



KUNSTSTOFFE

WERKSTOFFE

UNSERER ZEIT

18. AUFLAGE

KUNSTSTOFFE, WERKSTOFFE UNSERER ZEIT

HERAUSGEBER

Arbeitsgemeinschaft Deutsche Kunststoffindustrie
Mainzer Landstraße 55, 60329 Frankfurt am Main
Telefon +49 69 25561303
18. durchgesehene Auflage



EINLEITUNG

In diesen Arbeitsunterlagen wird euch die Welt der Kunststoffe in vier Kapiteln vorgestellt:

Teil A	Die Welt der Kunststoffe	4–31
Teil B	Vom Rohstoff zum Kunststoff	32–51
Teil C	Vom Kunststoff zum Fertigprodukt	52–71
Teil D	Kunststoffe und Umwelt	72–93

Die grauen Kästen heben Merksätze hervor. Die Arbeitsvorschläge (farbige Sprechblasen) weisen darauf hin, wie ihr arbeiten könnt.

Bei der Arbeit in Gruppen sollte ein Protokollführer, den ihr gewählt habt, die wichtigsten Ergebnisse eurer Diskussion schriftlich festhalten.

Selbstverständlich soll das nur ein Vorschlag sein; ihr könnt alles auch ganz anders organisieren.

Der nebenstehende Pfeil weist auf eine interessante Sonderinformation hin. Diese könnt ihr miteinbeziehen, braucht es aber nicht. Natürlich wird durch diese Information euer Wissen vertieft und erweitert.

Die Sonderinformationen sind jeweils am Rand der betreffenden Seite mit einem farbigen Quadrat und der dazugehörigen Ziffer bezeichnet.

Bei der Erarbeitung dieser Materialien werdet ihr eine Reihe von neuen Begriffen kennenlernen. Das lässt sich nicht vermeiden. Lasst euch dadurch die Arbeit nicht verleiden, denn einmal sind viele Begriffe im Text erklärt, und sollte das nicht ausreichen, schaut im Internet nach oder fragt euren Lehrer.

Viel Spaß!



Einzelarbeit oder Hausarbeit



Gruppenarbeit



Klassengespräch



Hinweis auf Sonderinformation



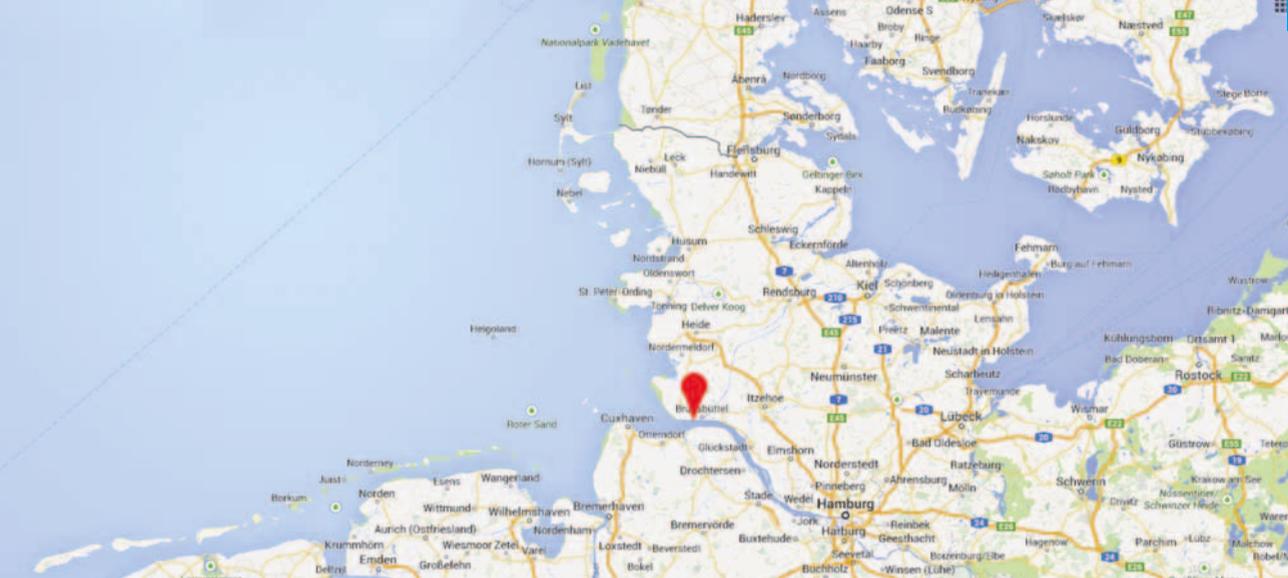
Sonderinformation





TEIL A

**DIE ZAHNBÜRSTE DES
LEUCHTTURMWÄRTERS UND
DER LEUCHTTURM SIND AUS
KUNSTSTOFF.**



Nordwestlich von Hamburg, unweit Brunsbüttelkoog, steht an der Elbemündung der Leuchtturm.

47 Meter hoch und mit einem Durchmesser von drei Metern ragt dieser schlanke Leuchtturm aus glasfaserverstärktem Polyester empor, um den Schiffen den Weg zu weisen, Schiffen, deren Rettungsboote aus demselben synthetischen Werkstoff bestehen. Die Radaranlage an Bord der Schiffe, die Funkmesstechnik, die hochempfindliche Rechenanlage, sie alle verdanken ihre Erfindung der Synthese der Polymere. Für ihre Entwicklung auf den heutigen Stand und für vieles andere mehr wurde allerdings eine Vielfalt maßgeschneiderter Kunststoffe gebraucht. Auch die Zahnbürste des Leuchtturmwärters ist aus Kunststoff. Auf den nahegelegenen Autobahnen stehen Rufsäulen aus gepresstem Polyesterharz und Blendzäune aus PVC.

Im letzten Drittel des 19. Jahrhunderts, während der ersten großen Blüte der Naturwissenschaften, beginnt die Geschichte der Kunststoffe. Sie sind also noch junge Werkstoffe. Doch ihre Entwicklung verlief über weite Phasen geradezu stürmisch. Heute sähe unsere gewohnte Umgebung ganz anders aus, heute wären Freizeit und Sport, Kommunikation, Medizin sowie Verkehr und Transport ohne Kunststoffe so nicht mehr möglich.

Dabei gibt es für jeden Zweck einen besonders geeigneten Kunststoff. Denkt bloß mal an den Haushalt. Gerade in der Küche werden die Gebrauchsgüter besonders stark beansprucht: scharfes, spitzes Arbeitsgerät, heißes Wasser, der heiße Herd, Gewürze, Aromastoffe. Da reagieren Kunststoffe ganz unterschiedlich. Scharfe Reinigungsmittel machen die glasklare Schüssel aus Polystyrol blind. Haushaltsartikel aus Polypropylen oder aus Styrol-Acrylnitril sind da schon weniger empfindlich und Geschirr aus Melaminharz ist besonders kratzfest. Unsere Haushaltsgeräte, der Kühlschrank, die Waschmaschine, der Geschirrspüler, der Staubsauger wären ohne technische Teile, Gehäuse, Isolierungen, Innenwände aus Kunststoff ein Häufchen Schrott. Dem Fernseher, dem Radio, dem Telefon oder dem PC erginge es nicht besser. Und ein Auto ohne Kunststoffe? Die Antwort erhältst du auf den folgenden Seiten.

TEIL A

DIE WELT DER KUNSTSTOFFE

1. Ein Auto ohne Kunststoffe?	8
Verwendung von Kunststoffen in der Autoindustrie	10
2. Zur Geschichte der Kunststoffe	12
3. Rohstoffquellen und Produktion	16
Knöpfe aus Milch	16
Mengenmäßiger Anstieg der Kunststoffproduktion	18
4. Maßgeschneiderte Materialeigenschaften	20
Immer mehr Kunststoffe im Automobilbau	20
1 Der Begriff »Kunststoffe«	24
2 Makromolekulare Stoffe	25
3 Der erste Kunststoff – beinahe ein Sprengstoff	26
4 Erkennungsversuche	27
Versuch A: Brennbarkeit	29
Versuch B: Dichte	30
Versuch C: Wärmeleitfähigkeit	31

1. EIN AUTO OHNE KUNSTSTOFFE?



Dieses Auto besteht aus drei Teilen.
Alle Teile sind aus Kunststoff.



Ein durchschnittliches Auto besteht aus Tausenden von Teilen.
Etwa 2.000 davon sind aus Kunststoff.

 Sieh dir die beiden Autos auf der linken Seite einmal genauer an. Viele Teile beim modernen Auto sind aus Kunststoff gefertigt. Bei einem durchschnittlichen Auto sind bis etwa 15 Gewichtsprozent aus Kunststoff gefertigt. Das bedeutet, dass Kunststoffteile heute viele der Aufgaben übernehmen, die früher von Teilen aus anderen Werkstoffen erfüllt wurden.

Mach dir nun Notizen darüber, was nach deiner Meinung am Auto alles aus Kunststoff ist. Frag dann in deiner Arbeitsgruppe nach, ob jemand noch mehr Teile gefunden hat als du. Ergänze nötigenfalls deine Aufzählungen.

 Weshalb wohl verwenden die Autohersteller heute so viel Kunststoff?

 Sprecht in der Gruppe darüber und schreibt die Gründe einmal zusammen, um anschließend mit der ganzen Klasse darüber zu diskutieren. Notiert euch alle angesprochenen Fragen und ordnet diese. Dann schreibt das Ergebnis an die Tafel.

Vielleicht habt ihr im Gespräch sogar Teile genannt, die man unter der Motorhaube findet. Wer von euch technisch interessiert ist, fragt bei nächster Gelegenheit einmal in einer Autowerkstatt nach.

Sicher drängt sich bei dir die Frage auf: »Was ist das eigentlich für ein Material, das für alle möglichen unterschiedlichen Aufgaben eingesetzt werden kann?«

Willst du mehr darüber wissen, lies die **Sonderinformation 1** »Der Begriff Kunststoffe«. Doch lies zuvor die nächste Seite »Verwendung von Kunststoffen in der Autoindustrie«.



VERWENDUNG VON KUNSTSTOFFEN IN DER AUTOINDUSTRIE

- Ablegefächer
 - Airbag
 - Anschlagpuffer
 - Antriebsriemen
 - Armaturenpolsterung
 - Armaturenrahmen
 - Armaturenafelabdeckung
 - Armaturenräger
 - Armaturenverkleidung
 - Armlehne
 - Außenbowdenzüge
 - Batteriegehäuse
 - Belüftungsgrill
 - Beschläge
 - Bremsbeläge
 - Bremsflüssigkeitsbehälter
 - Bremsschlauch
 - Brustpolster
 - Clipse
 - Dachhimmel
 - Dämpfungselemente
 - Diffusor
 - Embleme
 - Entlüftungsgrill
 - Faltenbalg
 - Fensterdichtung
 - Führungsschienen
 - Fußmatte
 - Fußraumverkleidung
 - Gasgestänge
 - Griffe
 - Griffschale
 - Gurte
 - Gurtführung
 - Haltegurtbeschläge
 - Haltegurte
 - Handschuhfach
 - Hardtop
 - Hebel
 - Heizdüse
 - Heizungs- und Lüftungsgehäuse
 - Heizungsschlauch
 - Hohlraumausschäumung
 - Hutablage
 - Knieschutz
 - Knöpfe
 - Kofferklappe
 - Konsole
 - Kontrollleuchte
 - Kopfstütze
 - Kraftstoffleitung
 - Kraftstoffpumpe
 - Kraftstoffpumpenmembran
 - Kühlergrill
 - Kühlerschlauch
 - Kühlwasserbehälter
 - Kupplungsbeläge
 - Lackierung
 - Lagerung und Führung
 - Lagerungselemente
 - Lautsprechergrill
 - Lenkgestänge
 - Lenkradpolster
 - Lenkradummantelung
 - Lenksäulenverkleidung
 - Leuchten
 - Lichtmaschinen-aufhängung
 - Luftdüse
 - Lüfterflügel
 - Luftfilter
 - Luftfiltergehäuse
 - Luftführungs kanal
 - Luftvorwärmer
 - Manschette
 - Mittelarmlehne
 - Motorabdeckung
 - Motorhaube
 - Navigationsgerät
 - Nockenwellenantrieb
 - Ölwanndichtung
 - Parksensoren
 - Pedalauflage
 - Polsterung
 - Radausschäumung
 - Radkappe
 - Radnabenabdeckung
 - Radzierring
 - Rahmenpolsterung
 - Reifen
 - Riemenscheiben
 - Säulenverkleidung
 - Schalter
 - Schaltknäuf
 - Scheiben der Instrumente
 - Scheinwerferdichtung
 - Scheinwerfergehäuse
 - Scheinwerferreflektor
 - Schiebedach
 - Schiebedachdichtung
 - Schiebedachführung
 - Schlüsselgehäuse
 - Schriftzug
 - Schutzschläuche für Schraubenfedern
 - Seilzugführung
 - Seitenverkleidung
 - Sicherheitsgurt
 - Sicherungskasten
 - Sitzbezug
 - Sitzschale
 - Sitzverkleidung
 - Sonnenblende
 - Spiegelgehäuse
 - Spoiler
 - Startknopf
 - Spurstange
 - Staubkappe
 - Stecker
 - Steckdose
 - Steckerleiste
 - Stoßfänger
 - Stoßfängerecke
 - Stoßfängerhorn
 - Stoßleiste
 - Streuscheiben
 - Tank
 - Tankdeckel
 - Tankentlüftungsschläuche
 - Teppich
 - Teppichrückenbeschichtung
 - Tunnelabdeckung
 - Turboverdichterteile
 - Türdichtung
 - Türinnenverkleidung
 - Türschließeil
 - Türseitentasche
 - Ventildeckel
 - Ventildeckeldichtung
 - Ventilkappen
 - Vergaserdichtung
 - Wärme-, Schalldämmung
 - Wischerarm
 - Wischblätter
 - Wischwasserbehälter
 - Wischerdüsen
 - Zahnräder
 - Zentralelektrik
 - Zierleisten
 - Zündkabelisolierung
 - Zündkerzenstecker
 - Zündverteilerkappe
 - Zylinderkopfdichtung
- ... und vieles andere mehr.

Nun ist das Geheimnis gelüftet. Stelle dir dieses Auto ohne Kunststoff vor. Da fehlen plötzlich Lampen und Abdeckungen, die Sitze, die Türinnenverkleidungen, der Himmel, Lenkrad und Lenksäulenverkleidung, das Armaturenbrett, Griffe, Teppiche, Schalter, Knöpfe, Kühl- und Scheibenwischwasserbehälter, der Kühlergrill, Kabelisolierungen, das Batteriegehäuse, Stoßfänger, Schalldämmung, Lack und vieles andere.

Noch bleibt die Frage offen: »Kunststoff, was ist das eigentlich für ein Material?« Um diese Frage besser beantworten zu können, achte von jetzt an einmal besonders darauf, was in eurer Wohnung oder in der Schule alles aus Kunststoff ist.

Denk auch an Dinge, die im Haus vorhanden sind, die man aber nicht sehen kann, da sie hinter Wänden, Türen oder Klappen verborgen oder im Keller angebracht sind. Das wird die Erkenntnis bestätigen: Kunststoffe sind Werkstoffe, die wichtige Aufgaben erfüllen.

Es gibt etwa zwei Dutzend wichtige Kunststoffarten, aber mindestens 5.000 Handelsnamen, meist Fantasiebezeichnungen. Deshalb ist es fast unmöglich, einen bestimmten Kunststoff allein am Markennamen zu erkennen. Manchmal kann man allerdings am Handelsnamen den Hersteller erkennen.



2. ZUR GESCHICHTE DER KUNSTSTOFFE

Während des Krieges 1914–1918 mussten die noch jungen Kunststoffe viele andere knapp gewordene Werkstoffe ersetzen. Sie wurden dabei manchmal in ihrer Leistungsfähigkeit überfordert. Kunststoffe mussten, das zeigte sich deutlich, verbessert werden. Dazu war es erforderlich, den inneren Aufbau dieser neuen Werkstoffe genauer unter die Lupe zu nehmen.



Hermann Staudinger

Hermann Staudinger entdeckte (siehe **Sonderinformation 2 »Makromolekulare Stoffe«**), dass organische Werkstoffe aus riesig langen Molekülfäden bestehen. Schon **1922** schlug er dafür die Bezeichnung »Makromolekül« vor. Wegen des anhaltenden Widerstands anderer Wissenschaftler dauerte es noch 13 Jahre, bis seine Lehre allgemein anerkannt wurde (1935).



