemperatur haben. Die vielen Poren und Bläschen, die beim Verdampfen des Treibmittels entstehen, verhindern, daß die Handwärme in das Innere der Kugel weitergeleitet wird. Die Wärme bleibt in der obersten Schicht, und dadurch scheint es, als sei die Kugel warm. In dem Metall wird die Wärme sehr rasch weitergeführt, deshalb scheint das Metall, das du in der Hand hältst, immer kalt zu sein.*

Auf Grund der äußerst geringen Wärmeleitfähigkeit wird das geschäumte Polystyrol sehr gerne und auch häufig zur Wärme- oder Kälteisolierung verwendet. In Kühlschränken z. B. verhindert eine solche Schicht, daß Wärme nach innen dringt, und der Kompressor dadurch unnötig oft arbeiten muß.

Aber nicht nur zur Wärmedämmung wird geschäumtes Polystyrol bevorzugt verwendet, sondern ebenfalls für die Verpackung stoßempfindlicher Güter. Wie der Block dieses Experimentierkastens, in dem die Glassachen stoßgeschützt gelagert sind, zeichnen sich alle Teile aus diesem Material durch ein sehr geringes Eigengewicht aus.

- 5.16. Einen Nachteil hat allerdings dieses treibmittelhaltige Polystyrol. Das kannst du schnell feststellen, wenn du dir etwas Benzin, Aceton oder Nagellackentferner besorgst und in einem Reagenzglas einige der totgeschäumten Teilchen aus Vers. 5.9. damit übergießt.

*Nach kurzer Zeit haben sich die kleinen Kugeln aufgelöst. Du erkennst daran, daß sie gegen einige Chemikalien sehr empfindlich sind: Allerdings gibt es schon spezielle Sorten dieses Kunststoffes, die sehr viel beständiger sind.*

- 5.17. Noch deutlicher erkennst du die Unbeständigkeit des Polystyrols gegen bestimmte chemische Verbindungen, wenn du dir in einer Apotheke oder Drogerie einige Kubikzentimeter Benzol kaufen darfst. Übergieße einige Kügelchen damit und paß gut auf. Führe diesen Versuch auch mit dem Polystyrol-Granulat aus dem Vorratsröhrchen durch. Verschließe die Reagenzgläser mit einem Wattebausch. Beobachte nach etwa einer halben Stunde.

*Das geschäumte Polystyrol löst sich in Sekundenschnelle vollständig in dem Benzol auf. Auch das Standardpolystyrol quillt nach kurzer Zeit in dem Benzol und löst sich dann auf.*

*Wie dieses Polystyrol, so sind auch einige andere Kunststoffe gegen einige chemische Verbindungen sehr unbeständig. Diese Unbeständigkeit kann so weit führen, daß sich die Polymerisate vollständig lösen.*

- 5.18. Wenn du noch verdünnte Salzsäure und verdünnte Natronlauge aus den Versuchen 3.20 und 3.21 nachbehalten hast, so übergieße im Reagenzglas nacheinander geschäumtes Polystyrol und Standardpolystyrol damit. Beobachte nach einigen Stunden.  
*An den beiden Proben sind keine Veränderungen zu bemerken. Wie Polyäthylen ist auch das Polystyrol gegen verdünnte Säuren und Laugen beständig.*
- 5.19. Zum Abschluß dieser Untersuchungen über die Styrolpolymerisate noch ein Versuch, der eigentlich im Kapitel 3 durchgeführt werden müßte. Da du den Stab aus Standardpolystyrol noch in diesem Kapitel benötigst, soll das Experiment an dieser Stelle folgen. Heize den Backofen in eurer Küche auf etwa  $140^{\circ}\text{C}$  auf. Lege dann den Rest des Stabes aus Standardpolystyrol auf einem Stück Blech etwa eine halbe Stunde in den Backofen. Betrachte danach das Ergebnis.

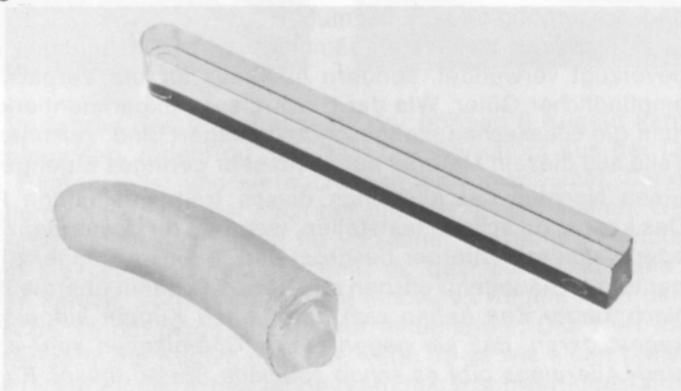


Abb. 31.

*Aus dem Stab ist ein unförmiger Klumpen Kunststoff geworden. Wie konnte das ohne weitere Krafteinwirkung geschehen? Du hast inzwischen gelernt, daß Kunststoffe aus Makromolekülen bestehen, die sich in einer ganz bestimmten Weise lagern wollen, und zwar ziehen sie sich normalerweise zu einem Knäuel zusammen. Beim Spritzguß wurde der Stab so rasch abgekühlt, daß sich die Riesemoleküle nicht mehr in der gewohnten Weise ordnen konnten. Sie „frieren ein“. Wenn der Stab erwärmt wird, so werden die Moleküle wieder beweglich, und nun ziehen sie sich zu einem Knäuel zusammen. Die Kräfte, die dadurch wirksam werden, sind so groß, daß der Stab völlig deformiert wird. Durch solche eingefrorenen Spannungen können natürlich auch andere Spritzgußteile durch Deformation zerstört werden, wenn die Gegenstände zu stark erwärmt werden.*

## 6. Polyvinylchlorid (PVC)

Ein sehr weit verbreiteter und in vielen verschiedenen Zuständen auftretender Kunststoff ist das Polyvinylchlorid. Die Abkürzung PVC ist dir sicher bekannter als der ausgeschriebene Name. Seit etwa 35 Jahren wird es großtechnisch hergestellt, und wie alle anderen Kunststoffe gewann es nach dem 2. Weltkrieg sehr schnell an Bedeutung.

Heute gibt es eine Reihe von Firmen, die das PVC unter folgenden Handelsnamen liefern:

Polyvinylchlorid (PVC)	
Handelsprodukt	Hersteller
Hostalit®	Farbwerke Höchst
Lutofan®	BASF
Mipolam®	Dynamit AG
Vestolit®	Chem. Werke Hüls
Vinidur®	Dynamit AG
Vinnol®	Wacker-Chemie
Vinoflex®	BASF

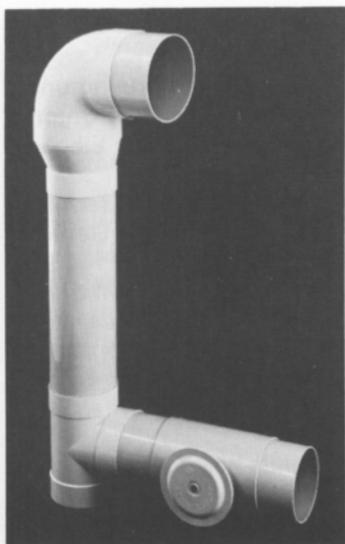


Abb. 32.

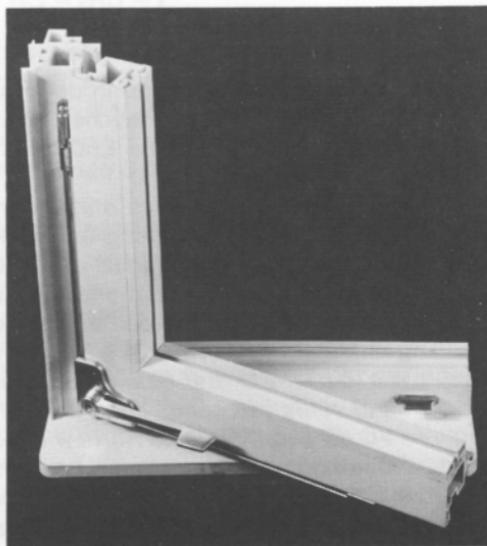


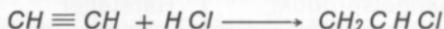
Abb. 33.

Formteile aus PVC Werkfotos BASF

- 6.1. Versuche etwas PVC-Pulver aus dem Vorratsröhrchen auf der Löffel-  
spitze zu entzünden. Rieche vorsichtig an dem entstehenden Rauch.  
Das PVC-Pulver auf dem Löffel läßt sich nur schwer entzünden. Es  
verlöscht meistens sofort, wenn der Löffel aus der Flamme entfernt  
wird. Der Rauch riecht stechend.

Das PVC-Pulver in deinem Experimentierkasten ist nicht reines PVC,  
sondern diesem wurden noch Zusätze beigegeben, deren Bedeutung  
du später erfährst. Es lassen sich nur diese Zusätze entzünden, nicht  
aber das PVC.

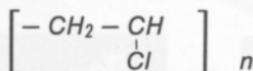
Vinylchlorid, der Grundbaustein für das Makromolekül, wird aus der  
Verbindung Acetylen ( $\text{CH} \equiv \text{CH}$ ) durch Anlagerung von Salz-  
säure ( $\text{HCl}$ ) gewonnen.



Aus der Strukturformel erkennst du, wie die Atome im Vinylchlorid-  
Molekül angeordnet sind.



Durch Polymerisation entsteht aus dem Vinylchlorid das Polyvinyl-  
chlorid, das aus mehreren tausend Grundbausteinen besteht.



- 6.2. Entzünde den PVC-Stab in der Flamme. Achte auf die Färbung und  
auf den Geruch des Rauches. Blase dann die Flamme aus. Unter-  
suche das angebrannte Ende des Stabes, ob es sich noch biegen  
läßt.

Auch der Stab läßt sich entzünden, und er brennt sogar außerhalb  
der Flamme eine Zeitlang weiter. Wieder tritt der stechende Geruch  
auf. Nach dem Abkühlen ist das PVC hart geworden.

Reines PVC ist sehr hart und nicht weich und biegsam wie dein Stab.  
Da man es aber nicht so hart verwenden kann, wird es mit Zusätzen  
gemischt. Sie werden Weichmacher genannt. Dadurch entsteht  
Weich-PVC. Bei deinem Stab brennt also nur der Weichmacher.  
Ist er völlig verbrannt, so erlischt die Flamme. Gleichzeitig erhält das  
PVC die ursprüngliche Härte wieder.

Neben dem Weichmacher enthalten Gegenstände aus diesem Kunst-  
stoff meistens noch weitere Zusätze. PVC ist nämlich unter dem Ein-  
fluß von Licht und Wärme wenig stabil, es kann z. B. spröde werden.  
Es werden deshalb Stabilisatoren zugegeben, die die Beständigkeit  
erhöhen.

- 6.3. Lege den Rest des PVC-Stabes für etwa eine Stunde in das Eiswürfelfach eines Kühlschranks. Untersuche dann, ob sich der Stab noch ebenso gut biegen läßt.

*Nach dem Abkühlen unter den Gefrierpunkt verliert das Weich-PVC seine gummiähnlichen Eigenschaften und wird hart und spröde. Der Weichmacher behält also seine Eigenschaften nur in einem bestimmten Temperaturbereich. Bei sehr starkem Abkühlen läßt sich das weichmacherhaltige PVC leicht zerbrechen.*

- 6.4. Schlage mit einem Hammer auf das Weich-PVC, wenn es Zimmertemperatur hat. Lege es anschließend noch einmal für eine halbe Stunde in das Gefrierfach des Kühlschranks und schlage dann wieder mit einem Hammer darauf.

*Bei Zimmertemperatur ist das Weich-PVC dank seiner gummiähnlichen Eigenschaften unempfindlich gegen Schläge. Wenn aber der Weichmacher seine Wirksamkeit in der Kälte verliert, so läßt sich der Stab leicht zerschlagen; er zerspringt.*

- 6.5. Wenn du nicht sicher bist, ob es sich bei einem unbekanntem Kunststoff um PVC handelt oder nicht, kannst du das mit einer kleinen Probe leicht feststellen. Besorge dir dazu ein etwa 10 cm langes Stück Kupferdraht. Entferne die Isolierung. Halte den Draht nun mit einer Wäscheklammer in die Flamme und glühe ihn aus. Tauche dann das heiße Metall in das PVC-Pulver und halte es wieder in die Flamme. Was fällt dir auf?

*Die Flamme wird deutlich grün gefärbt. Diese Färbung läßt allerdings nach einiger Zeit nach. Mit dem Stab aus PVC kannst du überprüfen, ob du in der Flamme auch diese Erscheinung erkennen kannst. Du mußt allerdings jedes Mal den Kupferdraht vorher ausglühen, damit etwas von der Untersuchungssubstanz daran hängen bleibt. Diesen kleinen Test nennt man Beilstein-Probe.*

Verwendung des PVC:

Weil man dem PVC durch verschiedene Zusätze eine Vielzahl von Eigenschaften geben kann, zählt man es heute mit zu den am weitesten verbreiteten Kunststoffen. Allerdings wird es schon in manchen Bereichen durch das Polyäthylen verdrängt.

Heute werden aus PVC z. B. noch Rohrleitungen für die verschiedensten Zwecke gefertigt. Sie zeichnen sich aus durch ihr geringes Gewicht und ihre große Widerstandsfähigkeit gegenüber allen schädigenden Einflüssen. Daneben aber wird es ebenso für Kabelummantelungen verwendet wie für Kunststoffbezüge in Kraftfahrzeugen. Auch Tischtücher, Vorhänge und Folien können daraus hergestellt werden.

## 7. Ungesättigte Polyester-Harze (UP-Harze)

Sicher kannst du dir unter dem Namen „ungesättigte Polyester-Harze“ nicht viel vorstellen. Vielleicht hast du aber schon einmal von „Gießharzen“ oder „Zwei-Komponenten-Harzen“ gehört, eventuell sogar schon damit gearbeitet. Bei allen diesen Namen handelt es sich um chemische Verbindungen, die in der Gruppe der ungesättigten Polyester-Harze zusammengefaßt sind. Auch sie gehören zu den Kunststoffen. Solche Harze werden von vielen Herstellern unter verschiedenen Handelsnamen vertrieben.

UP-Harze	
Handelsprodukt	Hersteller
Beckopol®	Reichhold-Chemie
Leguval®	Farbenfabriken Bayer
Palatal®	BASF
Polyleit®	Reichhold-Chemie

Daneben gibt es noch eine Vielzahl von Handelsnamen. Dabei handelt es sich meist um Firmen, die die UP-Harze vom Hersteller beziehen und mit einem eigenen Namen versehen.

### Sehr wichtiger Hinweis

Bei der Arbeit mit UP-Harzen mußt du sehr darauf achten, daß du möglichst kein Harz und vor allem keinen Härter auf die Hand bekommst. Sollte es doch geschehen, so mußt du mit viel Wasser gründlich abspülen.

Am besten wäre es, wenn du deine Augen mit einer Brille schützt. Reibe vor allem nicht in den Augen, wenn du Harz oder Härter an den Fingern hast. Arbeite bei etwas geöffnetem Fenster.

Achte darauf, daß kein offenes Feuer in der Nähe deines Platzes brennt.

Zum Mischen des Gießharzes mit dem Härter benötigst du entweder eine Konservenmilchdose, von der du den Deckel abgeschnitten hast, oder mehrere Joghurt-Becher. Stelle dir diese Gefäße schon bereit.