Der Begriff Kunststoff, der in Deutschland und manchen Nachbarländern verwendet wird, wurde von **Dr. Richard Escales** geprägt, der 1911 die Zeitschrift »Kunststoffe« herausgab. Er benötigte einen Sammelbegriff für alle diese neuartigen, künstlich geschaffenen Materialien.

Ein Beispiel aus der Geschichte der Kunststoffe soll dich auf die nächste Information einstimmen. Du kennst das PVC, z. B. von Klarsichthüllen, Fensterrahmen, Fußbodenbelägen oder Rohrleitungen. Ausgeschrieben wird es als Polyvinylchlorid bezeichnet. Es ist heute ein allgemein bekannter und vielseitig verwendeter Kunststoff.



Victor Regnault

Schon **1838** gelang **Victor Regnault** die Herstellung von Polyvinylchlorid im Laboratorium, indem er Vinylchlorid der Sonne aussetzte.

1912 fand **Fritz Klatte** die Grundlagen für die technische Herstellung. Die erste Anwendung bestand in der umweltfreundlichen Beseitigung des bei der Erzeugung von Natronlauge zwangsläufig anfallenden Chlors. Es wurde in PVC gebunden und konnte so gefahrlos deponiert werden.

Aber erst 1938 begann die großtechnische Produktion dieses Kunststoffs, nachdem vielseitige Einsatzmöglichkeiten gefunden worden waren.



Fritz Klatte in seinem Labor.

WICHTIGE KUNSTSTOFFE IM HISTORISCHEN ÜBERBLICK



1859: Vulkanfiber, GB*
Wichtiger Ausgangsstoff: Hydratcellulose
Häufigste Lieferform: Halbzeug
Kunststoffart: Duroplast
Anwendungsgebiete: Koffer, Dichtungen



1869: Celluloid®, USA*
Wichtige Ausgangsstoffe: Kampfer, Zellosenitrat
Häufigste Lieferform: Halbzeug
Kunststoffart: Thermoplast
Anwendungsgebiete: Tischtennisbälle, Haarschmuck



1904: Kunsthorn, D*
Wichtiger Ausgangsstoff: Kasein
Häufigste Lieferform: Halbzeug
Kunststoffart: Duroplast
Anwendungsgebiete: Knöpfe, Schnallen



1938: Polyvinylchlorid, D*
Wichtige Ausgangsstoffe: Ethylen, Chlor
Häufigste Lieferform: Pulver, Granulat
Kunststoffart: Thermoplast
Anwendungsgebiete: Schallplatten, Fensterprofile, Bodenbeläge, Kunstleder



1938: Polyamid, D*
Wichtige Ausgangsstoffe: Säureamide
Häufigste Lieferform: Granulat
Kunststoffart: Thermoplast
Anwendungsgebiete: Typenräder für Schreibmaschinen, Zahnräder, Schrauben, Autobremsschläuche



1939: Hochdruckpolyethylen, GB*
Wichtiger Ausgangsstoff: Ethylen
Häufigste Lieferform: Granulat
Kunststoffart: Thermoplast
Anwendungsgebiete: Folien, Hohlkörper



1943: Silikone, USA*
Wichtige Ausgangsstoffe: Silicium, Methylchlorid
Häufigste Lieferform: Öle, Harze, Pasten
Kunststoffart: Thermoplast/Elastomer
Anwendungsgebiete: Abgussformen, Fugenmassen, Kabel, Dichtungen, Imprägniermittel



1946: Epoxidharzsysteme, CH*
Wichtige Ausgangsstoffe: Epichlorhydrin, Diphenylpropan
Häufigste Lieferform: flüssiges Harz und Härter
Kunststoffart: Duroplast
Anwendungsgebiete: Faserverstärkt: Sportgeräte, Flugzeug- und Bootteile; Gießharze



1955: Niederdruckpolyethylen, D*
Wichtiger Ausgangsstoff: Ethylen
Häufigste Lieferform: Granulat
Kunststoffart: Thermoplast
Anwendungsgebiete: Hohlkörper, Flaschenkästen, Druckrohre

* Aufnahme Produktion, Produktname, Land



1909/1923: Pheno-/Aminoplaste, USA, D/A*

Wichtige Ausgangsstoffe: Phenol, Kresol, Formaldehyd, teilw. mit Füllstoffen/Harnstoff, Melamin

Häufigste Lieferform: Pulver, Granulat

Kunststoffart: Duroplaste

Anwendungsgebiete: Elektroisolierteile, Autoaschenbecher



1930: Polystyrol, D*

Wichtige Ausgangsstoffe: Benzol, Ethylen

Häufigste Lieferform: Granulat

Kunststoffart: Thermoplast

Anwendungsgebiete: Verpackungen, Spielzeug, Schaumstoffe



1933: Acrylglas, D*

Wichtiger Ausgangsstoff: Methacrylsäuremethylester

Häufigste Lieferform: Granulat, Halbzeug

Kunststoffart: Thermoplast

Anwendungsgebiete: Rückstrahler, Lichtkuppeln, bruch sichere Scheiben, beleuchtete Werbe- und Verkehrsschilder



1940: Polyurethan, D*

Wichtige Ausgangsstoffe: Isocyanate, Polyole

Häufigste Lieferform: Flüssigkeiten

Kunststoffart: Duroplast/Thermoplast/Elastomer

Anwendungsgebiete: Sportartikel, Möbel, Matratzen, Wärmedämmung



1941: Polytetrafluorethylen, USA*

Wichtiger Ausgangsstoff: Tetrafluorethylen

Häufigste Lieferform: Pulver

Kunststoffart: Thermoplast

Anwendungsgebiete: Temperaturbeständige Beschichtungen, Dichtungen, Isolierungen



1941: Ungesättigte Polyester, USA*

Wichtige Ausgangsstoffe: Dicarbonsäuren, Poly- oder Diol

Häufigste Lieferform: flüssig, in Styrol gelöst

Kunststoffart: Duroplast

Anwendungsgebiete: Glasfaserverstärkt: Briefkästen, Tanks, Telefonzellen; Gießharze, Versiegelungen



1956: Polycarbonat, D*

Wichtiger Ausgangsstoff: Bisphenol A

Häufigste Lieferform: Granulat

Kunststoffart: Thermoplast

Anwendungsgebiete: Sicherheitsscheiben (z. B. für Sturzhelmvisiere), Gehäuse für Büro- und Haushaltsmaschinen, Verkehrszeichen



1957: Polypropylen, D*

Wichtiger Ausgangsstoff: Propylen

Häufigste Lieferform: Granulat

Kunststoffart: Thermoplast

Anwendungsgebiete: Autobatteriegehäuse, Rohrleitungen, Haushaltswaren, Verpackungshohlkörper, medizinische Geräte



1958: Polyacetal, USA*

Wichtiger Ausgangsstoff: Formaldehyd

Häufigste Lieferform: Granulat

Kunststoffart: Thermoplast

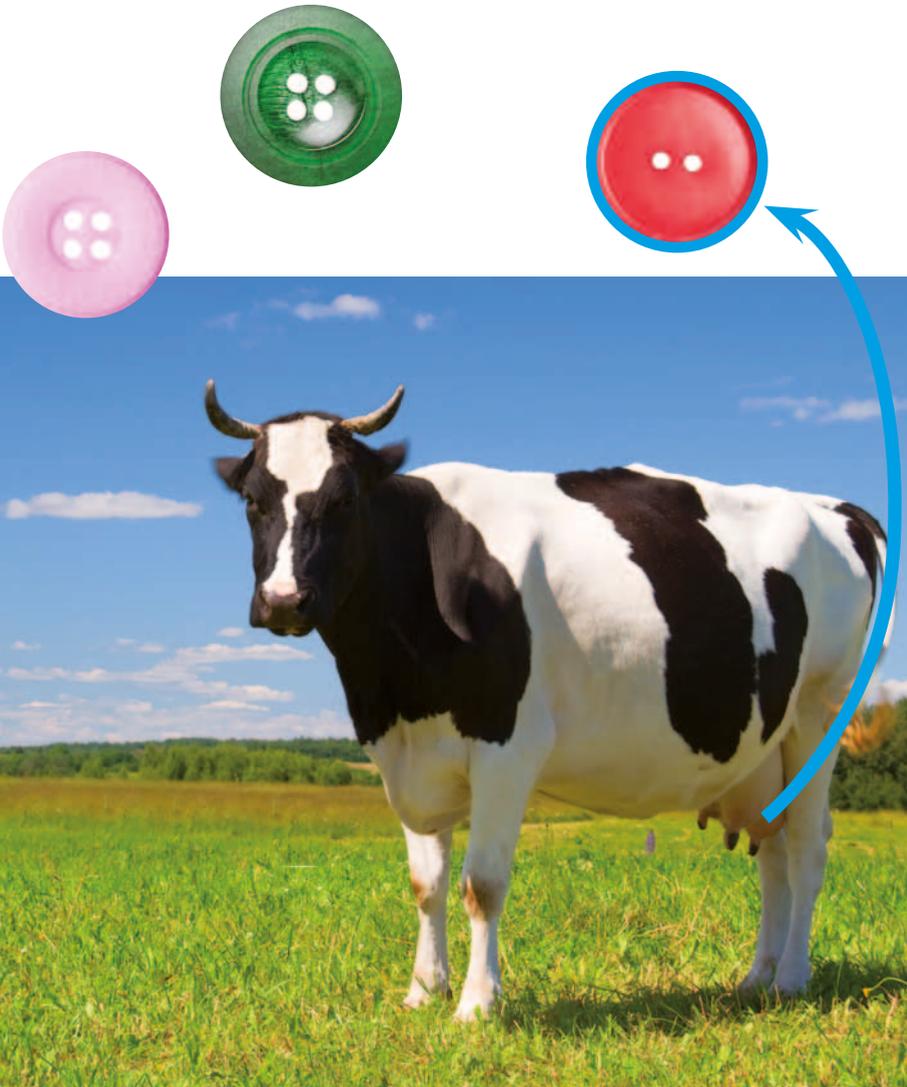
Anwendungsgebiete: Zahnräder, Büro- und Haushaltsmaschinen, Telefon-, Radio-, Fernsehapparate

3. ROHSTOFFQUELLEN UND PRODUKTION

KNÖPFE AUS MILCH

Zunächst wurden überwiegend Naturstoffe genutzt (**siehe auch Sonderinformation 2 »Makromolekulare Stoffe«**). Das Milcheiweiß Kasein war der Rohstoff für das »Kunsthorn«. Aus Magermilch wird mithilfe des Enzyms Lab des Kälbermagens das Kasein ausgefällt, gewaschen, getrocknet und gemahlen. Zur Verarbeitung wird es mit Wasser vorgequollen, eingefärbt, gepresst und anschließend gehärtet.

2



Zellulose (z. B. aus Holz, Stroh und Baumwolle) enthält neben Kohlenstoff die Elemente Wasserstoff und Sauerstoff. Chemisch veränderte Zellulose wurde zu Kunstseide versponnen oder verdrängte Elfenbein für Billardkugeln.

Auch Steinkohle enthält Verbindungen, die aus Kohlenstoff, Wasserstoff und (sehr wenig) Sauerstoff zusammengesetzt sind, denn sie entstand aus Sumpfwäldern, die vor 250 bis 280 Millionen Jahren wuchsen. Anfang des 20. Jahrhunderts gewann man **Gas aus Steinkohle** (Stadtgas), das vor allem zur Beleuchtung diente. Dabei entstanden **Benzol und Teer** als Abfälle. Sie wurden nur anfangs als lästig empfunden, denn bald fand man im Teer viele wertvolle Chemierohstoffe. Bakelit wurde auf dieser Basis hergestellt.

Allmählich verdrängte die Elektrizität das Leuchtgas und die Teerproduktion ging zurück. Doch mit dem Strom konnte aus **Kalk und Kohle** im elektrischen Ofen bei 2.000 °C Calciumcarbid hergestellt werden, das mit Wasser lebhaft unter Bildung von Acetylen (Ethin) und Calciumhydroxid reagiert und so zur Grundlage der Acetylen-Chemie wurde. Damit konnte unter anderem PVC großtechnisch hergestellt werden.

Die Carbid-Produktion verbraucht aber ungeheure Mengen elektrischer Energie. Bei der Herstellung des Acetylens nach dem Carbid-Verfahren entstehen zudem große Mengen an Kalkschlamm, der z. T. als Düngemittelzusatz Verwendung findet.

Aufgrund des hohen Energieaufwands bei der Produktion ist es folgerichtig, dass auf diese Etappe der Kohlechemie die Erdöl- oder Petrochemie folgte. Erdöl entstand durch Jahrmillionen währende Ablagerung pflanzlicher und tierischer Kleinlebewesen (Plankton) auf Meeres- und Seeböden. Dieser Schlamm wurde unter Luftabschluss und bakterieller Einwirkung in Methan und andere niedere Kohlenwasserstoffe umgewandelt.



Selbst diese Radiogehäuse wurden bereits aus synthetisiertem Kunststoff hergestellt.

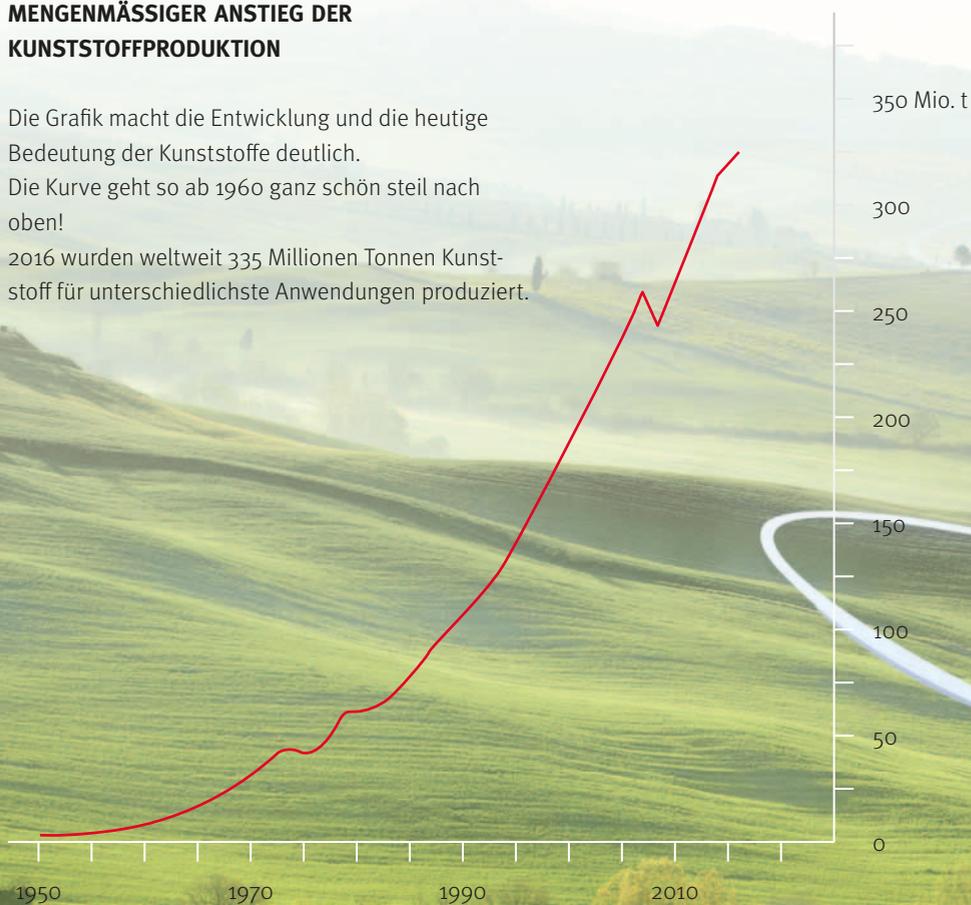


MENGENMÄSSIGER ANSTIEG DER KUNSTSTOFFPRODUKTION

Die Grafik macht die Entwicklung und die heutige Bedeutung der Kunststoffe deutlich.

Die Kurve geht so ab 1960 ganz schön steil nach oben!

2016 wurden weltweit 335 Millionen Tonnen Kunststoff für unterschiedlichste Anwendungen produziert.