- 7.1. Bevor du die Gießformen verwendest, die diesem Experimentierkasten beiliegen, sollst du zunächst eine Form selbst herstellen, um einen Stab aus UP-Harz zu gießen. Dazu kannst du entweder Knetwachs oder Gips benutzen. Drücke in das Wachs oder in die weiche Gips-Masse (in einer Schachtel) den Polyamid 6-Stab so weit ein, daß seine Oberfläche mit der Formmasse abschließt. Aus dem Wachs kannst du dann den Stab wieder vorsichtig herausnehmen, aus dem Gips erst nach dessen Aushärten. Streiche nun das Innere der Stabform mit Bohnerwachs ein, so daß eine zusammenhängende Schicht entsteht.
- 7.2. Aus UP-Harz und Härter sollst du nun einen Stab gießen, um die Eigenschaften dieses Kunststoffes untersuchen zu können. Gib aus der Vorratsdose so viel UP-Harz in die kleine Konservendose, daß der Boden etwa 5 mm hoch bedeckt ist. Presse dann aus der Tube mit dem Härter einen etwa 2–3 mm langen Streifen auf die Spitze eines Holzstückes. Rühre mit dem Stock den Härter gut in das Harz ein, bis er nicht mehr zu erkennen ist. Fülle nun mit dem Gemisch die Form aus. Achte darauf, daß nichts überläuft. Wenn etwas übrigbleibt, so laß den Rest in der Dose. Beobachte nach etwa 10–20 Minuten genau die Oberfläche des Harzes. Nimm den Stab, wenn er völlig fest ist, aus der Form heraus. Betrachte auch den Rückstand in der Dose.

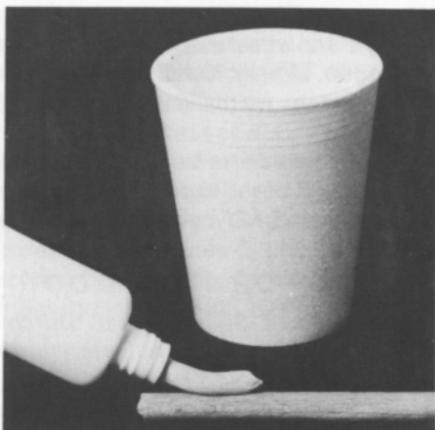


Abb. 34.

*Nach ca. 10–20 Minuten, wenn du sehr viel Härter genommen hast, auch etwas früher, wellt sich die Oberfläche des Harzes leicht. Das ist das äußere Merkmal dafür, daß der Härtingsprozeß beginnt. Diese Phase bezeichnet man als G e l i e r e n. Nach etwa 1–2 Stunden ist der Prozeß des Härtens beendet, der Stab ist dann fest.*

Das Festwerden des Gießharzes nach der Härterzugabe ist kein „Trocknen“, wie du es vielleicht von einigen Ölfarben her kennst. Durch den Härter wird eine chemische Reaktion hervorgerufen, deren Endprodukt ein anderes ist, als es die beiden Ausgangsstoffe waren. Dir ist sicher deutlich geworden, daß man das Harz und den Härter nicht „auf Vorrat“ mischen kann. Das darf erst unmittelbar vor der Verarbeitung geschehen. Du solltest niemals mehr Harz mit einem Härterzusatz versehen, als du gerade benötigst. Sonst mußst du unnötig viel davon wegwerfen.

- 7.3. Untersuche deinen selbstgefertigten Stab. Prüfe die Oberflächen, die Farbe und den Glanz.

Die Flächen, die nicht der Lufteinwirkung ausgesetzt waren, sind hart und glänzend blank. Die Fläche aber, zu der die Luft Zutritt hat, ist etwas klebrig. An dieser Stelle reagiert das Harz mit dem Sauerstoff der Luft und kann deshalb nicht vollständig aushärten, wie dieser Vorgang bezeichnet wird. Bei späteren Gießversuchen kommt es also darauf an, die Oberfläche mit einer Glasscheibe oder mit einer Cellophan-Folie abzudecken. Willst du das nicht, so kannst du die klebrige Schicht mit Sandpapier abschleifen.

Die UP-Harze, die für Gießversuche verwendet werden, sind fast immer farblos.

- 7.4. Schlage mit einem Hammer leicht auf den Stab aus UP-Harz. Was stellst du fest?

Das ausgehärtete Harz ist sehr spröde und läßt sich leicht mit einem Hammer zerschlagen. Dieser Kunststoff kann also ohne Zusätze nur dort verwendet werden, wo es nicht auf hohe Schlagfestigkeit ankommt.

Die ungesättigten Polyester-Harze werden in zwei Stufen hergestellt. Zunächst muß man aus einer organischen Säure, z. B. Maleinsäure, und einem Alkohol, z. B. Glycerin, einen Ester herstellen. Dieser Ester hat die Formel



Ein solcher Ester wird in Styrol gelöst. Durch weitere technische Prozesse beginnt das Styrol zu polymerisieren, wie du es beim Polystyrol bereits kennengelernt hast. In diese Kette wird nun der Ester mit eingebaut, und daraus entsteht ein ungesättigter Polyester.

- 7.5. Entzünde den Stab aus UP-Harz an der Kerzenflamme. Achte darauf, ob er sich ebenso beim Verbrennen verhält wie die übrigen Stäbe, mit denen du die Brennprobe bereits durchgeführt hast.

Das UP-Harz verbrennt gut mit gelber, leuchtender Flamme unter Knistern. Im Gegensatz zu den übrigen Kunststoffen schmilzt es aber gar nicht, sondern es zersetzt sich völlig.

*UP-Harz gehört mit einigen anderen Kunststoffen zu einer Gruppe von Verbindungen, die man **Duroplaste** nennt (duro = hart). Das hervorragende Merkmal dieser Duroplaste ist, daß sie beim Erhitzen nicht erweichen, sondern sich bei genügend hoher Temperatur direkt zersetzen.*

*Die Kunststoffe aber, die beim Erwärmen schmelzen und flüssig werden, faßt man zu der Gruppe der **Thermoplaste** zusammen. Dazu gehören alle die Kunststoffe, die du bereits in diesem Experimentierkasten kennengelernt hast.*

- 7.6. Nachdem du nun einiges über UP-Harze und ihre Verarbeitung gelernt hast, kannst du selbst beginnen, kleine Gegenstände in Gießharz einzubetten.

Beginne möglichst mit einer kleinen Form, um erst einmal Übung zu bekommen. Streiche sie auch wieder mit Bohnerwachs ein, damit sich der Gießling leicht aus der Form lösen läßt. Vorher solltest du aber noch die Form mit Wasser füllen und dieses Wasser in deine Dose gießen. Wenn du dir eine Markierung an der Seitenwand machst, so weißt du, wieviel Harz du für diesen Versuch benötigen wirst. Gieße dann das Wasser fort. Willst du keinen Gegenstand eingießen, so rühre das Harz wie in Vers. 7. 2. mit etwa 1 mm Härterpaste an und fülle es dann in die Gießform. Nach dem völligen Aushärten des Harzes kannst du den Gießling herausnehmen. Sollte er sich einmal nicht lösen, so stelle die Form etwa eine halbe Stunde in das Eisfach eines Kühlschranks. Dann löst er sich bestimmt.

- 7.7. Wenn ein Gegenstand, z. B. eine Münze, eine Muschel, eine Glasperle o. ä., in Gießharz eingebettet werden soll, so mußt du anders vorgehen. Suche dir zunächst einmal eine Form aus, in die das Stück gerade hineinpaßt. Prüfe auch, ob sie hoch genug ist.

Probiere nun wieder mit Wasser aus, wieviel Harz du für eine etwa 2–3 mm hohe Schicht in der Form benötigst. Mische **nur soviel** Harz mit etwa 1 mm Härter und gieße es in die Form. Erst wenn diese Schicht geliert, kannst du den Gegenstand vorsichtig darauflegen. Eine Münze oder ein unebenes Stück muß du vorher noch an der Unterseite mit Harz bestreichen, damit sich keine Luftblasen darunter bilden. Wenn das geschehen ist, rührst du so viel Harz an, daß der

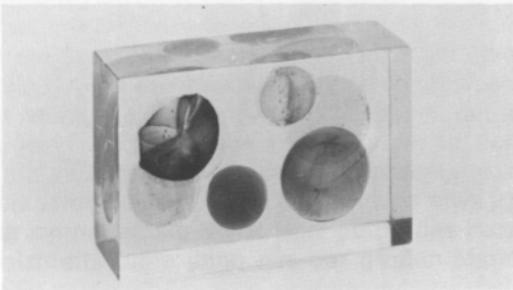


Abb. 35.

Gegenstand mindestens 2–3 mm unter der Oberfläche liegt, und gießt es in die Form.

Während des Aushärtens darf die Form nicht bewegt werden, da sich sonst Schlieren in dem Block bilden.

Dir ist sicher schon aufgefallen, daß du immer nur sehr wenig Härterpaste verwenden sollst. Das hat seinen Grund: Beim chemischen Vorgang des Aushärtens erwärmt sich nämlich das Harz, und zwar um so stärker, je mehr Härter du hinzufügst. Die Hitze kann dann so groß werden, daß der Gießharzblock reißt. Zwar wird die chemische Reaktion durch den Härter beschleunigt; aber welchen Vorteil hast du durch schnellere Härtung, wenn anschließend das Gußstück zerstört wird?

7.8. Die klebrige Oberfläche – falls du nicht mit einer Folie oder Glasplatte abgedeckt hast – muß noch geschliffen werden. Dazu benötigst du Sandpapier verschiedener Körnung. Zunächst muß mit 60er Papier gearbeitet werden, bis die Fläche völlig eben ist. Dann wird nacheinander mit Sandpapier 100, 120 und 200 immer so lange geschliffen, bis die Kratzspuren vom vorigen Arbeitsgang beseitigt sind. Zum Abschluß mußt du noch mit Naßschleifpapier (400) vorgehen. Zum endgültigen Polieren wird Schlämmkreide (aus einer Drogerie) mit wenig Wasser zu einem dicken Brei verrührt. Diesen Brei trägst du dann auf die Flächen auf und reibst kräftig mit einem weichen Lappen, bis alle Kratzspuren beseitigt sind.

Du kannst nun noch verschiedene Gegenstände nach diesen Arbeitshinweisen einbetten. Wenn du aber noch das Bootsmodell bauen willst, so mußt du dafür etwa ein Viertel der gesamten Harzmenge nachlassen.

Noch ein Rat zum Abschluß: Wenn du Blumen oder Gräser o. ä. einbetten willst, so mußt du das Harz beim Einfüllen in die Form gut über die Pflanze laufen lassen, damit sich daran keine Luftblasen bilden.



Abb. 36.

## 8. Glasfaserverstärkte Kunststoffe (GFK)

Die Gruppe der glasfaserverstärkten Kunststoffe gewinnt heute in zunehmendem Maße an Bedeutung. Bestimmt hast du schon davon gehört, daß Fahrzeugkarosserien und Boote aus Kunststoffen hergestellt werden. Dafür werden fast immer glasfaserverstärkte Kunststoffe verwendet. Doch das ist nur ein kleiner Bereich. Zusätzlich werden nämlich noch Lichtmasten, Bahnschranken, Verkehrshinweistafeln und viele andere Teile des täglichen Lebens daraus gefertigt.

Welche Vorteile und Eigenschaften diese glasfaserverstärkten Kunststoffe besitzen und wie man sie verarbeitet, sollst du in diesem Kapitel erfahren.

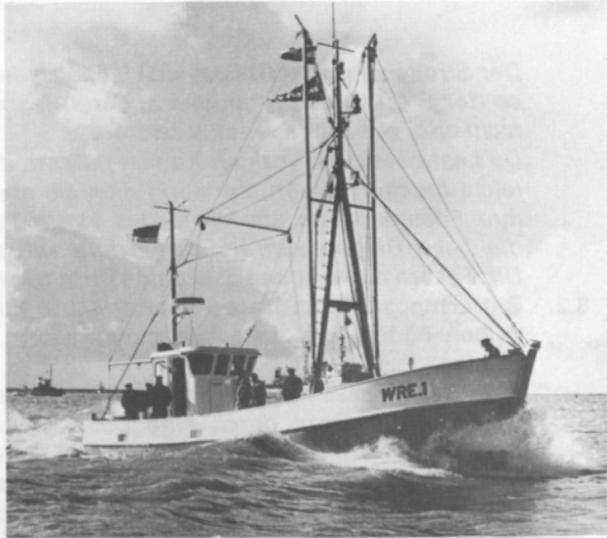
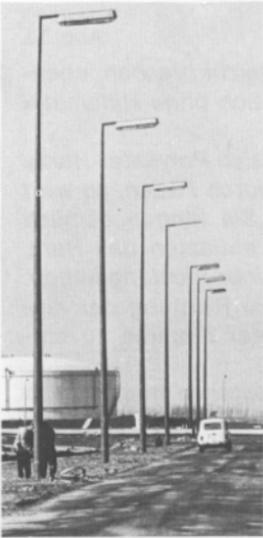


Abb. 37.

Anwendungsbeispiele für GFK

Werkfotos BASF

Abb. 38.

- 8.1. Besorge dir ein Holzbrett von ca. 15 cm Länge und 10 cm Breite. Reibe es gut mit Bohnerwachs ein. Schneide dir nun zwei Streifen von 15 x 1 cm aus sehr steifer Pappe und 5 Streifen von 8 x 1 cm. Befestige sie gut mit Stecknadeln auf dem eingewachsenen Holzbrett. Setze nun wenige Kubikzentimeter Gießharz mit einer geringen Härtermenge an und gieße es in die vier Felder auf dem Holzbrett. Schneide mit einer Schere aus der Glasfasermatte, die diesem Experimentierkasten beiliegt, einen Streifen von etwa 2,5 cm x 8 cm ab und drücke ihn mit einem Stück Holz gut in das Harz im Feld 1 auf deinem Holzbrett. Zupfe dann aus der großen Matte einige Fäden

heraus. Lege diese in Feld 2 nur längs und im Feld 3 nur quer. Tupfe dann die Fasern in das Harz. Das Feld 4 erhält keinen Zusatz. Laß das Harz aushärten. Nimm dann die vier Streifen von dem Brett und biege sie kräftig in der Querrichtung. Was stellst du fest?

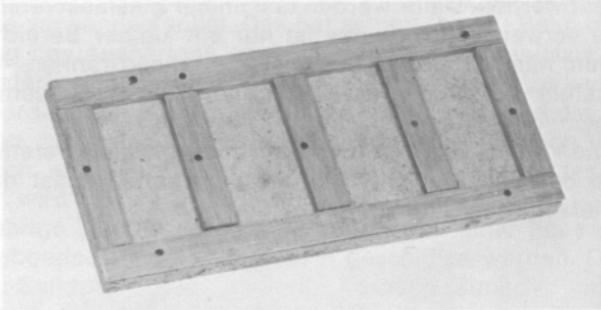


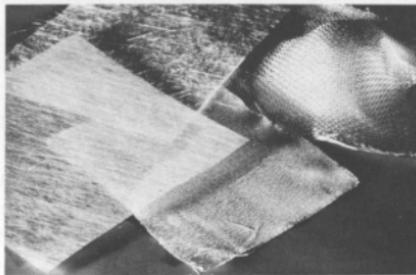
Abb. 39.

*Der Streifen 4 (ohne Glasfasern) läßt sich sehr leicht brechen, ebenso der Streifen 3. Die beiden anderen lassen sich ohne Hilfsmittel nicht oder nur sehr schwer zerstören.*

*Du hast bereits im vorigen Kapitel gelernt, daß sich Polyester-Harze leicht brechen lassen. Verstärkt man sie aber durch Fäden, so wird ihre Festigkeit um ein Vielfaches vergrößert. Sie fangen nämlich die beim Biegen auftretenden Kräfte auf und entlasten das Harz.*

- 8.2. Betrachte gut die Glasfasermatte. Achte auf die Richtung der einzelnen Fäden. Versuche, ein paar Fasern in der Flamme zu entzünden.

*Die Fasern lassen sich nicht entzünden. Sie bestehen nämlich aus Glas, das erwärmt durch eine Düse gepreßt wird. Diese Fäden werden dann zu Fasern zerschnitten. In der Matte liegen die Fasern kreuz und quer. Dadurch können glasfaserverstärkte Kunststoffe in alle Richtungen belastet werden, und nicht wie deine Streifen 2 und 3 aus dem vorigen Versuch nur in eine Richtung.*



Werkfoto BASF

Abb. 40.

Außer den Matten, bei denen die Fasern mit einem Bindemittel zusammengepreßt werden, gibt es auch noch Rovinggewebe. Sie verleihen dem Harz eine noch größere Festigkeit als Matten.