Eine Tonne massiver Kunststoff (z. B. Polyethylen) kann zu einem Würfel von 1 m^3 geformt werden – 1 m lang, 1 m breit, 1 m hoch. 335 Millionen solcher Würfel stellen also die weltweite Jahresproduktion 2016 dar. Wenn du diese Würfel aneinanderreihst, reichen sie fast sechsmal um die Erde.

Die Grafik deutet an, dass es in der Anfangszeit gar nicht so einfach war, brauchbare Kunststoffe zu finden. Während der ersten 50 Jahre war es nur ein knappes Dutzend. Dabei wurde besonders in allen westlichen Ländern nach neuen Kunststoffen gesucht. Durch den intensiven Erfahrungsaustausch wuchs das Wissen um die neuen Stoffe. So folgte auf die »mageren« ersten 50 Jahre eine sehr erfolgreiche Zeit.

Wenn es dich interessiert, kannst du noch eine nette Geschichte aus den Anfängen der Kunststoffe lesen: **Sonderinformation 3 »Der erste Kunststoff – beinahe ein Sprengstoff«.**



4. MASSGESCHNEIDERTE MATERIALEIGENSCHAFTEN

IMMER MEHR KUNSTSTOFFE IM AUTOMOBILBAU

Am Anfang unseres Buchs wurde die Frage gestellt: »Weshalb verwenden die Autohersteller heute so viel Kunststoff?«

Vergleiche nun die Antworten aus eurem Klassengespräch mit den folgenden Informationen: Kunststoffteile lassen sich **maschinell kostengünstig in großen Stückzahlen** herstellen. **Fast uneingeschränkte Möglichkeiten der Formgebung** sind ein weiterer Grund, Kunststoffen den Vorzug zu geben. Ein dritter ist ihr **Beitrag zur Sicherheit**. Ein Kunststofftank platzt nicht so leicht, und ein Airbag darf nie platzen. Ein weiterer Aspekt ist die hohe Funktionalität. Schließlich führen Kunststoffe zur **Treibstoffeinsparung durch ihr geringes Gewicht**. Das senkt bei Verbrennungsmotoren auch den Ausstoß von Schadstoffen. Eine der Antworten könnte also sein: »Kunststoffteile sind preiswerter als Teile aus anderen Werkstoffen.«

Der Autokäufer verlangt in Bezug auf Wartung, Komfort, Design, Lebensdauer, und Sicherheit sowie Treibstoffverbrauch ein immer besseres Auto. Um das zu erreichen, werden maßgeschneiderte Werkstoffe benötigt. Genau hierin liegt die große Stärke der Kunststoffe. Sie können in ihren Materialeigenschaften wie kein anderer Werkstoff der jeweiligen Anwendung angepasst werden. Doch dazu mehr in Kapitel 7 »Millionen Bausteine machen erst die Eigenschaft«.

Der Trend zu immer mehr Komfort und Sicherheit hat zu immer schwereren Autos geführt. Je höher aber das Gewicht, desto höher ist auch der Treibstoffverbrauch. Ohne den Einsatz von Kunststoffen wäre die Gewichtszunahme drastischer. Durch die Verwendung von Kunststoffbauteilen wird, unabhängig davon, womit ein Auto angetrieben wird, erheblich Gewicht gespart. 100 kg Kunststoff können je nach Bauteil und Einsatzzweck etwa 140–200 kg herkömmliche Werkstoffe ersetzen. Eine Verminderung des Fahrzeuggewichts um 100 kg bringt aber eine Treibstoffersparnis von bis zu $\frac{1}{4}$ Liter pro 100 gefahrene Kilometer und vermindert damit die Umweltbelastung. Die Reduzierung des Treibstoffverbrauchs durch Leichtbau ist daher ein wichtiges Ziel bei der Konstruktion von Automobilen. Hierbei sind Kunststoffe eine große Hilfe.

Kunststoffteile sind in sämtlichen Baueinheiten der Automobile zu finden. Besonders ins Auge fallen Außenteile wie Stoßfänger, Kühlergrill und Frontschürzen, Scheinwerfer, Verkleidungen, Lufteinlassgitter, Außenspiegel und Rückleuchten. Hinzu kommt die fast vollständige Ausstattung des Innenraums. Die Autoelektrik und -elektronik ist ohne Kunststoffe nicht möglich. Auch im Motorraum haben die

Kunststoffanwendungen zugenommen. Dazu gehören Ansaugrohre, Kraftstoffverteilersysteme, Behälter, Wasserpumpen, Zahnriemenräder u. a. Ein besonders markantes Teil ist der Kraftstofftank, der sich dank der fast beliebigen Formgebung in jeden vorgegebenen Raum einpassen lässt, so dass die meisten Fahrer heutzutage schon nicht mehr wissen, wo genau der Tank in ihrem Auto untergebracht ist.

Auch in der Antriebs- und Fahrwerktechnik haben die Kunststoffe bereits Einzug gehalten, so etwa bei Kardanwellen und Motorträgern. Auch beim Motor selbst werden zunehmend Kunststoffe eingesetzt, darunter hitzestabile und chemikalienbeständige Bauteile aus Kunststoff wie etwa Schläuche, Abdeckungen, Ansaugkrümmer und sogar Ölwanne. Damit wird insbesondere auch eine verbesserte Motoreffizienz erreicht.



Den Eigenschaften des Kunststoffes verdankt der Konstrukteur, dass sich ein Tank in jeden vorgegebenen Raum einpassen kann.



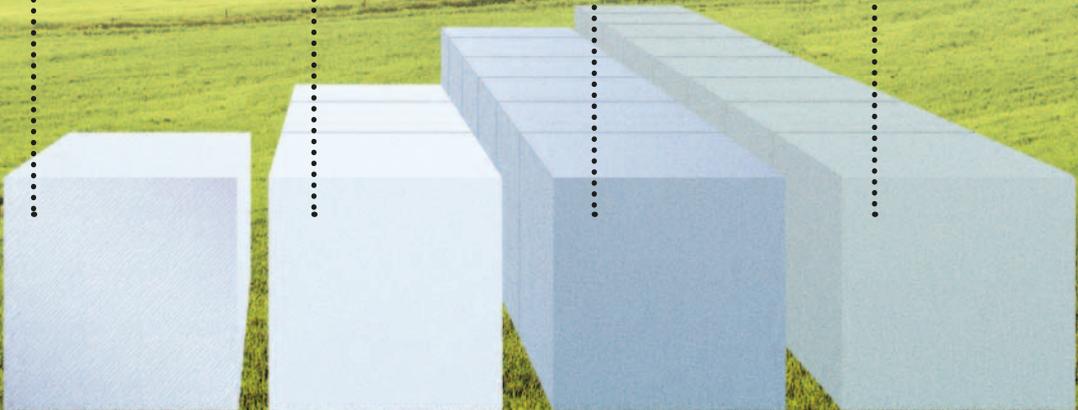
NOCH EIN GEWICHTSVERGLEICH

• Dieser eine Würfel Eisen
(Fe) wiegt 1.000 kg

• Diese $2\frac{3}{4}$ Würfel Aluminium
(Al) wiegen auch 1.000 kg

• Diese $5\frac{1}{2}$ Würfel Polyvinylchlorid
(PVC) wiegen auch 1.000 kg

• Diese acht Würfel Polyethylen
(PE) wiegen auch 1.000 kg



Von vier Faktoren sind die vielfältigen chemischen und physikalischen Eigenschaften der Kunststoffe abhängig: chemischer Aufbau, Gestalt, Ordnung und Größe der Moleküle.

Der **chemische Aufbau**, nämlich Art und Anordnung der Atome, nimmt Einfluss auf das geringe Gewicht. Kunststoffe haben meist eine Dichte zwischen $0,9 \text{ g/cm}^3$ und $1,4 \text{ g/cm}^3$; und wenn schwerere anorganische Elemente (z. B. Fluor) am Molekülaufbau beteiligt sind, können sie eine Dichte von $2,2 \text{ g/cm}^3$ erreichen wie z. B. Polytetrafluorethylen (PTFE).

Kupfer hat eine Dichte von $8,9 \text{ g/cm}^3$, d. h., ein Würfel von 1 cm^3 Kupfer wiegt $8,9 \text{ g}$. **Stahl** hat eine Dichte von $7,85 \text{ g/cm}^3$, d. h., ein Würfel von 1 cm^3 Stahl wiegt $7,85 \text{ g}$. **Aluminium** hat eine Dichte von $2,7 \text{ g/cm}^3$, d. h., ein Würfel von 1 cm^3 Aluminium wiegt $2,7 \text{ g}$.

Das Leichtmetall Aluminium ist doppelt so schwer wie das dir bekannte Polyvinylchlorid (PVC), das nur eine Dichte von $1,38 \text{ g/cm}^3$ hat. Und Polyethylen (PE) hat eine noch geringere Dichte, nämlich zwischen $0,91$ und $0,96 \text{ g/cm}^3$. Die Beständigkeit gegen Säuren, Laugen, Lösemittel und das hohe elektrische Isoliervermögen werden ebenfalls vom chemischen Aufbau beeinflusst.

 **Sprecht in der Klasse über die Eigenschaften der Kunststoffe.**

Die **Gestalt der Moleküle**, ihre **Größe** und die **Anordnung** im Stoff haben Einfluss auf das mechanische Verhalten. Es können plastische, weichelastische, hartelastische und harte bis spröde Kunststoffe erzeugt werden, die unterschiedliche und begrenzte Temperaturbeständigkeit besitzen.

Wenn ihr die Betrachtung noch vertiefen wollt, lest die **Sonderinformation 4** »Erkennungsversuche«. Vielleicht habt ihr sogar die Möglichkeit, einige der einfachen Experimente in der Schule durchzuführen.



Polyethylen ist etwas leichter als Polyvinylchlorid.



Aluminium ist schon doppelt so schwer wie Polyvinylchlorid.



Kupfer wiegt gar sechsmal so viel wie Polyvinylchlorid.



DER BEGRIFF »KUNSTSTOFFE«

Kunststoffe sind Werkstoffe, die aus Polymeren und Zusatzstoffen bestehen. Polymere sind organische Makromoleküle, die durch Umwandlung von Naturprodukten oder durch Synthese von Primärstoffen aus Erdöl, Erdgas oder Kohle entstehen.

»Organisch« bedeutet hier zweierlei: Kunststoffe bestehen aus den Elementen Kohlenstoff (C), Wasserstoff (H) und auch Sauerstoff (O), Stickstoff (N) und Schwefel (S). Merkwort: »CHONS«. Darüber sagt die »Organische Chemie« etwas aus. Einige spezielle Kunststoffe enthalten Halogene, nämlich Fluor (F) und Chlor (Cl). Zum anderen gleichen die Kunststoffe in ihren Eigenschaften natürlich gewachsenen, organischen (im Sinne von belebten) Stoffen wie Holz, Horn, Harz. **Makromoleküle** bedeutet »große, riesige Moleküle« (makros = groß).

An **umgewandelten Naturprodukten** sollen hier nur genannt werden: vulkanisierter Kautschuk (Gummi), Vulkanfiber, Zellglas, Kunstseide, Zellwolle als umgewandelte Zellulose, Kunsthorn, ein plastifiziertes und gehärtetes Milcheiweiß (Kasein).

Synthese ist ein »Zusammenfügen«. Durch die Möglichkeiten des Chemikers werden neue Stoffe aus Grundstoffen nach chemischen Verfahren aufgebaut. Wenn der Kunststoff aus der »Retorte« kommt, hat er vielfach noch nicht die gewünschten Werkstoffeigenschaften. Er ist ein **Rohstoff**. Zu dem **Werkstoff** mit genau festgelegten Eigenschaften, also zu dem eigentlichen Handelsprodukt, wird er erst durch Nachbehandlung und erforderliche eigenschaftsverbessernde Zusätze wie z. B. Füll- und Verstärkungsstoffe.

Viele Kunststoffe werden durch »spezifische Zusatzstoffe« gegen alle möglichen Einwirkungen von außen stabilisiert, denn je nach Empfindlichkeit können durch Wärme, Licht und Luftsauerstoff die Makromoleküle aufgebrochen werden.

Kunststoffe sind organische Substanzen wie z. B. Holz, Fleisch oder Brot. Bei starkem Erhitzen wird der Kohlenstoff sichtbar.



MAKROMOLEKULARE STOFFE

Der deutsche Chemiker Hermann Staudinger führte 1922 für Riesenmoleküle mit mehr als 1.000 Atomen den Begriff »Makromolekül« ein. Für seine Forschungsarbeiten erhielt er 1953 den Nobelpreis. Makromoleküle unterscheidet man nach Herkunft und Syntheseweg.

Lebewesen können ohne **makromolekulare Naturstoffe** nicht existieren. Zellulose, Lignin und viele Eiweißstoffe sind natürliche Baustoffe. Mit Stärke werden Vorräte angelegt. Vom Menschen werden beispielsweise Zellulose (Holz, Baumwolle, Flachs), Keratin (Horn), Kautschuk und komplizierte Gemische wie Harze als Werkstoffe genutzt.

Umgewandelte Naturstoffe (halbsynthetische Kunststoffe) werden durch chemische Umwandlung makromolekularer Naturstoffe gewonnen. Beispiele sind die Zellosederivate Celluloid® (Nitrozellulose) und Vulkanfiber (pergamentierte Zellulose) sowie Kunsthorn (Kaseinkunststoff) oder Gummi (vulkanisierter Kautschuk).

Synthetische Kunststoffe werden aus Rohstoffen wie Erdöl hergestellt. Dabei werden verschiedene Klassen unterschieden. **Thermoplaste** (thermos = warm; plasso = binden) gehen beim Erwärmen reversibel (umkehrbar) in einen plastischen, also verformbaren Zustand über und behalten nach Erkalten ihre Form bei. Sie bestehen aus fadenförmigen oder nur gering verzweigten Molekülketten. Zwischen diesen herrschen meist nur schwache Wechselwirkungen, die sogenannten Van-der-Vaals-Kräfte. **Duromere** (durus = hart) sind nach ihrer Formgebung auch unter Wärmeeinwirkungen nicht mehr plastisch verformbar. Sie bestehen aus Molekülen, die in allen Raumrichtungen vernetzt sind. Bei normaler Temperatur sind sie hart bis spröde. **Elastomere** (elastisch = rückstellend; meros = Teil) zeichnen sich durch hohe Dehnfähigkeit und Rückstellung in einem breiten Temperaturbereich aus. Relativ wenige Querverbindungen vernetzen die Kettenmoleküle zu einem lockeren dreidimensionalen Netz. Dadurch sind die einzelnen Kettenabschnitte leicht, die Gesamtmoleküle aber nur begrenzt beweglich.



Thermoplaste schmelzen beim Erhitzen.



Duroplaste bleiben bei diesen Temperaturen unverändert.



Elastomere sind quellbar und verformen sich wieder zurück.

DER ERSTE KUNSTSTOFF – BEINAHE EIN SPRENGSTOFF

Den ersten Kunststoff verdanken wir einem amerikanischen Billardspieler, der sich darüber ärgerte, dass seine Billardkugeln aus Elfenbein nicht immer geradeaus rollten. Schuld daran waren die kleinen Unregelmäßigkeiten, die in Naturstoffen wie dem damals verwendeten Elfenbein immer vorkommen. Um den Elfenbeinbedarf zu decken, wurden bis zur Jahrhundertwende jährlich 12.000 Elefanten getötet. Der Billardspieler bot demjenigen 10.000 Dollar, der ihm ein besseres, d. h. gleichmäßigeres Material bringen würde.

Der Zufall wollte es, dass sich die amerikanischen Brüder Hyatt gerade mit einer in Deutschland gemachten Entdeckung beschäftigten. Baumwolle wandelt sich durch Behandlung mit Salpetersäure zu einem neuen, sehr gefährlichen Stoff um, zur »Schießbaumwolle«, die man als Sprengstoff verwenden kann. Nach einem Vorschlag des Engländers Parkes zähmten sie das »gefährliche Zeug«, indem sie es in einem Gemisch aus Kampfer und Alkohol lösten. Es entstand ein Stoff, den sie »Celluloid®« nannten. Dieser hatte Eigenschaften, die **damals sensationell** waren. Er war **durchsichtig wie Glas**, aber **zäher als Leder**. Man konnte ihn wunderbar färben und, das Tollste, er war bei niedrigen Temperaturen schmelzbar. Im Gegensatz zu den Metallen schmolz er nicht zu einer leicht beweglichen Flüssigkeit, sondern blieb plastisch-fließend, ließ sich aber trotzdem in jede gewünschte Form bringen, was die Brüder Hyatt mit der von ihnen patentierten ersten Spritzgießmaschine der Welt bewiesen.