- 8.3. Du kannst dir den Rumpf eines Modellbootes nach dem Handverfahren selbst herstellen. Dazu benötigst du aber, wie immer bei diesem Verfahren, eine Form. Stelle sie zunächst her. Schneide dazu die Rumpfteile aus dem Karton aus, der diesem Experimentierkasten beiliegt. Klebe den Kielansatz (B) mit Alleskleber am Boden (A) fest. Achte darauf, daß der Kielansatz (B) nach unten gewölbt wird. Am hinteren Ende mußt du ihn mit dem kleinen Teil (C) verschließen. Nun können die beiden Seitenteile (D) am Boden befestigt werden und zum Abschluß der Heckspiegel (E).

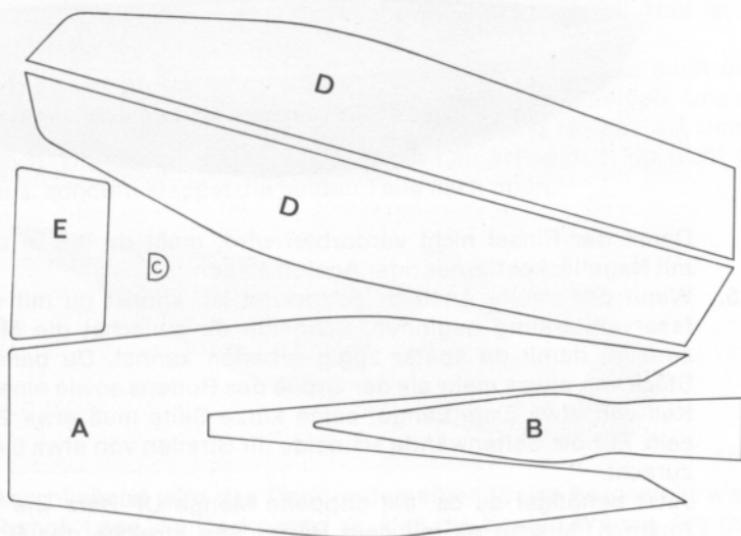


Abb. 41.

Bemühe dich, den Rumpf möglichst einwandfrei zu formen. Davon hängt es zum großen Teil ab, ob das Modell nach der Fertigstellung symmetrisch ist.

Wenn der Alleskleber fest ist, so klebe über alle Nähte von außen Isolierband oder Tesafilm, so daß der Rumpf völlig dicht ist. Andernfalls läuft das Harz heraus.

- 8.4. Nach der Fertigstellung der Form wird der Karton von innen gut mit Bohnerwachs eingestrichen. Dein Boot entsteht nämlich im Innern der Form, und deshalb muß sich die Pappe nach der Vollendung gut von dem Harz lösen lassen.

Gieße in eine kleine Konservendose so viel Harz, daß der Boden knapp 1 cm hoch bedeckt ist. Dazu wird etwa 1 cm Härterpaste aus der Tube gerührt. Streiche nun sorgfältig mit einem kräftigen Pinsel die Form von innen mit dem UP-Harz ein, bis der Ansatz verbraucht ist. Bei diesem Anstrich mußt du sehr aufpassen, weil die erste Harzschicht nach dem Lösen der Kartonform die Außenhaut deines Bootsrumpfes bildet.

Wenn der erste Anstrich völlig getrocknet ist, setze dir noch einmal UP-Harz mit derselben Härtermenge an und streiche wieder sorgfältig auf den ersten Überzug.

Mit diesen beiden Schichten erhältst du später eine glatte und durchgehende Außenhaut.

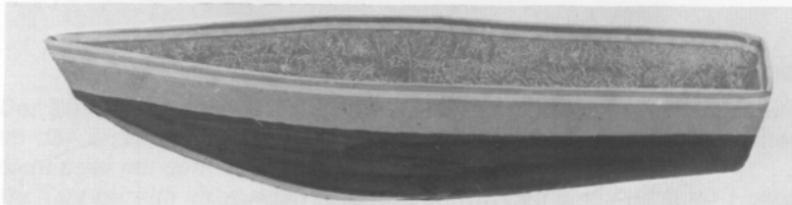


Abb. 42.

Damit der Pinsel nicht verdorben wird, mußt du ihn in ein Gefäß mit Nagellackentferner oder Aceton stellen.

- 8.5. Wenn der zweite Anstrich getrocknet ist, kannst du mit der Glasfaserverstärkung beginnen. Schneide dir zunächst die Mattenteile zurecht, damit du später zügig arbeiten kannst. Du benötigst ein Stück von etwas mehr als der Größe des Bodens sowie einen kleinen Keil von etwa 6 cm Länge; seine kurze Seite muß etwa 2 cm breit sein. Für die Seitenwände schneide dir Streifen von etwa 5 cm Breite zurecht.

Jetzt benötigst du ca. die doppelte Menge UP-Harz wie für jeden Anstrich. Mische es mit dem Härter und streiche das Boot innen dünn damit ein. Lege zuerst den Keil in den Kielansatz, und zwar so, daß die Spitze zum Bug zeigt. Drücke dieses Mattenstück gut fest, so daß keine Blasen zu sehen sind, und streiche es dann mit Harz ein. Anschließend muß der Boden in derselben Weise gelegt, fest angepreßt und dann mit Harz getränkt werden. Achte darauf, daß die Bodenmatte etwas an den Seitenwänden hochreicht, die anschließend eingepaßt werden. Auch die Seitenwände sollen übereinanderlappen. Schneide überstehende Glasfasern möglichst gleich mit einer Schere an der Oberkante der Form ab. Später geht es nicht so leicht.

Wenn die Seitenwände und das Heck getränkt und angepreßt worden sind, muß das Harz völlig aushärten.

- 8.6. Nach dem Aushärten kannst du vorsichtig das Isolierband und danach die Pappe von deinem GFK-Rumpf entfernen. Jetzt zeigt es sich, ob du die Matten sorgfältig angepreßt hast. Dann dürfen nämlich keine Blasen zu sehen sein. Unebenheiten an den Seiten und überstehende Fasern an der Oberkante kannst du mit Sandpapier abschleifen. Erst wenn das geschehen ist, solltest du mit dem Anmalen des Rumpfes beginnen. Um die Wasserlinie zu markieren, laß den Rumpf schwimmen und kennzeichne an jeder Seite am Bug und am Heck den Wasserstand mit einem Bleistiftstrich. Klebe dann Tesafilm oder Isolierband so auf den Rumpf, daß die Unterkante gerade mit dem Bleistiftstrich abschließt. Nun kannst du den Unterwasserteil mit Ölfarbe lackieren. Nach 2–3 Tagen klebst du einen Streifen auf die Lackfarbe – genau an der Trennlinie – und streichst den Überwasserteil. Nun ist dein Rumpf fertig.
- 8.7. Wenn du das Boot mit einem Deck versehen willst, so mußst du dir ein Stück Pappe von der Größe des Rumpfes schneiden. Lege ihn dazu mit dem Kiel nach oben auf die Pappe und zeichne die Umriss nach. Die Öffnung für den Fahrgastraum schneidest du nicht ganz aus, sondern klappt die beiden Teile nach oben.

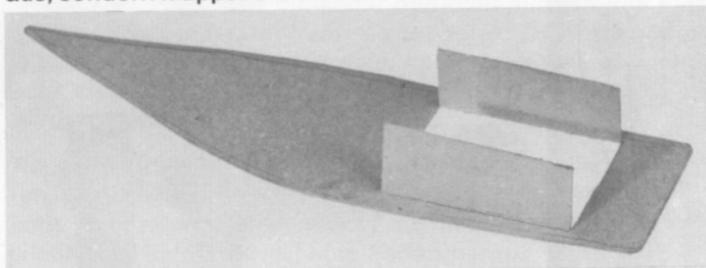


Abb. 43.

Anschließend wird das Deck in derselben Weise hergestellt wie der Rumpf. Lege die Deckpappe so, daß die beiden Wände des Innenraumes nach oben zeigen. Und nun mußst du wieder folgende Arbeitsgänge ausführen:

Die Pappe mit Bohnerwachs einstreichen

Zweimaliger Anstrich mit UP-Harz

Dritter Anstrich und Auflegen der Glasfasermatte

Anpressen und Tränken der Matte

Nach dem Aushärten wird das Deck mit wenig Harz und Härter mit dem Rumpf „verklebt“.

Wenn dein Boot gut gelungen ist, kannst du es nun mit einem kleinen Außenbordmotor fahren lassen. Aber auch eine Schraube läßt sich befestigen, wenn du in den Kielansatz ein Loch für das Stevenrohr bohrst.

## 9. Polyamide (PA)

Der letzte Stab, den du noch näher untersuchen sollst, ist der aus Polyamid 6. Neben diesem PA 6 gibt es noch einige andere Polyamide. Sie werden dank besonderer Eigenschaften u. a. zu Zahnrädern, Gehäusen von Bohrmaschinen, Schiffsschrauben, Rollen und Lagern verarbeitet. Die Handelsnamen für einige Polyamide kannst du der folgenden Übersicht entnehmen.

Polyamide (PA)	
Handelsprodukt	Hersteller
Durethan®	Farbenfabrik Bayer
Enkalon®	Enkalon
Grilon®	Ems
Ultramid®	BASF

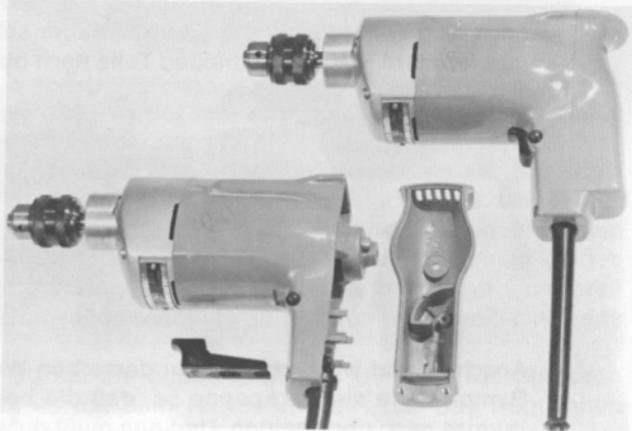
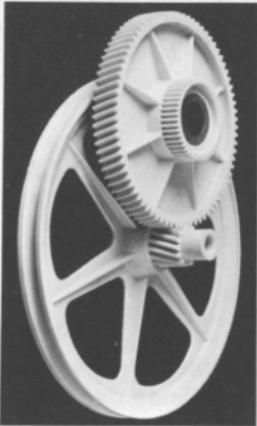


Abb. 44.

Werkfotos BASF Formteile aus PA

Abb. 45.

- 9.1. Halte den Stab aus PA 6 in die Kerzenflamme. Vergiß nicht, die Kerze auf eine Unterlage zu stellen.

*Polyamid 6 läßt sich nicht entzünden. Es schmilzt nur und dabei fallen schwarze Tropfen herab. Im Gegensatz zu vielen anderen Thermoplasten, die keinen Schmelzpunkt haben, sondern in einem weiten Temperaturbereich allmählich flüssig werden, hat das Polyamid 6 einen sehr engen Schmelzbereich. Der Stab ändert in heißem Wasser z. B. überhaupt nicht seine Eigenschaften, weil der Schmelzbereich bei über 200° C liegt.*

- 9.2. Schlage mit einem Hammer kräftig auf den PA 6-Stab, der auf einer Steinunterlage liegt. Achte darauf, ob ein Abdruck des Hammers zu sehen ist.

*Das Polyamid 6 zerspringt nicht, auch nicht bei sehr kräftigen Schlägen. Der Hammer hinterläßt so gut wie keine Spuren auf dem Stab. Durch diese sehr hohe Schlagfestigkeit und die Eigenschaft des PA 6, beim Erwärmen nicht langsam flüssig zu werden, ist der Kunststoff besonders geeignet für Maschinenteile. In einigen Kraftfahrzeugmotoren werden schon lange Zahnräder aus PA 6 verwendet.*

- 9.3. Erwärme noch einmal den Stab in der Kerzenflamme und nimm ihn heraus. Drücke dann schnell in die flüssige Masse ein Streichholz und ziehe es weit von dem Stab ab. Was fällt dir auf?

Vielleicht mußt du mehrmals probieren.

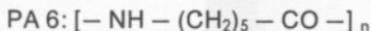
*Aus der flüssigen Masse des PA 6-Stabes lassen sich leicht sehr lange und sehr dünne Fäden herausziehen, die allerdings bei dieser einfachen Herstellungsmethode nicht besonders haltbar sind. Trotzdem wird dieser Kunststoff sehr viel verwendet, um daraus Chemiefasern herzustellen. Du hast bestimmt schon davon gehört, denn sie werden als Perlon<sup>®</sup> entweder rein oder mit anderen Fasern in unzähligen Produkten im Handel angeboten. Die Fasern der Handelsprodukte sind natürlich sehr viel haltbarer. Dafür werden aber auch sehr viele dünne Fasern zu einem Faden versponnen. Dieser erst wird zu Stoffen verarbeitet.*

- 9.4. Noch deutlicher kannst du das Fadenziehen bei dem PA 6,6 beobachten, das in einem Vorratsröhrchen diesem Experimentierkasten beiliegt. Erhitze einige Körnchen davon auf einem Löffel und ziehe wieder mit einem Streichholz Fäden heraus. Achte auch darauf, ob sich das PA 6,6 entzündet.

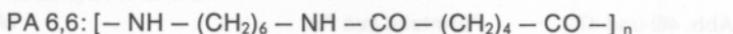
*Das PA 6,6 entzündet sich ebenfalls nicht. Dafür lassen sich aber aus der Schmelze sehr gut Fäden ziehen, die z. T. mehr als einen Meter lang werden.*

*Auch das PA 6,6 wird zu Fäden verarbeitet, die du unter dem Namen Nylon kennst.*

*Der Unterschied zwischen Polyamid 6 und dem Polyamid 6,6 besteht in ihrem chemischen Aufbau, wie du aus den beiden Formeln erkennen kannst.*



*Neben der Bezeichnung Polyamid 6 ist auch die chemische Bezeichnung Polycaprolactam üblich.*





## 10. Harnstoff-Formaldehyd-Harz (UF)

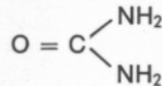
Ein Kunststoff ganz anderer Art ist der Leim, der in einem Vorratsröhrchen diesem Experimentierkasten beiliegt. Er ist zwar ebenso eine chemische Verbindung, die sich aus Makromolekülen zusammensetzt, aber trotzdem besteht ein Unterschied, z. B. zum Polyamid. Dieser Leim ist nämlich nicht, wie die Kunststoffe, die du bei deinen Experimenten kennengelernt hast, synthetisch hergestellt, sondern Ausgangsmaterial ist ein Naturprodukt, nämlich der Harnstoff. Dieser Harnstoff, der auch mit dem Urin des Menschen ausgeschieden wird, ist das Ausgangsprodukt für eine Reihe von Kunststoffen. Allerdings wird der Harnstoff für industrielle Zwecke synthetisch hergestellt.

Harnstoff-Formaldehyd-Harz (UF)	
Handelsprodukt	Hersteller
Carbalite®	Bakelite-Gesellschaft
Beckamin®	Reichhold Chemie
Beckuro®	Reichhold Chemie
Iporka®	BASF
Kaurit®	BASF
Plastopal®	BASF
Urecol®	BASF

- 10.1. Entzünde auf einem Teelöffel etwas von dem Leim. Achte auf die Veränderung und prüfe den Geruch des Rauches.

*Der Leim läßt sich nicht entzünden, er schmilzt nicht einmal. Der weiße Kunststoff verkohlt nur, so daß ein schwarzer Rückstand nachbleibt. Der Rauch läßt sich etwa mit dem Geruch von verbranntem Toastbrot vergleichen. Da der Leim nicht schmilzt, erkennst du, daß es sich um einen Kunststoff aus der Gruppe der Duroplaste handelt.* Dieser Leim trägt die chemische Bezeichnung Harnstoff-Formaldehyd-Harz. Er setzt sich nämlich aus den beiden Verbindungen Harnstoff und Formaldehyd zusammen.