Celluloid® diente unter anderem zur Herstellung von Tischtennisbällen, Knöpfen, Zeichen- und Messgeräten. Wegen seiner großen Zähigkeit und hohen Transparenz (Lichtdurchlässigkeit) diente es auch als Unterlage für fotografische Filme. Die Filmindustrie wurde der große Verbraucher. Der Hauptnachteil war die leichte Entflammbarkeit, weshalb es später in den meisten Anwendungen durch andere Kunststoffe ersetzt wurde.



Früher Elfenbein –
heute Kunststoff.

ERKENNUNGSVERSUCHE



Ihr könnt in eurer Schule einfache Erkennungsversuche mit Kunststoffproben durchführen, z. B. in Bezug auf:

Lichtdurchlässigkeit – Struktur und Herstellung sind dafür verantwortlich, ob Kunststoffe glasklar, transparent oder durchscheinend (opak) werden. Oft werden sie aber schon bei der Herstellung eingefärbt.

Thermisches Verhalten – Thermoplaste erweichen bei zunehmender Temperatur, Duomere gehen vom festen Zustand in Zersetzung über.

Wärmeleitfähigkeit – bei Kunststoffen ist sie sehr gering, denn Wärmebewegungen der Atome in den Kettenmolekülen werden schlecht zwischen den Ketten weitergegeben.

Brennbarkeit – Flammenaussehen und Geruch nach Erlöschen sind wichtige Erkennungsmerkmale. Aufgrund ihres Aufbaus aus Kohlenstoff- und Wasserstoffatomen brennen viele Kunststoffe. Durch den Einbau von weiteren Elementen (Halogenen wie z. B. Chlor oder Fluor) kann das Brandverhalten von Kunststoffen beeinflusst werden.

Bruchbild – man unterscheidet Weißbruch, Spröbruch und kein Bruch. Das Bruchbild liefert eine bessere Erkennung als die Oberflächenhärte mit der Fingernagel- und der Nadelprobe.

Löslichkeit – der Satz »Ähnliches löst sich in Ähnlichem« gilt bei Kunststoffen nur bedingt. Sie sind gegen organische Lösemittel sehr widerstandsfähig.

Elektrische Leitfähigkeit – sie ist bei Kunststoffen sehr gering und erklärt sich mit der niedrigen Anzahl von freien Elektronen. Die geringe Leitfähigkeit ist für die elektrostatische Aufladung von Bedeutung. Zugleich sind Kunststoffe nicht magnetisierbar.

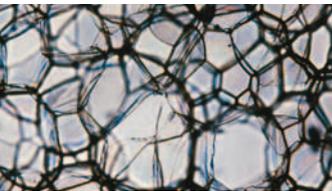


»Keine heiße Asche einfüllen«, denn die Mülltonne ist aus Polyethylen.

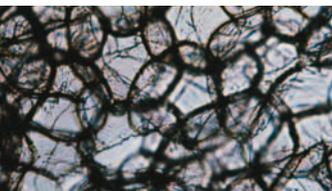


Nur die Isolierfähigkeit des Kunststoffs ermöglicht so viele Verbindungen in einem Kabel.

Unter dem Mikroskop:



geschäumtes Polystyrol



Holundermark

Beide haben einen fast gleichen Zellaufbau.

Wärmeleitfähigkeit

Vor Durchführung dieses Versuchs noch einige Informationen zur Erklärung des Ergebnisses: Aus einem Physikbuch kannst du zum Beispiel »Wärmeleitzahlen« erfahren. Für Kupfer beträgt sie 335 und für Polystyrol 0,14. Die beiden Zahlen stehen also im Verhältnis $335:0,14 = 2.400$.

Durch eine Kupferplatte wird die Wärme 2.400-mal schneller geleitet als durch eine gleich dicke Polystyrol-Platte. Die Kunststoffplatte braucht infolgedessen auch 2.400-mal länger zum Abkühlen. Oder noch anschaulicher: Die Wärmemenge, die in einer Stunde durch Kupfer geht, braucht bei Kunststoff 2.400 Stunden, das sind 100 Tage! Daraus kannst du folgern:

**Kupfer ist ein guter Wärmeleiter.
Kunststoffe sind schlechte Wärmeleiter.**

Schaumpolystyrol, bei dem etwa 98 Prozent des Volumens aus Gas bestehen, isoliert noch zehnmal besser. Du kannst dir denken, dass diese Eigenschaft beim Herstellen von Kunststoffprodukten zu verhältnismäßig langen Aufheiz- und Abkühlzeiten führt. Den Aufbau des geschäumten Polystyrols solltest du unbedingt unter dem Mikroskop betrachten. Wenn du keine Erfahrung im Mikroskopieren hast, lass dich von deinem Lehrer anleiten. Du wirst einen Zellaufbau ähnlich dem des Holundermarks erkennen. Sicher möchtest du auch einige Informationen über die elektrische Leitfähigkeit haben. Hier nur so viel: Kupfer leitet den elektrischen Strom sogar 100 Trillionen Mal besser als geschäumtes Polystyrol. Das ist eine 1 mit 20 Nullen! Ob es sich um Wärme oder elektrischen Strom handelt, immer geht es darum, dass Energie durch den Stoff transportiert wird. Dies ist auch technisch von Bedeutung. Entweder ist eine Energiemenge durch ein Material zu leiten oder die Wanderung ist zu verhindern. Daher verwendet man zum Wärmetransport und für elektrische Leitungen Metalle, zur Isolierung Kunststoffe.

Nachfolgend einige einfache Versuche zum schnellen Erkennen der Kunststoffe und zum Prüfen ihrer Eigenschaften.

Lies dir die Versuche gewissenhaft durch und beginne nicht, bevor du alles verstanden hast. Bei Unklarheiten frag in deiner Gruppe oder beim Lehrer nach.



brandfeste Unterlage



Kerze



Schutzbrille



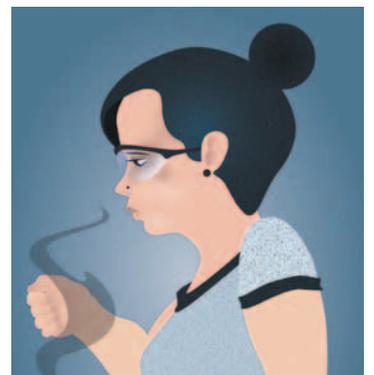
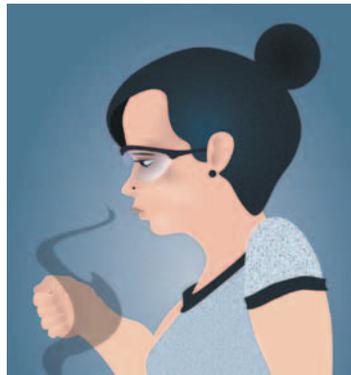
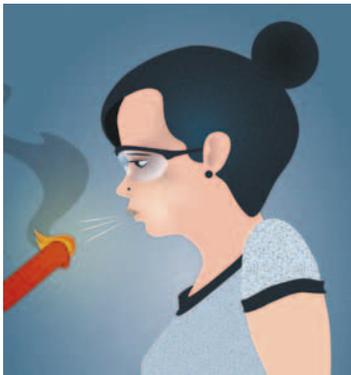
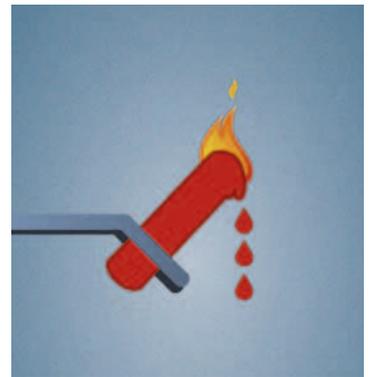
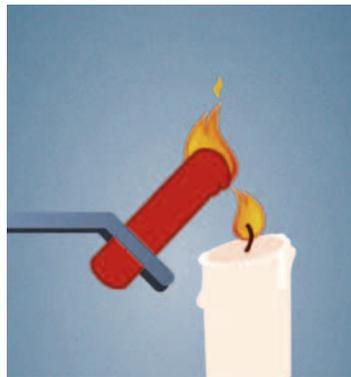
Tiegelzange



Polyethylen (PE)



Polyamid (PA)





Becherglas 500 ml



Spülmittel



Kochsalz



Rührstab

Polyethylen (PE)

Polystyrol (PS)

Polymethylmethacrylat (PMMA)

Polyvinylchlorid (PVC)

Phenoplast (PF)

Polyester (UP)



1. Becherglas halb mit Wasser füllen, dazu ein Spritzer Spülmittel. Legt die sechs Proben hinein.



2. Das PE-Stäbchen schwimmt. Es hat die Dichte von $0,92 \text{ g/cm}^3$.



3. Gebt nun behutsam Kochsalz so in das Wasser, dass es sich löst. Die Dichte der Lösung nimmt zu.



4. Gebt weiter Kochsalz hinzu, bis weitere Stäbchen auftauchen. Notiert die Reihenfolge.



Metallbecher



Kunststoffbecher



heißes Wasser



Uhr



Thermometer



1. Gebt in beide Becher gleiche Mengen heißes Wasser (etwa 70 °C). Vorsicht! Normale Joghurtbecher aus Polystyrol sind für kochendes Wasser ungeeignet – sie erweichen.

Temperatur:

2 min. _____

4 min. _____

6 min. _____

8 min. _____

10 min. _____

Temperatur:

2 min. _____

4 min. _____

6 min. _____

8 min. _____

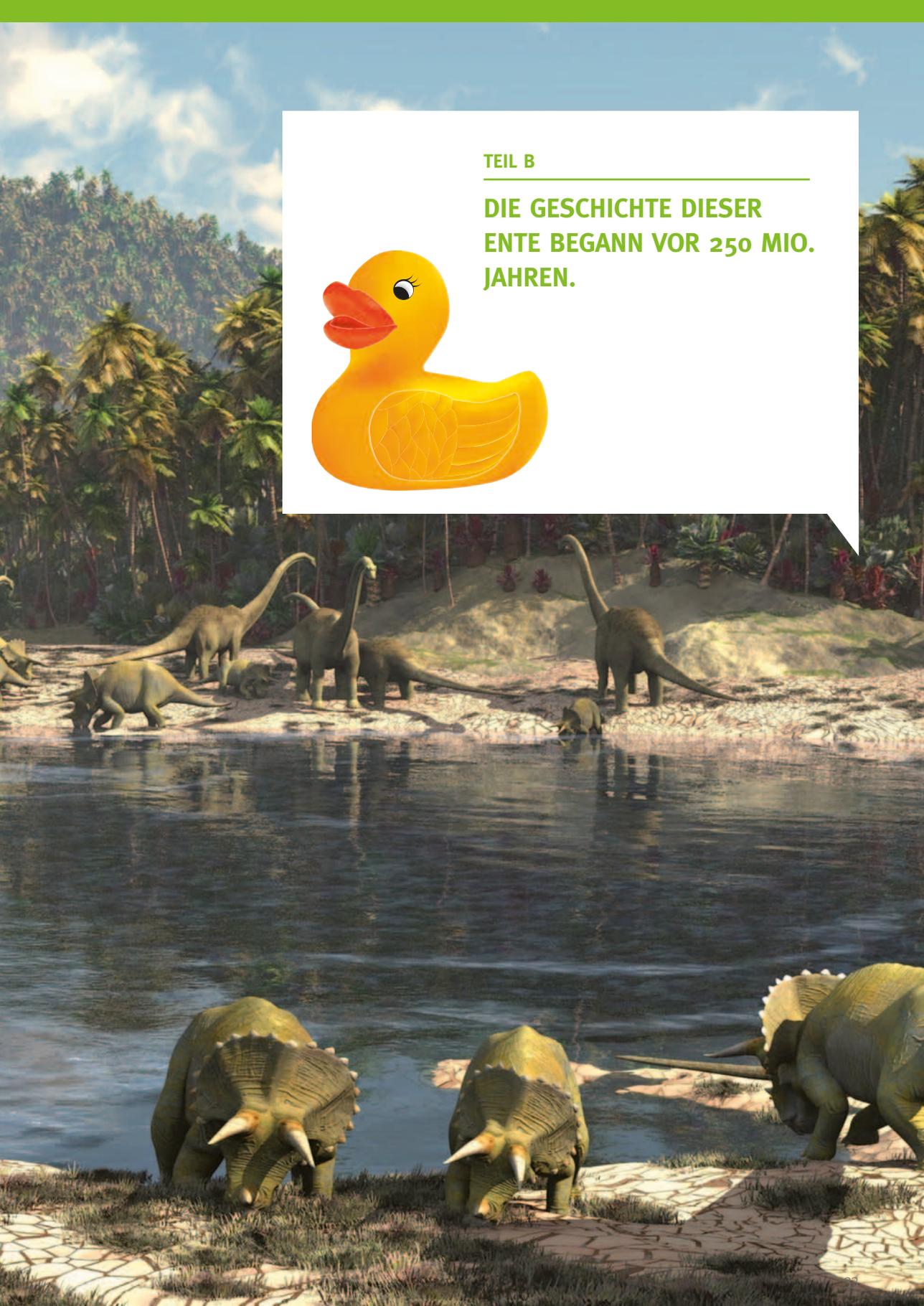
10 min. _____

2. Messt in Abständen von zwei Minuten die Temperaturen beider Wassermengen. Notiert die Zeiten und Wassertemperaturen und vergleicht diese.



TEIL B

**DIE GESCHICHTE DIESER
ENTE BEGANN VOR 250 MIO.
JAHREN.**



Vor einigen 100 Millionen Jahren bedeckten die Weltmeere weite Gebiete der Kontinente. Tote Kleinstlebewesen, insbesondere Algen, sanken zum Grund und wurden von Schlamm bedeckt. Wo der Meeresboden ruhig war und keine Strömung herrschte, so dass kein oder kaum Sauerstoff zugeführt wurde, überzog allmählich ein »Faulschlamm« den Meeresboden. Das organische Material wandelte sich unter dem Einfluss relativ hoher Temperaturen, des Drucks, der bakteriellen Zersetzung und katalytischer Prozesse im Laufe der Zeit in verschiedene Kohlenwasserstoffe um, aus denen das Erdöl besteht.

Gewöhnlich bleibt das Erdöl nicht im Muttergestein, dem Ort seines Entstehens, sondern wandert im Laufe der Zeit zur Erdoberfläche hin. Wenn es auf poröse, durchlässige Gesteinsschichten trifft, die von einer undurchlässigen Schicht überlagert werden, sammelt sich das Erdöl in der porösen Schicht, die damit zu einer »Ölfalle« wird. Es entsteht ein Erdölvorkommen.

Erdöl (Petroleum, Rohöl) nennt man ein mehr oder weniger zähflüssiges, sehr dunkelfarbiges Mineralöl, das sich in allen Kontinenten in der Erdkruste findet. Diese Erdölvorkommen sind oft von Erdgas und Salzwasser begleitet. Das Erdöl ist eine komplizierte, nach Fundorten wechselnde Mischung verschiedener Kohlenwasserstoffe. Die Frage nach seiner Entstehung konnte bis heute noch nicht umfassend und eindeutig geklärt werden. Es ist wohl sicher, dass es organischen Ursprungs ist. Erdöl ist der wichtigste Rohstoff für Kunststoff und damit auch für unsere kleine Kunststoffente.



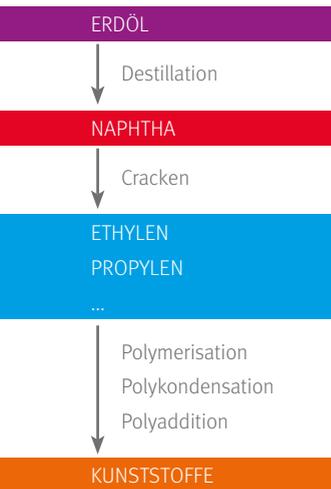
TEIL B

VOM ROHSTOFF ZUM KUNSTSTOFF

5. Vom Rohstoff zum Kunststoff	36
6. Wie Kunststoffe werden	40
Das Zwillingsspiel	40
Riesig groß und doch so winzig klein – ein Gedankenspiel	42
7. Millionen Bausteine machen erst die Eigenschaft	43
5 Energie sparen mit Kunststoff	47
6 Kunststoff-Synthese-Verfahren	48
7 Strukturen der Kunststoffe	50

5. VOM ROHSTOFF ZUM KUNSTSTOFF

Rohmaterialien für die Kunststoffherzeugung sind organische Stoffe wie etwa Zellulose, Kohle, Erdöl und Erdgas. Alle sind Verbindungen von Kohlenstoff (C) und Wasserstoff (H). Auch Sauerstoff (O), Stickstoff (N) und Schwefel (S) können beteiligt sein.



Erdöl ist in Deutschland der wichtigste Rohstoff (Ausgangsstoff) für die Kunststoffherzeugung, daneben noch Erdgas.

In der Raffinerie wird Erdöl durch Destillation in mehrere Fraktionen (Bestandteile) getrennt. Nach Siedebereichen unterschieden fallen im Fraktionierturm an: Gas, Rohbenzin, Diesel und Heizöl sowie Gasöl. Als Destillationsrückstand erhält man Bitumen, das unter anderem im Straßenbau verwendet wird. Alle Fraktionen bestehen aus Kohlenwasserstoffen, die sich durch ihre Größe und die Gestalt ihrer Moleküle unterscheiden. Die für die Kunststoffherzeugung wichtigste Fraktion ist das Rohbenzin (Naphtha). Es wird in einem thermischen Spaltprozess (Crack-Prozess) in Ethylen (Ethen), Propylen (Propen), Butylen (Buten) und andere Kohlenwasserstoff-Verbindungen auseinander-»gebrochen« und umgebaut (to crack = brechen). Das erfolgt im sogenannten Cracker.

Die Ethylen-Ausbeute kann begrenzt über die Cracktemperatur gesteuert werden und beträgt bei 850 °C mehr als 30 Prozent. Der Cracker liefert noch weitere Rohstoffe für die Kunststoffherzeugung, z. B. Benzol. Aus Ethylen und Benzol wird in nachfolgenden Reaktionsprozessen Styrol gewonnen, aus Chlor und Ethylen Vinylchlorid. Beides sind Ausgangsstoffe für weitere wichtige Kunststoffe.

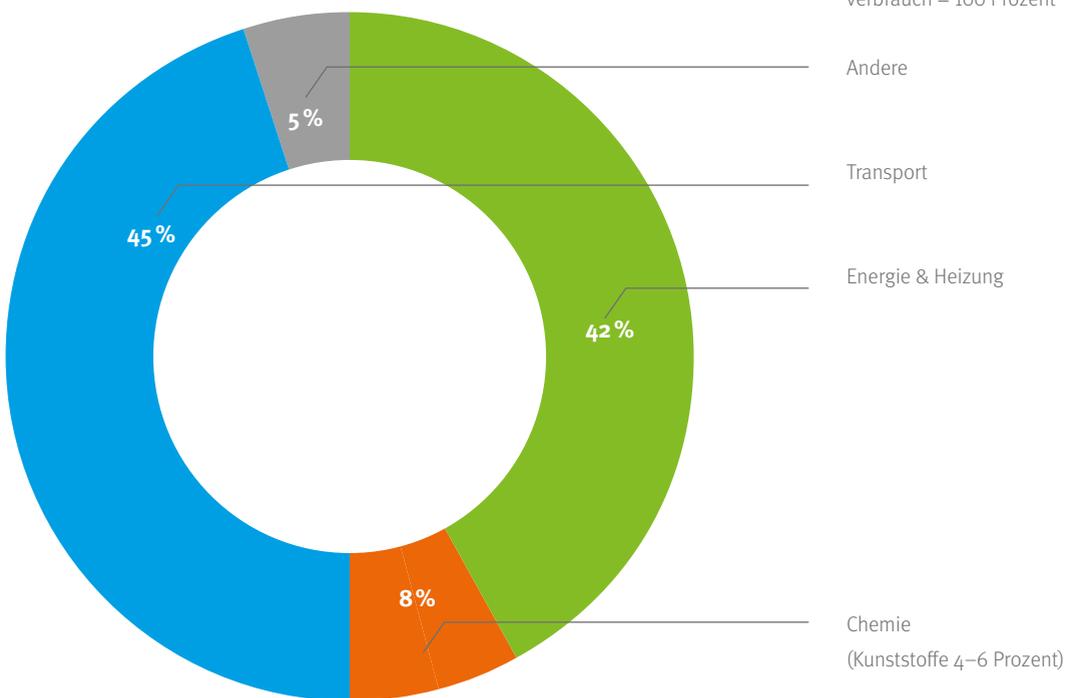
Wichtig ist, dass nur 4 – 6 Prozent des gesamten Erdöl- und Erdgasverbrauchs auf Kunststoffe entfallen.



Die Erzeugung von Kunststoff und die Herstellung von Kunststoffprodukten verbrauchen Energie. Viele Kunststoffprodukte helfen aber auch dabei Energie zu sparen. Mehr dazu in der **Sonderinformation 5 »Energie sparen mit Kunststoff«**.

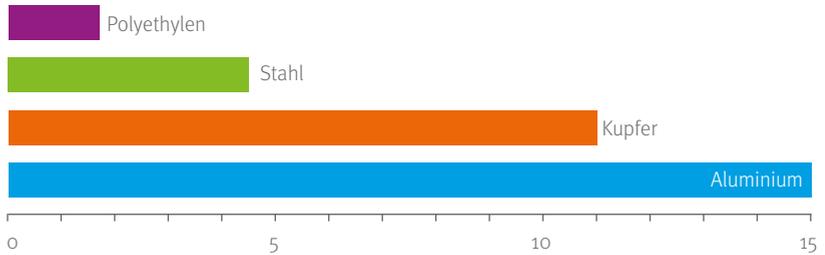
Die größten Erdölverbraucher in Europa sind heute mit einem Anteil von zusammen fast 90 Prozent Transport, Heizen und Energiegewinnung, also solche Verwendungen, bei denen die Erdölprodukte durch Verbrennen nur einmalig genutzt werden. Das meiste Erdöl wird demnach von den Brennern der Heizungen und den Motoren der Automobile geschluckt.

Anteil der Kunststoffe am Gesamt-Erdöl- und -Erdgasverbrauch in Westeuropa



Besprecht nun die aus dieser Grafik gewonnenen Erkenntnisse in eurer Arbeitsgruppe.

Alle Arbeitsprozesse brauchen Energie (Druck, Wärme, motorische Leistungen). Der Werkstoff Kunststoff verbraucht in seiner Gewinnung sehr wenig Energie. Wie günstig die Petrochemie arbeitet, zeigt dieser Vergleich. Für je 1 dm³ Werkstoff braucht man folgende Energiemengen (Kilogramm Öl-Äquivalent/Liter Werkstoff):

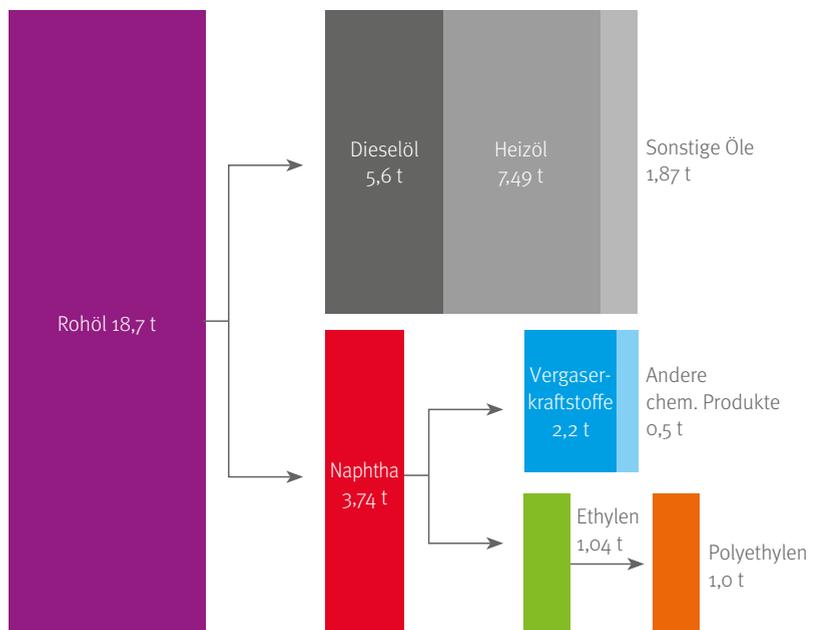


Erdöl ist ein unersetzlicher Rohstoff und eine endliche Ressource. Als Energieträger sollte es deshalb schnell anderen, regenerativen Energiequellen Platz machen. Dies ist so wichtig, dass die ganze Klasse die eben gegebenen Informationen diskutieren sollte.

Fraktionierturm



Im Verlauf der Fraktionierung von z. B. 18,7 Tonnen Erdöl (Rohöl), bei der neben Gasen und Teeren zu überwiegenden Anteilen Diesel- und Heizöl (70 Prozent) anfallen, gewinnt man außerdem 3,74 Tonnen Rohbenzin (Naphtha). Dieses wird im anschließenden thermischen Spaltprozess zu kleineren Kohlenwasserstoff-Verbindungen verarbeitet. Dabei fällt unter anderem etwas mehr als eine Tonne Ethylen an, aus der man eine Tonne Polyethylen herstellt.



KUNSTSTOFF AUS NACHWACHSENDEN ROHSTOFFEN

Die meisten Kunststoffe werden heute aus Erdöl hergestellt. Biokunststoffe auf Basis nachwachsender Rohstoffe erweitern die bestehende Kunststofffamilie in ganz speziellen Bereichen. »Biokunststoff« ist ein Sammelbegriff, der für zwei ganz unterschiedliche Konzepte verwendet wird, für biobasierte und für biologisch abbaubare Kunststoffe.

Biobasierte Kunststoffe werden aus nachwachsenden Rohstoffen hergestellt. Heute verwendet man in erster Linie Co-Polyester-Systeme, stärkebasierte Werkstoffe, Polymilchsäure und Zellulosewerkstoffe. Sie spielen etwa bei Verpackungen für Lebensmittel mit kurzer Haltbarkeit eine Rolle. Obst und Gemüse haben eine kurze Frischedauer, daher sind für diese Lebensmittel die speziellen Eigenschaften von Biokunststoffverpackungen gefragt, da sie in diesen Verpackungen länger frisch bleiben, weil das Material Wasserdampf durchlässt.

Auch Einweggeschirre und -bestecke aus Spritzguss sowie Verkaufsverpackungen aus biobasiertem Kunststoff und im Medizinbereich resorbierbare Implantate werden angeboten. Die Rohstoffbasis ist für die biologische Abbaubarkeit unwesentlich. Biologisch abbaubare Kunststoffe können sowohl auf nachwachsenden Rohstoffen als auch auf Erdöl basieren.



6. WIE KUNSTSTOFFE WERDEN

DAS ZWILLINGSSPIEL



Schau dir dieses Doppelbild einmal an.

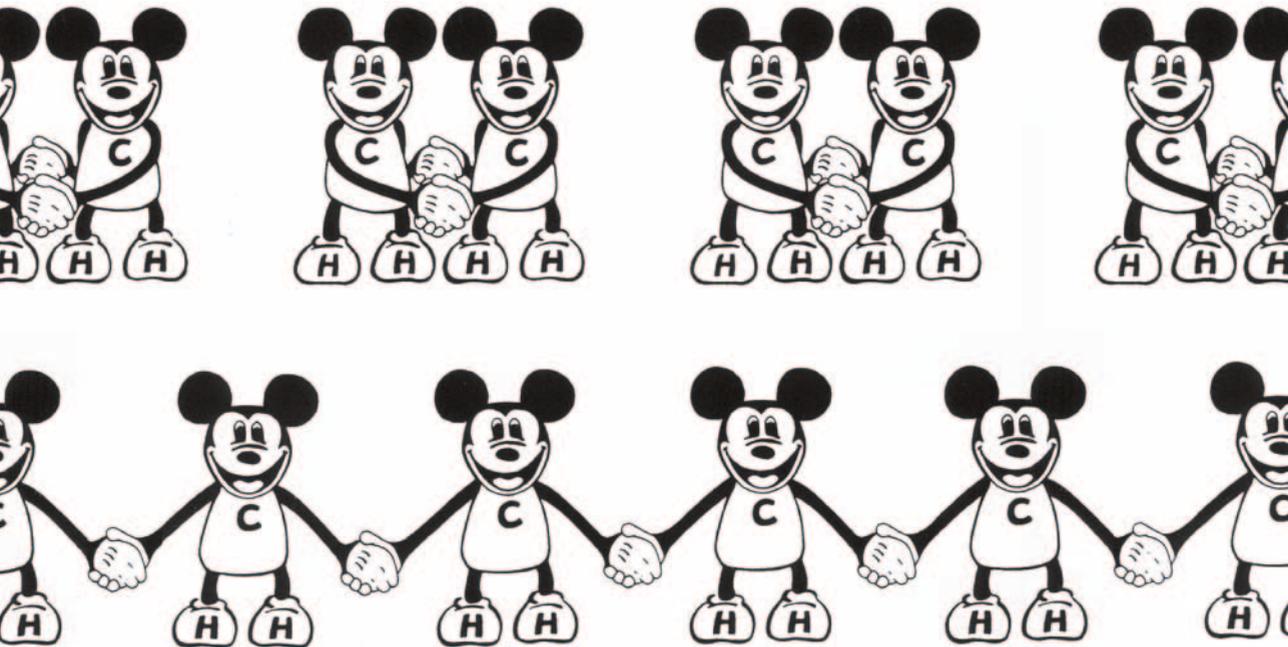
Es soll ein Modell dafür sein, wie ein Kunststoff entsteht.

Die Mickymauspaare der ersten Reihe symbolisieren Moleküle eines der wichtigsten gasförmigen Kohlenwasserstoffe für die Kunststoffsynthese, das Ethylen. Und in der zweiten Reihe siehst du, als Kette dargestellt, einen winzig kleinen Molekülabschnitt des entstandenen Produkts, des Polyethylens, nach der chemischen Reaktion, der Polymerisation.

Versuch einmal, den Vorgang mit deinen eigenen Worten zu beschreiben!



Was sagt deine Arbeitsgruppe dazu?



Kunststoffe entstehen dadurch, dass eine Vielzahl gleichartiger oder artverwandter Grundbausteine über chemische Bindungen miteinander verbunden werden.

In unserem Modell ist der Grundbaustein das Ethylenmolekül, dessen Strukturformel gewisse Ähnlichkeit mit den Mickymauspaares hat.

Bei der chemischen Reaktion wird die C=C-Doppelbindung gelöst und durch Verknüpfen der Einzelmoleküle das fadenförmige (kettenförmige) Makromolekül Polyethylen gebildet. **Solche Makromoleküle sind im Unterschied zu niedermolekularen Stoffen Riesenmoleküle.**

Die regelmäßige Aufeinanderfolge der aus Grundbausteinen entstandenen Molekülteile ist charakteristisch für den Strukturaufbau der Kunststoffe. Das rechts veranschaulichte Prinzip des Aufbaus nennt der Chemiker Polymerisation. Das entstandene Polyethylen findest du z. B. sowohl als Tragetasche (Kunststoffbeutel) als auch – schwarz oder grau gefärbt – als Mülltonne bei dir zu Hause.

Die eben beschriebene **Polymerisation** ist seit **1930** bekannt. Allerdings kennt man noch zwei weitere Kunststoff-Synthese-Verfahren.

Schon seit **1910** kennt man die **Polykondensation**. Die bekanntesten Produkte dieser Reaktion sind die Phenoplaste (Bakelite®), aber auch Polyamide (Perlon®) und Polyester. Erst **1937** gelang die **Polyaddition**. Per Polyaddition wird zum Beispiel Polyurethan erzeugt.

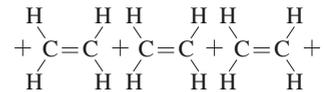
Mögen die Kunststoffe auch noch so verschieden sein, das Bauprinzip ist stets gleich. Alle Kunststoffe sind makromolekular.

Willst du mehr darüber wissen, lies die **Sonderinformation 6 »Kunststoff-Synthese-Verfahren«**.

 **Vielleicht haltet ihr jetzt ein Klassengespräch für notwendig!**



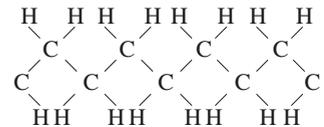
MOLEKÜLMODELL DES
ETHYLENS



Ethylenmoleküle haben reaktionsfähige Doppelbindungen.