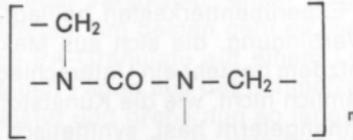
Harnstoff:  $\text{CO}(\text{NH}_2)_2$



Formaldehyd:  $\text{HCHO}$



Der Formaldehyd bildet die Brücke zwischen den Harnstoffmolekülen. Dabei wird Wasser abgespalten.



10.2. Mische etwas von dem Leim mit wenig Wasser zu einem dicken Brei. Verreibe ein bißchen zwischen den Fingern.

*Der Brei wird zwischen den Fingern klebrig. Wenn du allerdings sehr viel Wasser hinzugibst, so verliert sich diese Eigenschaft. Der Harnstoff-Formaldehyd wird in Form eines dicken, weißen Breis als Holzleim verwendet. Sein besonderer Vorzug gegenüber Klebern liegt darin, daß nach dem Aushärten eine viel dauerhaftere Verbindung zwischen den verleimten Hölzern besteht. Allerdings dauert das Trocknen unter Druck länger als bei Klebern.*

Verwendung der UF-Harze:

Die Harnstoff-Formaldehyd-Harze werden nicht nur als Leime benutzt. Viel häufiger werden sie etwa in der Elektroindustrie zum Herstellen von Lichtschalter- und Steckdosenabdeckungen verwendet. Dazu werden ihnen aber noch Füllstoffe beigemischt, ohne die sie sehr schnell zerspringen würden. Diese Füllstoffe können Holzmehl, kurze Textilfasern, Zellulose (Watte) und Gesteinsmehl sein. Nebenbei werden auch Küchenmöbel häufig mit solchen gefüllten Harnstoff-Formaldehyd-Harzen beschichtet.