MOLEKÜLMODELL DES
POLYETHYLENS (Ausschnitt)



Ethylenmoleküle haben sich zu einem fadenförmigen Makromolekül verbunden.

6

RIESIG GROSS UND DOCH SO WINZIG KLEIN – EIN GEDANKENSPIEL



Die Länge der Kettenmoleküle beträgt etwa ein Millionstel bis ein Tausendstel eines Millimeters. Die Dicke der Kettenmoleküle beträgt etwa zwei bis drei Zehnmillionstel eines Millimeters. Der Nobelpreisträger Staudinger sagte einmal: »Man könnte diese Moleküle schon unter dem normalen Mikroskop sehen, wenn sie nicht so dünn wären.«

Bevor sich jetzt jeder mit dem nächsten Infoteil beschäftigt, spricht in der Arbeitsgruppe darüber. Wenn es noch Fragen gibt, fragt euren Lehrer.

7. MILLIONEN BAUSTEINE MACHEN ERST DIE EIGENSCHAFT

Wir wollen heute mit einem Vergleich die Gründe für die Verschiedenheit der Kunststoffe einsichtig machen. Er ist angelehnt an eine Äußerung Hermann Staudingers, der damals das Neuartige der »Makromolekularen Chemie« klar machen wollte.

Das **Makromolekül** ist der **Baustein**.

Das Kunststoffprodukt ist das erstellte Gebäude.

Die Größe der Steine gibt dem Architekten die Möglichkeit der Anordnung und damit der Gestalt der Bauteile.

Die **Verbindung**, der **Mörtel** zwischen den Steinen, verleiht dem Bau die gewünschte Festigkeit.

Ebenso variieren die Eigenschaften der Kunststoffe je nach Größe, Gestalt, Ordnung und Bindung ihrer Makromoleküle, aber auch durch die Art der Anordnung der am Aufbau beteiligten Atome in den Makromolekülen. Das Makromolekül verhält sich also zum Kunststoffprodukt wie die Bausteine zum Gebäude. Ein bekanntes Beispiel dafür ist die **Polymerisation von Ethylen**.

Englische Chemiker (E. W. Fawcett; R. G. Gibson) erfanden im Jahre **1933** die sogenannte **Hochdruck-Polymerisation** des Ethylens, die einen Druck von ca. 2.000 bar erforderte. Der Deutsche Karl Ziegler erfand **1953** das sogenannte **Niederdruck-Polymerisations-Verfahren** bei normalem Luftdruck.

Niederdruck-Verfahren (PE-HD)

hohe Dichte: 0,94–0,96 g/cm³

zäh-hart, hoch-kristallin

wenig verzweigte Ketten

wird verwendet u. a. für

Benzintanks

druckfeste Rohre

Flaschentransportkästen

Tanks bis 10.000 Liter Inhalt

Hochdruck-Verfahren (PE-LD)

niedrige Dichte: 0,92–0,94 g/cm³

zäh-weich, niedrig-kristallin

stark verzweigte Ketten

wird verwendet u. a. für

Folienherstellung

Kabelummantelungen

Haushaltsgegenstände

kleine, flexible Flaschen

High Density = hohe Dichte

Low Density = niedrige Dichte



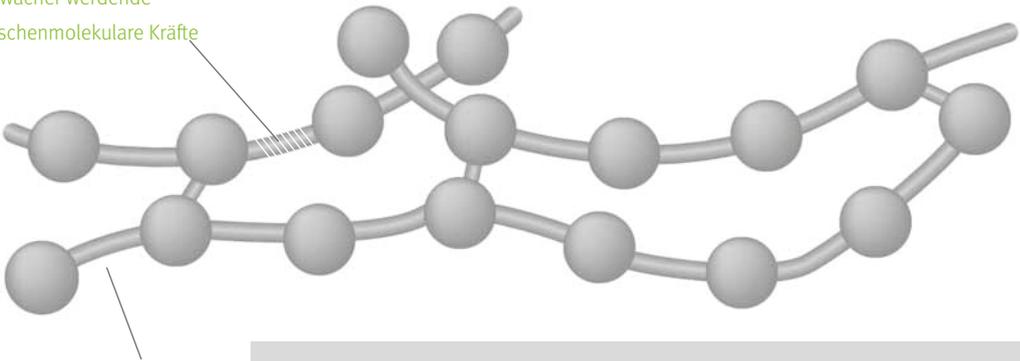
Besprecht die Gegenüberstellung nun in der Gruppe.



Nicht alle in der Gegenüberstellung genannten Eigenschaften sind dir bekannt, darum noch einige wichtige Informationen.

Bei höheren Temperaturen schwächer werdende zwischenmolekulare Kräfte

Bindungskräfte in einem thermoplastischen Kunststoff



Relativ temperaturbeständige kovalente Bindungen

Daraus ist abzuleiten: Je länger die Molekülketten und je ausgeprägter die Wechselwirkungen zwischen ihnen, desto breiter wird der Schmelzbereich.

Die zwischenmolekularen Kräfte – bei Kunststoffen sind dies meist nur die sogenannten »Van-der-Vaals-Kräfte« (nach dem Niederländer Van der Vaals) – sind mitentscheidend für die physikalischen Eigenschaften der Kunststoffe. Sie bewirken, dass es bei Kunststoffen einen Temperaturbereich gibt, in dem sie vom festen über einen pastösen in den flüssigen Zustand übergehen. Wohldefinierte Umwandlungspunkte, Schmelzpunkte und Siedepunkte haben sie nicht.

Makromoleküle sind die Bausteine der verschiedenen Kunststoffe. Und viele Millionen dieser winzigen Bausteine zusammen ergeben erst einen greifbaren Stoff mit seinen besonderen Eigenschaften.

Aus einfachen Bausteinen lassen sich Bauteile und ganze Bauwerke herstellen, Wohnhäuser, Fabrikhallen, Kathedralen; Konstruktionen, die nur der Baumeister ersinnen konnte. Ähnliches gilt für die Makromoleküle, die auch wie Bausteine sind. Aus ihnen lässt sich das Gebäude des Werkstoffs bauen und in vielfältige Formen bringen.

Auch können die kettenförmigen und verzweigten Makromoleküle untereinander verschieden gelagert sein: entweder in völliger Unordnung ineinander verknäutelt wie Filz oder Watte.

Diesen Zustand nennt man amorph (gestaltlos). Amorphe Kunststoffe sind glasartig, transparent und meist spröde.

Oder die Kettenmoleküle liegen streckenweise in völliger Parallel-Ordnung (wie Streichhölzer in der Schachtel). Die Makromoleküle können aber nicht in ihrer ganzen Länge in so ein Gitter eingebaut werden, deshalb sind diese Bereiche immer sehr klein. Man nennt diese Bereiche »**Kristallite**« (Krystallos = Eis, Bergkristall). Ein Kristall ist ein Festkörper mit periodisch regelmäßig angeordneten Bausteinen, Atomen, Ionen, Molekülen. Ein Kristallit ist ein willkürlich begrenztes Kriställchen, ein Strukturelement. Die restliche Länge der Molekülfäden verteilt sich auf biegefähige Schlaufen.

Teilkristalline Kunststoffe sind nicht klar durchsichtig, sondern opak, durchschimmernd, aber wärmebeständiger als amorphe.

Kunststoffe mit unverknüpften, linearen oder verzweigten Makromolekülketten sind plastisch formbar.

Durch Erwärmen lassen sie sich in den plastischen Zustand bringen und formen. Man nennt sie Thermoplaste (thermos = warm; plasso = bilden); sie sind also wärmebildsam.

Kunststoffe mit räumlich verknüpften Makromolekülen sind nicht mehr plastisch formbar.

Sind die Makromoleküle räumlich weitmaschig vernetzt, wird der Kunststoff gummielastisch. Weitmaschig vernetzte Kunststoffe nennt man **Elastomere**.

Der Chemiker baut in die Molekülketten der Ausgangsstoffe in gleichmäßigen Abständen »Haken und Ösen«, chemisch reaktive Moleküle, ein.



amorph

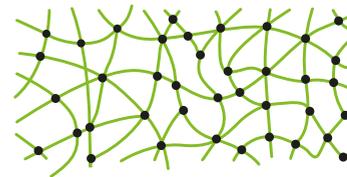


teilkristallin

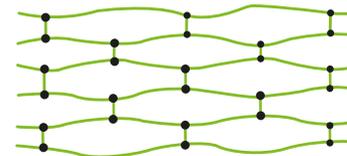
Das Makromolekül kann verschiedene Erscheinungsformen haben:



Thermoplaste sind kettenförmig eindimensional oder strauchähnlich verzweigt.



Duroplaste sind netzförmig eng verknüpft.

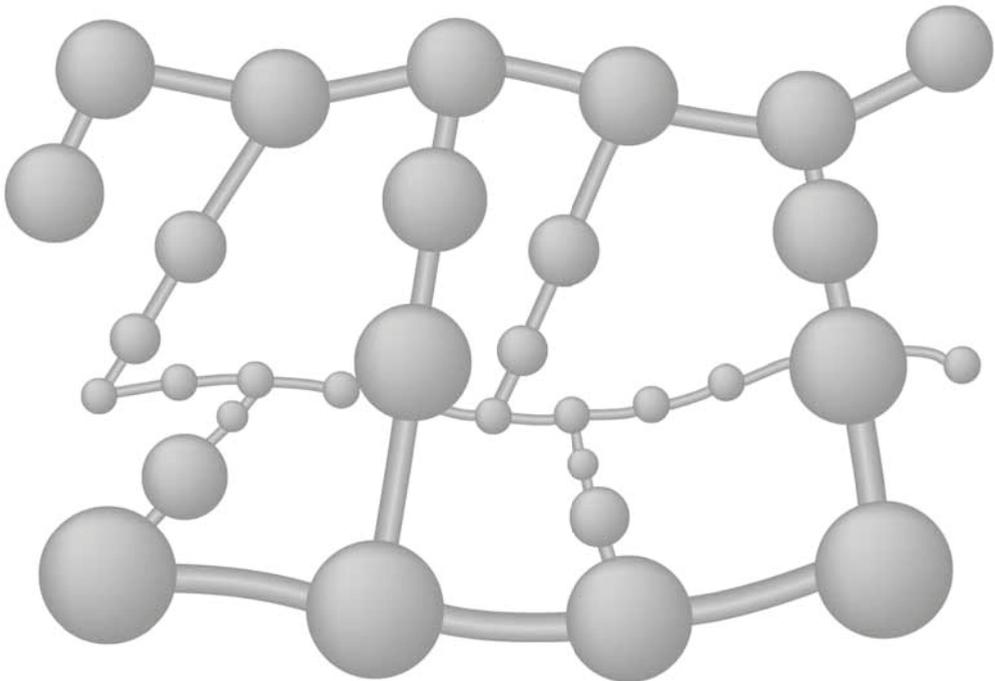


Elastomere sind weitmaschig verknüpft. Duroplaste wie Elastomere sind aber immer raumnetzförmig, dreidimensional, als wären übereinanderliegende Netze miteinander verknötet.

Bei Zug oder Druck können die verknüpften Kettenteile aneinander vorbeigleiten, sie können sich sogar elastisch strecken. Die Ketten selbst werden durch die kovalenten Primärbindungen im Ganzen zusammengehalten. Beim Nachlassen der äußeren Kraft nehmen die Kettenteile infolge der »Wärmebewegung« wieder die ursprüngliche verknäulte Lage ein (Memory-Effekt).

Sind die Makromoleküle dreidimensional eng vernetzt, bilden sie ein unlösbares starres Raumnetz.

Theoretisch sind sie ein einziges riesiges Molekül. Man nennt sie darum **Duromere** (durus = hart). Bei Erwärmung verändern Duromere ihren Zustand nur unmerklich und behalten bis zur Hitzersetzung ihren starren Zustand.



Räumlich (dreidimensional) verknüpfte Makromoleküle.



Ausführlicher berichtet darüber die **Sonderinformation 7 »Strukturen der Kunststoffe«**.

ENERGIE SPAREN MIT KUNSTSTOFF

Im Kapitel 5 habt ihr folgende Werte für den Erdölverbrauch erfahren: Transport 45 Prozent, Energie und Heizung 42 Prozent, Kunststoff 4–6 Prozent, Andere 7–9 Prozent.

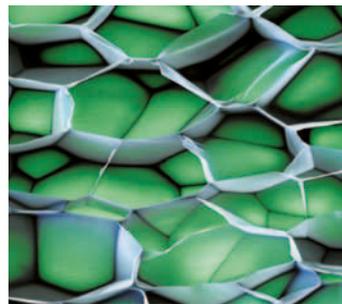
Mit 100 kg Öl kann eine Vierzimmerwohnung eine Woche lang beheizt werden. 100 kg Ölprodukte reichen gerade für eine Autofahrt von Mannheim nach Hamburg und zurück. 100 kg Ölprodukte aber liefern der Kunststoffindustrie die Rohstoffe für: 55 m² Teppichboden aus Polyamid oder alle Elektroisolierungen eines Hauses mit sechs Vierzimmerwohnungen oder die Hälfte der darin installierten Abwasserleitungen oder 3.500 Tragetaschen aus Polyethylen-Folie oder 8.000 Joghurt-Becher aus Polystyrol oder 13.000 medizinische Einwegspritzen aus Polypropylen. Das sollte zu denken geben!

Schade um jeden Liter Öl, der unwiederbringlich durch den Schornstein oder durch den Auspuff gejagt wird.

Durch den Einsatz von Kunststoffen werden Energie und Rohstoff gespart, und zwar in mancherlei Hinsicht: Ein großer Teil der Kunststoffproduktion wird zu langlebigen Wirtschafts- und Gebrauchsgütern verarbeitet (z. B. Wärmedämmstoffe in der Bauindustrie). Gebrauchte Kunststoffgüter (z. B. auch Verpackungsmaterialien) können verwertet werden. In Deutschland beträgt die Verwertungsquote etwa 99 Prozent. Es kommen verschiedene Verwertungsverfahren zum Einsatz, die später behandelt werden.



Wärmedämmung durch vorfabrizierte Dämmplatten oder durch direktes Aufschäumen.



Z. B. aus solchen Kügelchen entsteht eine Kunststoffwärmedämmung.

KUNSTSTOFF-SYNTHESE-VERFAHREN

Es kann zur Bildung von hochmolekularen Stoffen kommen, wenn man von **polyfunktionellen** Verbindungen ausgeht. Zumindest müssen die Verbindungen **bifunktionell** sein.



Molekülmodelle funktio-
neller Gruppen; diese sind
reaktionsfähige Teile der
Moleküle.

Funktionelle Gruppen (functio = Verrichtung) sind Wirkgruppen, das heißt Atomgruppen in organischen Molekülen, die besonders charakteristische Reaktionen hervorrufen können, z. B. Aminogruppen, Hydroxylgruppen, aber auch Doppelbindungen.

Ein Eisenbahnzug lässt sich nur zusammenstellen, wenn sich an den Wagen vorn und hinten Kupplungsmöglichkeiten befinden (bifunktionell).

Form und Dimension der in Reaktion tretenden Moleküle – auch die Anzahl und die Stellung der in ihnen vorhandenen reaktiven (wirksamen) Gruppen – bestimmen die Eigenschaften der Reaktionsprodukte.

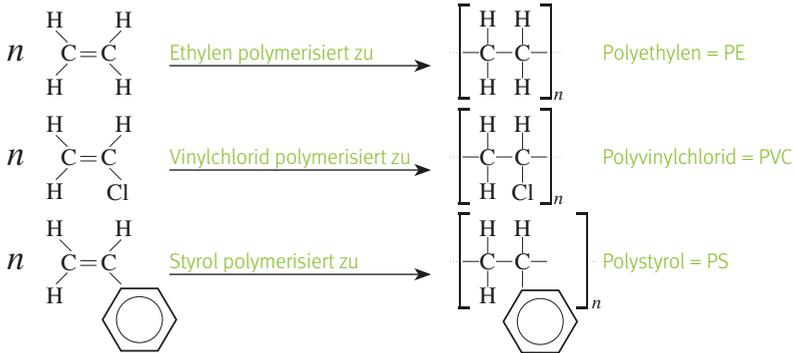
Bei der Aneinanderreihung zweier Stoffe, die jeweils bifunktionell sind, entstehen stets nur lineare Produkte, die sich durch Hitzeeinwirkung in den geschmolzenen Zustand umwandeln.

Der Übergang zu unlöslichen, unschmelzbaren Harzen ist gewährleistet, wenn mindestens einer der Ausgangsstoffe tri- oder sogar höherfunktionell (polyfunktionell) ist.

POLYMERISATION

Sie ist eine **chemische Reaktion zumeist unter Einfluss von besonderen Katalysatoren**, die aus kleinen Bausteinen (Grundmolekülen) mit mindestens je einer C=C-Doppelbindung (Ausnahme: Methanal mit einer C=O-Doppelbindung) den Zusammenbau einer Molekülkette bewirken. Die Doppelbindung wird aufgespalten, dadurch werden kräftige Valenzbindungen zu den Nachbarmolekülen frei. Es bilden sich keine Nebenprodukte.

Die Grundmoleküle können gleich sein:
Ethylen polymerisiert zu Polyethylen (PE)
Vinylchlorid polymerisiert zu Polyvinylchlorid (PVC)
Styrol polymerisiert zu Polystyrol (PS)



Es polymerisieren aber auch unterschiedliche ungesättigte Komponenten miteinander:

z. B. zu Styrol-Acrylnitril-Copolymerisat (SAN),

z. B. zu Acrylnitril-Butadien-Styrol-Copolymerisat (ABS).

Beide sind modifizierte Polystyrole.

POLYKONDENSATION

Sie ist eine chemische Reaktion zwischen bi- oder mehrfunktionellen Molekülen. Dabei werden einfache Verbindungen wie Wasser oder Chlorwasserstoff abgespalten. Bifunktionelle Verbindungen liefern viele thermoplastische Fadenmoleküle, höherfunktionelle Moleküle dagegen ein einziges duroplastisches Raumnetzmolekül. Die bekanntesten Polykondensate sind

- Phenol-Formaldehyd-Harze (= Phenoplaste), duroplastisch,
- Polyamide (Nylon[®]-, Perlon[®]-Typen), lineare, thermoplastische Polyester,
- vernetzte Polyester als duroplastische Lacke und Gießharze.

POLYADDITION

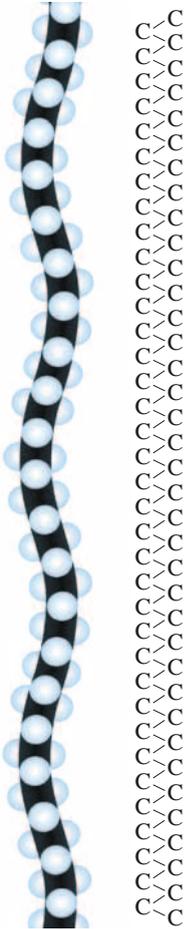
Bei dieser chemischen Reaktion werden unter Wanderung von Wasserstoffatomen mindestens bifunktionelle verschiedenartige Verbindungen stufenweise addiert. Es entstehen keine Nebenprodukte. Zwei große Kunststoffarten werden heute nach diesem Verfahren hergestellt: die Polyurethane und die Epoxidharze.

Man kann Kunststoffe nach ihrer Herstellung einteilen in: Polymerisate, Polykondensate, Polyaddukte.

Beim Mischen zweier Komponenten (Isocyanat und Polyol) entsteht Polyurethan-Hartschaum.



STRUKTUREN DER KUNSTSTOFFE



Gut zu erkennen ist die zentrale schwarze Kette der C-Atome eines Moleküls in gestreckter Lage.

Die **Sonderinformation 6** gab Auskunft über die Syntheseverfahren und die Einteilung in Polymerisate, Polykondensate, Polyaddukte. Eine andere Klassifizierung kann man nach dem strukturellen Aufbau und damit nach dem Verhalten in der Wärme vornehmen.

In einem linearen Molekül – bei einer molekularen Masse von über 10.000 ist es aus 1.000 und mehr Atomen aufgebaut – sind die Kohlenstoff-Atome durch chemische Bindungen (kovalente Bindungen) miteinander verbunden. Die in konstantem Abstand aufeinander folgenden C-Atome stellen aber kein starres Gebilde dar. Die »Drehbarkeit« um die Achse der C-C-Bindungen innerhalb der Kohlenstoffkette erlaubt dem Makromolekül alle möglichen Lagen. **Aufgrund dieser Beweglichkeit kann das Makromolekül als Ganzes verschiedenste Gestalt annehmen.**

Die wahrscheinlichste Gestalt ist die lose Knäuelform. Die Makromoleküle verknäulen und verschlaufen sich aber durch die thermische Molekularbewegung auch untereinander.

Auch bestehen zwischen den Molekülketten zwischenmolekulare Kräfte (Van-der-Vaals-Kräfte). Diese sind ganz entscheidend für das mechanische Verhalten der Kunststoffe. Bei geringer thermischer Bewegung werden die ineinander verknäulten Moleküle unentwirrbar zusammengehalten.

Von niedrigmolekularen Substanzen kennen wir alle das Schema der physikalischen Zustände:

Eis	↔	Wasser	↔	Dampf
fest	↔	flüssig	↔	gasförmig

Die Umwandlungsprodukte sind für jeden Stoff genau definiert.



Überlege einmal, warum die makromolekularen Stoffe keine definierten Schmelz- und Siedepunkte haben können. Stell dir vor, du müsstest durch Erwärmen den Makromolekülen mit den vielen tausend Atomgruppen so viel Energie mitteilen, dass sie sich ganz voneinander lösen wie die Wassermoleküle, wenn Wasser verdampft. Die Makromoleküle der Kunststoffe werden vorher thermisch zerstört.

Beim Kunststoff gibt es keine scharfen Temperaturgrenzen, bei denen er seine physikalischen Eigenschaften schlagartig ändert.

Mancher Kunststoff kann bei Temperaturerhöhung über einen breiten Temperaturbereich hin erweichen. Die Sekundärbindung zwischen den Molekülketten wird mehr und mehr überwunden. Diese Kunststoffe weisen so eine breite Skala von Übergangsformen zwischen festem und flüssigem Zustand – etwa wie Kerzenwachs – auf. Solche Zwischenzustände zwischen fest und flüssig sind nur für **Kunststoffe mit linearen oder verzweigten Makromolekülen** möglich: **Thermoplaste**. Allerdings kann man bei erhitzten Thermoplasten nicht von einer Flüssigkeit im normalen Sinn sprechen. Man bezeichnet diese Eigenschaft besser als plastisch-elastisch bis plastisch-fließbar. Diese Eigenschaft erweitert ihre Anwendbarkeit und ermöglicht die besonderen Verarbeitungstechniken des Prägens, Biegens und Tiefziehens im thermoelastischen Zustand, des Pressens, Spritzgießens und Strangpressens im plastischen Zustand.

Ganz anders verhalten sich Polymere mit Makromolekülen, die durch chemische Bindung in allen Richtungen des Raumes **mehr oder weniger eng vernetzt** sind. Die Verknüpfungen sind auch bei hoher Temperatur nicht aufzulösen. Das bedeutet Unschmelzbarkeit und damit verhältnismäßig hohe Wärmebeständigkeit, aber auch die Unmöglichkeit des thermoelastischen Umformens.

Weitmaschig vernetzte Kunststoffe, Elastomere, lassen sich dehnen. Sie schnellen dann wieder elastisch zusammen. Eine **enge chemische Vernetzung** beeinträchtigt die thermische Beweglichkeit der Makromoleküle so weitgehend, dass diese Stoffe nur in glasig-starrem Zustand vorliegen: **Duomere**.

Zur Verarbeitung werden ihre Vorprodukte noch als viskose Flüssigkeit durch Gießen oder als plastische Masse geformt. Im Anschluss daran läuft der Vorgang der »Härtung« durch dreidimensionale chemische Vernetzung.





TEIL C

**VOM GRANULAT BIS ZUM
AUFSETZEN 40 SEKUNDEN.**



Im Zeittakt von 40 Sekunden kommen die Helmkörper aus der Spritzgießmaschine, in der Stunde 90 Stück. Der Helmkörper ist fertig, es fehlen aber noch die Einlagen, die das Tragen angenehm machen.

Den kleinen Körnchen, dem Granulat, sieht man es gar nicht an, was in ihnen alles steckt. Die für die Aufgaben des Helms geforderten Eigenschaften vermag ein einzelner Kunststoff zu leisten, in diesem Fall das Polyethylen. Dieses bringt gute Oberflächeneigenschaften und gute Verarbeitbarkeit mit. Es hat ein geringes Gewicht und erleichtert daher das Tragen. Es ist hinreichend steif, beständig gegen Spannungsrissbildung und hat eine hohe Schlagzähigkeit, die der spätere Besitzer des Helms besonders zu schätzen weiß. Darum trägt er ihn ja auch.

Als teilkristalline Thermoplaste haben diese Formmassen eine Schmelztemperatur von ca. 120 °C. Deshalb können sie mit den für Thermoplaste üblichen Verfahren wie Spritzgießen und Extrudieren verarbeitet werden.



TEIL C

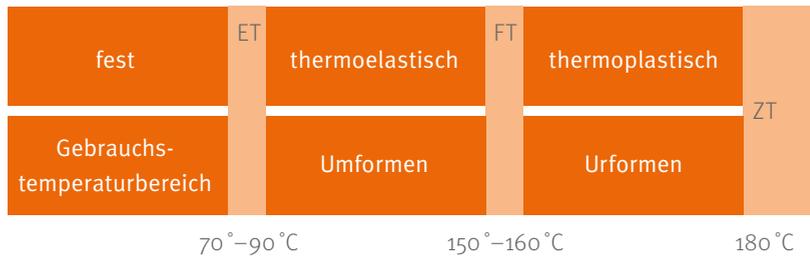
VOM KUNSTSTOFF ZUM FERTIGPRODUKT

8. Be- und Verarbeitung von Kunststoffen	
Grundlagen	56
Wichtige Verarbeitungsverfahren	58
Extrudieren	59
Spritzgießen	60
Kalandrieren	61
Extrusionsblasformen	62
Schäumen	63
Historisches	64
9. Berufe rund um Kunststoff	66
10. Dynamische Kunststoffindustrie	70

8. BE- UND VERARBEITUNG VON KUNSTSTOFFEN – GRUNDLAGEN

Für das Verarbeiten von Kunststoffen ist die Temperatur eine sehr wichtige Einflussgröße. Das kann man am besten mit den »Zustandsbereichen« der Polymere erklären. Zu deinem Verständnis soll die folgende Grafik eine Hilfe sein. Amorphe Thermoplaste wie z. B. PVC-U (Hart-PVC) zeigen besonders deutlich, wie Erwärmen ihr mechanisches Verhalten ändert, wie sie die verschiedenen Zustandsbereiche durchlaufen, wenn sie erwärmt oder abgekühlt werden.

ET = Erweichungs- bzw. Erstarrungs- bzw. Glastemperaturbereich
 FT = Fließtemperaturbereich
 ZT = Zersetzungstemperaturbereich



Zur Ergänzung muss noch Folgendes gesagt werden: Die unterschiedliche Molekülstruktur der amorphen und teilkristallinen Thermoplaste bewirkt auch ein unterschiedliches Formänderungsverhalten, das besonders beim Umformen berücksichtigt werden muss.

Niedermolekulare Feststoffe (wie z. B. Eis) zeigen beim Erwärmen zunächst keine merkliche Veränderung. Bei der Schmelztemperatur bricht die kristalline Struktur zusammen, die Moleküle werden frei beweglich, der Stoff schlagartig flüssig.

Hochmolekulare Polymere dagegen zeigen schon deutlich unter dem Schmelzpunkt wesentliche Veränderungen. Zuvor harte, spröde und steife Kunststoffe werden in einem breiten Temperaturbereich zunächst weich und dann plastisch verformbar.



Grafik und Informationen geben wichtige Hinweise zum Umgang mit diesen Werkstoffen. Versucht nun die Unterschiede zwischen niedermolekularen und polymeren Feststoffen herauszuarbeiten, wobei ihr zusätzliche Anregungen der Sonderinformation 7 »Strukturen der Kunststoffe« entnehmen könnt.



Die Formgebung von Kunststoffen kann durch **Urformen** und **Umformen** erfolgen. Die Formgebungsverfahren direkt aus den Formmassen nennt man Urformen.

Umformen ist das Fertigen von festen Körpern aus formlosem Stoff (Formmasse) durch Schaffen eines Zusammenhalts.

In der Kunststoffverarbeitung können Formmassen als Granulat, Paste oder Lösung vorliegen. Umformen ist anwendbar bei Thermoplasten, Duroplasten und Elastomeren.

Umformen ist die Weiterverarbeitung von Halbzeug aus Thermoplasten zu Formteilen.

Halbzeuge sind durch Umformen von Kunststoffrohstoffen hergestellte Erzeugnisse in Form von Folien, Tafeln, Rohren, Profilen und Blöcken. Aus diesen können durch Umformen wie z. B. Abkanten, Biegen oder Tiefziehen Fertigerzeugnisse hergestellt werden.

Die **Gestaltänderung** eines Halbzeugs in eine neue, endgültige Form erfolgt meist durch Thermoformen. So wird eine Tafel zu einem Schacht abgekantet oder ein Rohrende zu einer Muffe geweitet. Folien oder Platten werden zu Bechern, Schachteln und Kühlschranksgehäusen umgeformt.

Das Prinzip: Durch Erwärmen werden Thermoplaste weich und verformbar. Mit geringem Kraftaufwand können sie in diesem Zustand umgeformt werden. Während die Formkraft aufrechterhalten wird, wird gekühlt; der Werkstoff wird wieder fest und formstabil. Seine ihm gegebene Form behält er bei.

Aber der so geformte Thermoplast kann sich seiner Ausgangsform auch »erinnern«. Die Beweglichkeit der einzelnen Molekülketten ermöglichte die starke Verformung des Werkstoffs. Wird nun erneut bis in den thermoelastischen Bereich erwärmt, so »erinnern« sich die Moleküle an ihre vorherige geknäulte Form und nehmen diese Ausgangslage wieder ein.



Granulat



Pulver



Lösung



Paste

BE- UND VERARBEITUNG VON KUNSTSTOFFEN – WICHTIGE VERARBEITUNGSVERFAHREN

MASCHINELLE VERFAHREN

Extrudieren

Extrusionsblasformen

Kalandrieren

Spritzgießen

Pressen

Rotationsformen

Schäumen

Gießen

Thermoformen

Beschichten

ERZEUGNISSE

Profile, Rohre, Tafeln, Folien,
Kabel- und Profilmantelungen

Hohlkörper

Folien, Bahnen

Formteile, z. B. Flaschenkästen,
Tassen, Zahnräder, Gehäuse

Formteile, Tafeln, Blöcke, Profile,
Lamine, Leiterplatten

Hohlkörper

Blöcke, Tafeln, Bahnen, Formteile

Folien, Blöcke, Formteile, Beschichtungen

Tiefziehen von Bechern, Verpackungen,
Wannen, Bootskörpern

kunststoffbeschichtetes Gewebe,
Papier, Holz, Bleche

MANUELLE VERFAHREN

Gießen

Schaumgießen

Thermoformen

ERZEUGNISSE

Formteile, Einbettungen

Hohlraumverfüllungen, Beschichtungen,
Groß-Formteile

Biegen von Rohren und handwerkliche
Warmformungen



Ein Fenster hat die Prüfung der Eckfestigkeit neben einer Reihe anderer Prüfverfahren zu bestehen.

Auch andere Produkte wie z. B. Kunststoffstühle, Kunststoffflaschenkästen, Kunststoffmülltonnen, Kunststoffrohre werden vor ihrer Verwendung noch mancher kritischen Prüfung unterzogen.

Nicht alle Verfahren können hier behandelt werden. Es sind nur die wichtigsten ausgewählt. Auf den folgenden Seiten werden das Extrudieren, Spritzgießen, Extrusionsblasformen und Schäumen näher erläutert.



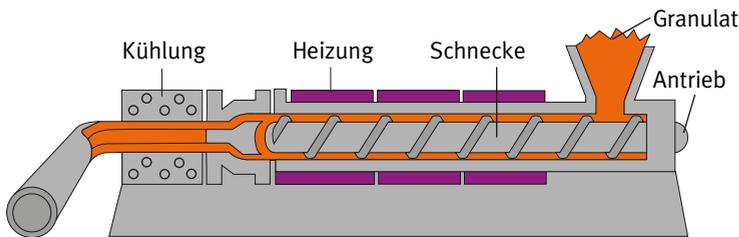
Wenn du dir die Liste der Erzeugnisse ansiehst, muss dir etwas auffallen.