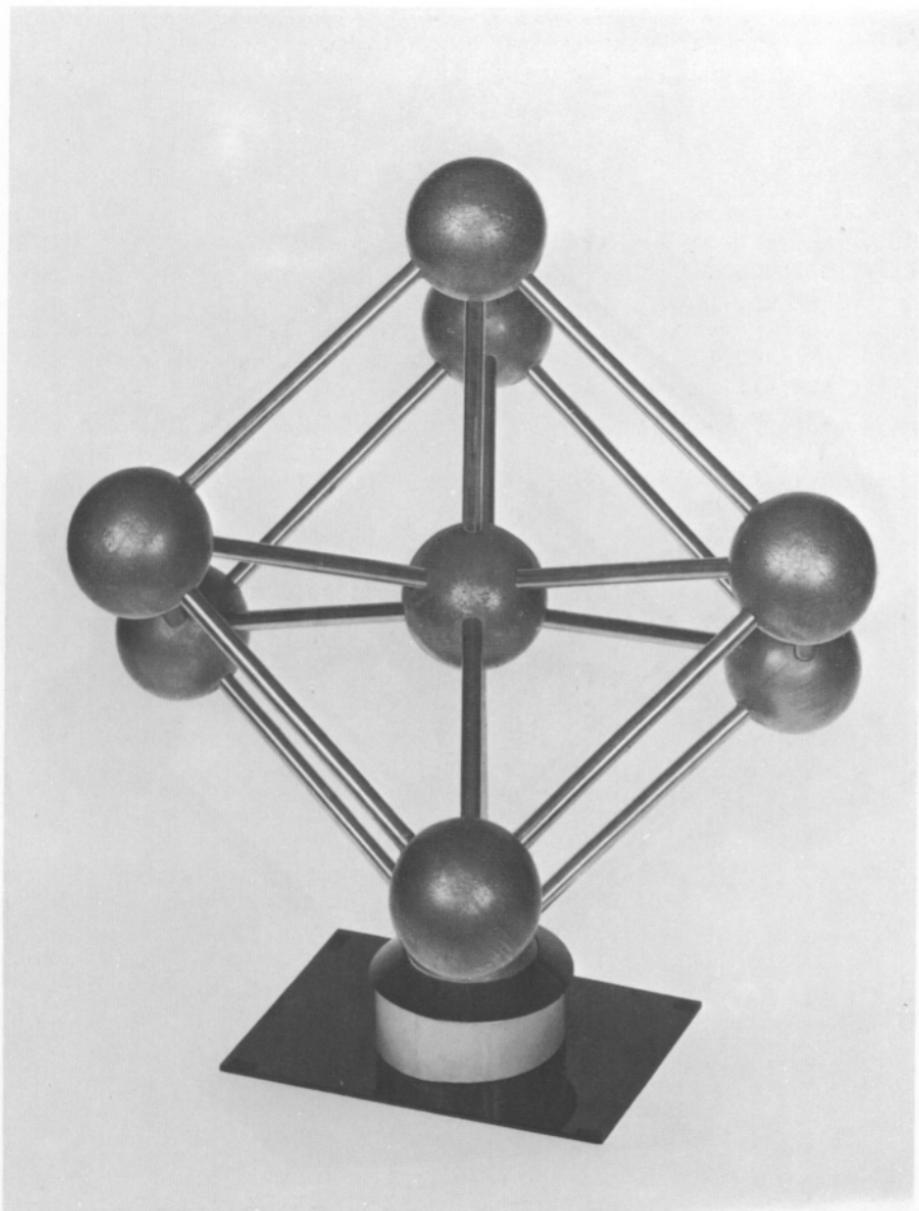


Abb. 48

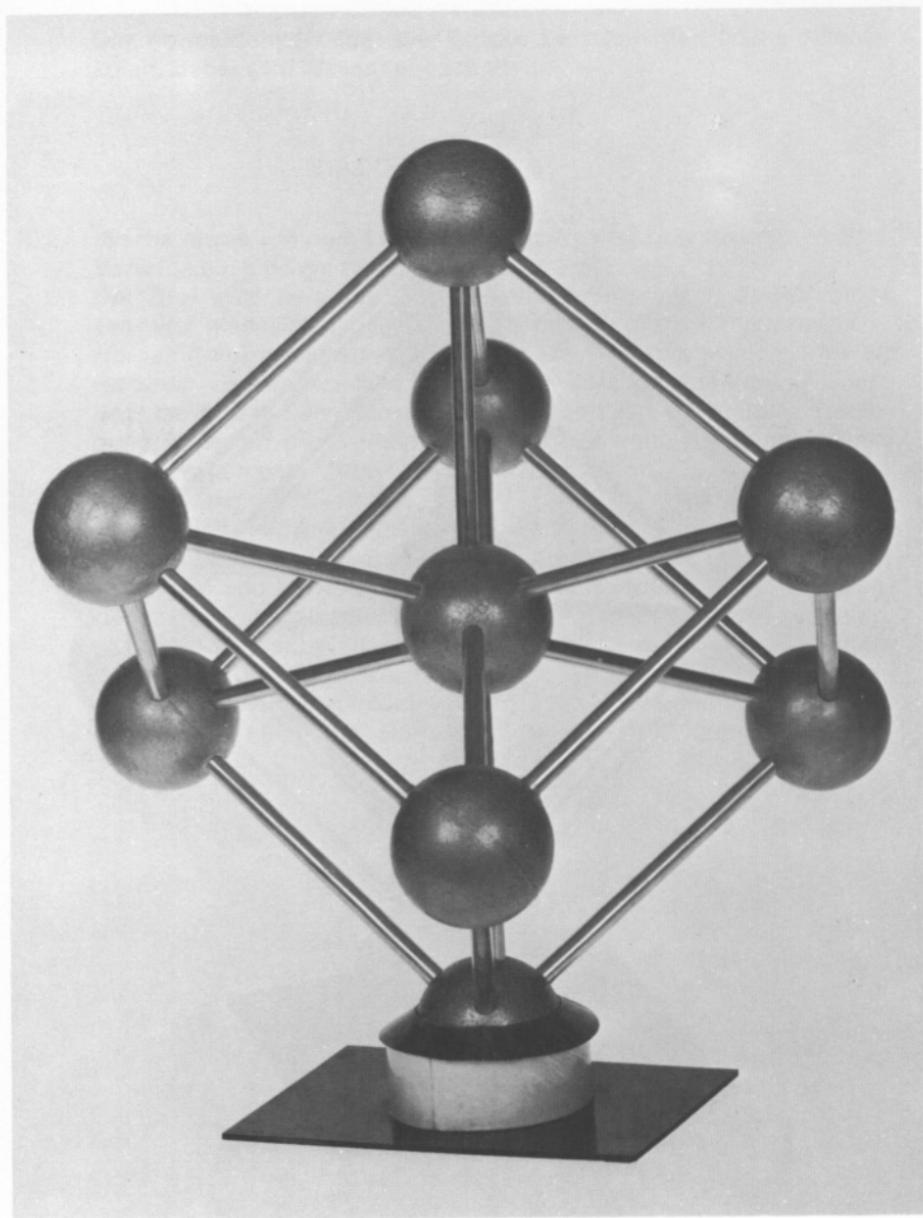


Abb. 49

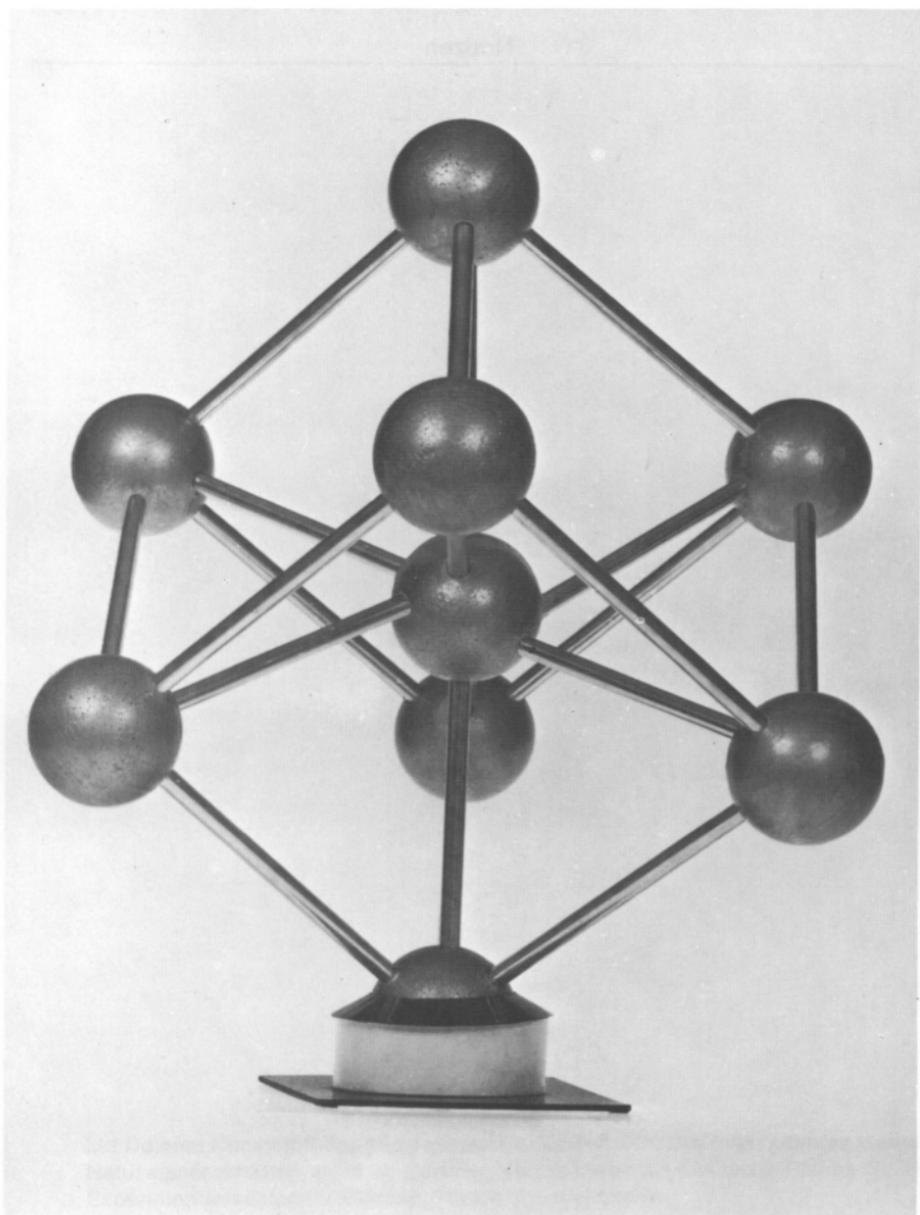
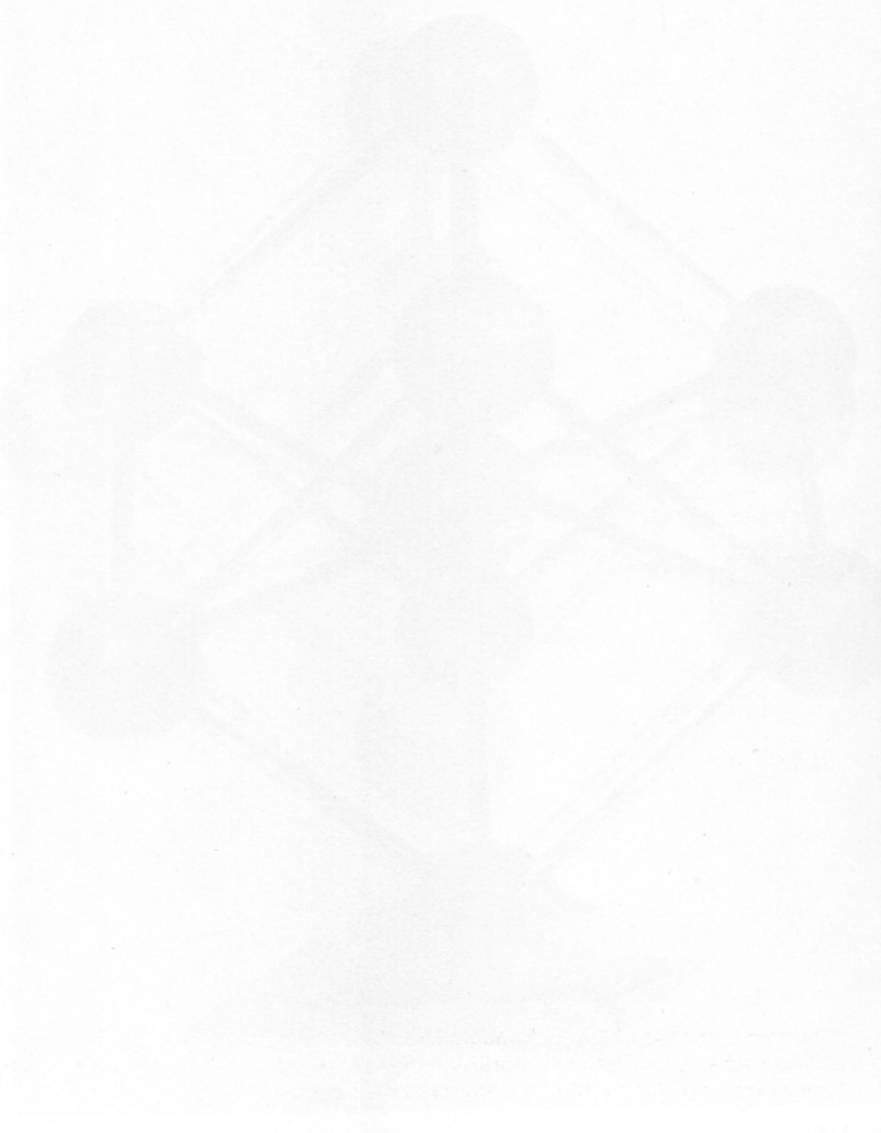


Abb. 50



Mit Deinem **Kunststoff-Experimentierkasten** hast Du Dir ein interessantes Gebiet der Naturwissenschaften eröffnet. Darüber hinaus bietet die Deutsche Philips GmbH Dir Experimentierkästen für **Chemie, Physik** und **Elektronik**.