Unterhaltet euch in der Gruppe darüber. Das Beste ist, ihr macht euch Notizen, um eure Erkenntnisse mit denen der nächsten Information vergleichen zu können.

EXTRUDIEREN

Extrudieren (extrudere = herausschieben). Dieses kontinuierliche (continuum = lückenlos zusammenhängend; stetig, fortdauernd) Verfahren wird eingesetzt zur Herstellung von Halbzeugen; so nennt man Folien, Tafeln, Profile, Rohre, Ummanntelungen, die noch weiterverarbeitet werden müssen, damit ein Gebrauchsgegenstand daraus wird. Als Formmasse werden Thermoplaste in Pulver- oder Granulatform (granulum = Körnchen) verwendet.



In einem beheizten Zylinder dreht sich eine Schnecke, welche die Formmasse nach vorn fördert, verdichtet, plastifiziert (aufschmilzt) und homogenisiert (homogen = gleichmäßig). Vor den Schneckenzyylinder ist ein Werkzeug gesetzt. Dieses gibt der plastisch austretenden Masse die gewünschte Form: z. B. Rohre, Profile, Tafeln, Folien.

Dieses Arbeitsprinzip entspricht etwa dem des Fleischwolfs. Der Unterschied: Die Wand des Extruderzylinders ist geheizt und hat keine Rippen und die tiefgeschnittene Schraube, die »Schnecke«, ist viel länger als beim Fleischwolf.

Ein Versuch, der allerdings nur das Fördern zeigt: Eine große Holzschraube und ein dazu passendes Reagenzglas, große Zuckerkörner o. Ä. als Granulat. Man kann sehen: Das im Reagenzglas flachliegende »Granulat« wird von den Schraubengängen vorwärts befördert.

SPRITZGIESSEN

Das Verfahren ist stark verbreitet, weil damit auch komplizierte Formteile von hoher Qualität und Maßgenauigkeit meist ohne Nacharbeit hergestellt werden können. Es werden vorwiegend Thermoplaste und in geringem Maße auch Duroplaste und Elastomere verarbeitet.

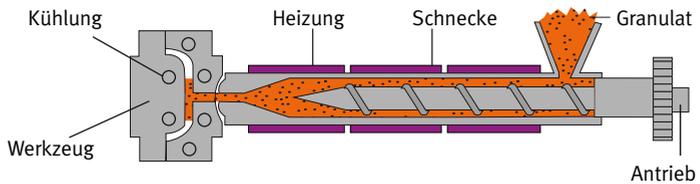
Die Spritzgießmaschine besteht aus der »Spritzinheit« und der »Schließeinheit«. Die Spritzinheit ist ein Extruder mit hin- und herbeweglicher Schnecke, die die Formmasse fördert, plastifiziert und ausstößt.



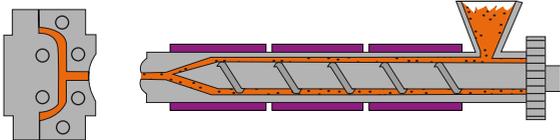
Spritzgegossene Teile und
Spritzgießmaschine

Die Schließeinheit öffnet und schließt das Werkzeug, in dessen Hohlraum die plastische Masse vom Schneckenkolben der Spritzinheit über ein Angussystem eingespritzt wird.

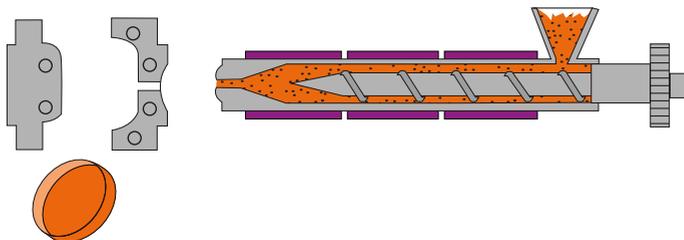
Einspritzen, unter
Nachdruck abkühlen



Plastifizieren und weiteres
Abkühlen



Entformen, fertig für den
nächsten Schuss



KALANDRIEREN

Kalandrieren (calandrer = rollen, mangeln). Dieses Verfahren hat seine größte Bedeutung bei der Herstellung von Folien aus PVC und beschichteten Geweben. Kunststoffe, deren Schmelze sehr dünnflüssig ist (wie z. B. Polyethylen), können auf Kalandern nicht verarbeitet werden.

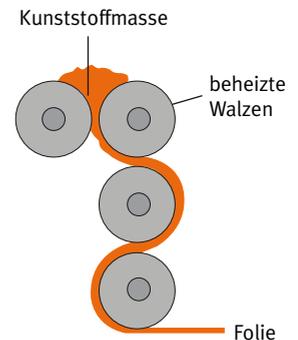
Aus dem Kalandrer kommt Halbzeug in den meisten Fällen in Form von Folien, in besonderen Fällen auch als Platten. Verwendungsmöglichkeiten: Kollegmappen und Schulranzen, Planen, Bespannungen, Berufs-, Schutz- und Warnkleidung, Hauben, Mappen, Ordner, Hüllen, Ringbücher, Taschen, Polster- und Schonbezugsfolien, auch für die Automobilinnenausstattung, Kinder- und Puppenwagen, Dekorfolien, Lichtfilterfolien, Tapeten, Fußbodenbeläge, Folien für den Gartenbau und vieles andere mehr.

Polyvinylchlorid wird im plastischen Zustand zwischen zwei oder mehreren Walzen zu einem endlosen Folienband breitgewalzt. Nach Verlassen des Kalanders kann die Folie durch Prägen (z. B. mit Ledernarbung), Bedrucken, Beflocken, Metalisieren weiter behandelt werden.

Dieses Arbeitsprinzip entspricht ganz einfach der Teigrolle.



Folienziehen auf dem Kalandrer





EXTRUSIONSBLASFORMEN

Dieses Verfahren dient der Herstellung von Hohlkörpern aus Thermoplasten. Ein Extruder presst einen fast plastischen Schlauch in ein zweiteiliges Hohlwerkzeug. Durch das Schließen des Werkzeugs wird der Schlauch oben und unten luftdicht abgequetscht. Eingeblassene Luft drückt ihn dann an die abkühlenden Innenwände des Werkzeugs und formt ihn so zum Hohlkörper.



3D-DRUCK

Zu den bekannten Be- und Verarbeitungsverfahren von Kunststoffen ist in der jüngeren Vergangenheit eine neue Methode hinzugekommen: der 3D-Druck. Dabei werden Gegenstände mit einem speziellen Drucker Schicht für Schicht dreidimensional (3D) aufgebaut. Zunächst wurde 3D-Druck vor allem genutzt, um schnell Prototypen für die spätere Serienfertigung herzustellen, dann auch, um gezielt spezielle Ersatzteile zu produzieren oder Serien in kleinen Auflagen zu erstellen. Der 3D-Druck ist ein so genanntes additives Fertigungsverfahren. Während bei allen materialabtragenden Verfahren wie Bohren, Fräsen oder Schneiden systembedingt Abfälle entstehen, gibt es beim 3-D-Druck kaum Materialverluste. Und anders als beim Spritzgießen braucht man zum Drucken keine Form herzustellen. 3D-Druck eignet sich eher für kleine Objekte und nicht alle Kunststoffe sind dafür geeignet.



Nun spricht in der Klasse über die Verarbeitungsverfahren.

SCHÄUMEN

Schäume begegnen uns häufig im täglichen Leben. Wir entspannen, wenn wir uns im Badeschaum wohlig versinken lassen. Eischnee und Schlagsahne sind weitere Beispiele alltäglicher Schäume, aber auch die Blume auf dem Bierglas.

Neben diesen vergänglichen Schäumen gibt es auch feste, dauerhafte Naturprodukte mit schaumartiger Struktur, z. B. Naturschwamm, Kork, Tuffstein. Bei allen ist durch zahlreiche luftgefüllte Hohlräume das Raumgewicht (die Dichte) stark verringert.

Schaumkunststoffe bilden eine besondere Gruppe der großen Familie der Schaumstoffe und werden nach verschiedenen Verfahren hergestellt. In die Grundmasse wird wie beim Eischnee durch Rühren Gas eingebracht oder Gas wird wie bei der Konditorsahne eingeblasen. Schließlich können schon bei der Herstellung der Grundmasse chemische Treibmittel zugesetzt werden, in letzter Zeit Kohlendioxid oder Cyclopentan. Beim Erstarren werden die Gasbläschen in der Gerüstsubstanz fixiert und verleihen der Masse eine geringe Dichte.

Schaumstoffe haben in den vergangenen Jahren immer mehr an wirtschaftlicher Bedeutung gewonnen, nicht zuletzt deshalb, weil sich viele Polymerisate (z. B. Polyethylen, Polystyrol, Polyvinylchlorid), Polykondensate (Phenol-, Harnstoff-, Epoxid-, Polyesterharze) und Polyaddukte (Polyurethane) schäumen lassen.

Außerdem lassen sich Schaumkunststoffe nicht nur mittels spezieller Schäumverfahren herstellen. Auch Verfahren wie Spritzgießen und Extrudieren sind zur Herstellung von Schaumstoffen geeignet.

Unterhaltet euch nun in eurer Arbeitsgruppe über die Kunststoffverarbeitung. Zugegeben, es ist nicht so leicht, sich aus der Schilderung und den Bildern einen Eindruck von den Arbeitsvorgängen zu machen.



Ministurzhelm



1) Diese Styrolpolymere enthalten ein Treibmittel ...

2) ... das beim Erwärmen ein Vorschäumen bewirkt. Lagerform lose geschüttet.

3) Beim Wiedererwärmen blähen die luftgefüllten Perlen auf, erweichen und verschweißen unter Druck miteinander zu einem PS-Schaum-Formkörper.

BE- UND VERARBEITUNG VON KUNSTSTOFFEN – HISTORISCHES

Bei der Entwicklung der Kunststoffverarbeitung ging längere Zeit das Probieren dem Studieren, d. h. der theoretischen Erkenntnis, voraus. Das kann man durchaus verstehen, wenn man sich die Vorgänge in einem Extruder vorstellt. Wegen der hohen Temperaturen und Drücke muss der Extruder aus Stahl sein. Es ist also nicht direkt zu beobachten, was an den einzelnen Stellen im Zylinder geschieht. Es werden aus dem, was an der Maschine verändert wird, und dem, was sich dadurch am Ergebnis ändert, Schlüsse gezogen, was in der Maschine wirklich geschieht.

Heute helfen moderne Messinstrumente, einen Extruder schnell auf eine optimale Arbeitsweise einzuregulieren.

Der Extruder hat eine über 100-jährige Geschichte und ist dennoch sehr jung, wenn man die Geschichte des Schmiedens als Vergleich heranzieht.

Vorläufer des heutigen »Schmelzextruders« ist der Kautschukextruder. Ihm wird das Rohmaterial in plastischer Form zugeführt. Nicht vulkanisierter Kautschuk ist bei Raumtemperatur zäh-weich; auf 80 °C erwärmt, wird die Masse plastisch, und in diesem Zustand wurde extrudiert. Druck und Wärme im Extruder lösen den chemischen Vorgang der Vulkanisation (Vernetzung) zum gebrauchsfertigen Gummi aus. Das Gleiche geschieht in der Gummipresse.

1935 begannen Versuche, mit großen Kautschukextrudern einen Brei aus flüssigem Weichmacher und PVC-Pulver zu verarbeiten. Die Konsistenz dieser Masse entspricht etwa der des vulkanisierten Kautschuks. Damit begann die Weiterentwicklung dieses Verfahrens mit elektrisch beheizten Extrudern und Temperaturen um 170 °C zur Erzeugung von Weich-PVC.

1938 wurde Polystyrol in Körnerform im Extruder aufgeschmolzen. 1949 wurde zum ersten Mal mit einem Extruder Polyethylen zu Blasfolien verarbeitet.



Ein weiteres Urform-Verfahren für Thermoplaste ist das Spritzgießen. In der **Sonderinformation 3 »Der erste Kunststoff – beinahe ein Sprengstoff«** lesen wir von der Maschine der Gebrüder Hyatt, mit der um 1870 herum Holzgriffe für Rasierpinsel mit Nitrozellulose umspritzt wurden. Der Umgang mit Nitrozellulose war gefährlich, zumal das Verfahren unter Druck und erhöhter Temperatur vor sich ging. Vor allem wegen der leichten Entflammbarkeit stand Nitrozellulose einer Verbreitung dieser Arbeitsweise im Wege.

Die erste brauchbare Spritzgießmasse wurde in Berlin entwickelt. Es war die ungefährliche Acetylzellulose. Nach den Ideen dieser Erfinder wurde dann eine Spritzgießmaschine gebaut, die schnell Verbreitung fand.

Für die Qualität des Produkts sind bei diesen Verfahren die Temperatur der Gießform und die Abkühlgeschwindigkeit wichtig. Bei langsamerer Abkühlung nimmt beispielsweise die Kristallinität und damit die mechanische Festigkeit zu.

Heute gibt es rechnergesteuerte Spritzgießmaschinen. Neben einem arbeitsfähigen »Werkzeug« und einer Spritzgießformmasse benötigen sie keine dauerhafte Bedienung. Sie können sogar selbstständig übliche Störeinflüsse ausregeln und einen einmal vorgegebenen Arbeitstakt auch unter veränderten Bedingungen einhalten. Doch diese technische Entwicklung macht den Menschen nicht überflüssig. Andere Aufgaben, wie Überwachung und Steuerung, kennzeichnen die Arbeit des Kunststoffformgebers.

Sehr eindrucksvoll ist natürlich eine Betriebserkundung in einem kunststoffverarbeitenden Unternehmen.

9. BERUFE RUND UM KUNSTSTOFF

Kunststoffe sind Werkstoffe mit Zukunft. Schau dich einmal um und du siehst, dass sie dein tägliches Leben begleiten. Mit Kunststoffen wird die Welt von heute und morgen gestaltet. Das lässt sich leicht vorhersagen. Und damit werden Fachkräfte gebraucht, die den Umgang mit ihnen beherrschen. Kunststoffberufe sind Berufe mit Zukunft.

Wie auch in anderen industriellen Bereichen hat sich in der Kunststoffindustrie das Arbeitsumfeld gegenüber früher stark gewandelt. Moderne, rechnergestützte Maschinen lassen schwere körperliche Arbeit zunehmend überflüssig werden. Dafür stellen sich in der Erzeugung und Verarbeitung von Kunststoffen Überwachungs- und Diagnoseaufgaben.

Die zunehmende Nachfrage nach Kunststoffherzeugnissen und die Möglichkeit, diese einsatzgerecht zu entwickeln, führten zur Herstellung leistungsfähigerer Kunststoffe, für die wieder modernere Maschinen benötigt werden. Diese Entwicklung erfordert immer neue und auch höhere Arbeitsqualifikationen. So bieten sich heute besonders in der Kunststoffindustrie interessante Berufsbilder.



Versucht einmal die Entwicklung der Arbeitsplatzbedingungen im Hinblick auf die technischen Veränderungen aufzuzeigen. Denkt dabei an euch bekannte Berufe.

Es fällt euch sicher nicht schwer, für einzelne Industriezweige typische Berufe aufzuzählen. Fallen euch für die Kunststoffindustrie auch Berufe ein, die z. B. dem Mechatroniker / der Mechatronikerin, dem Metallbauer oder der Metallbauerin entsprechen?

Obwohl sehr viele Menschen in der Kunststoffindustrie beschäftigt sind, ist es euch sicherlich nicht ganz leicht gefallen, typische Kunststoffberufe zu finden. Es gibt tatsächlich nur wenige spezielle Berufe in der Kunststoffindustrie.

In der Kunststoffherzeugung ist das der **Chemikant** / die **Chemikantin**. Aufgabe ist es, Produktionsabläufe in den riesigen Reaktoren meist von einem Leitstand aus zu überwachen und zu steuern. Dabei müssen die einwandfreien Arbeiten der Anlage kontrolliert und kleinere Mängel selbst behoben werden. Die Enderzeugnisse dieser Produktion sind hauptsächlich Pulver und Granulat.

Diese ungeformten Massen werden anschließend zu Kunststoffzeugnissen verarbeitet. Das ist die Aufgabe im Beruf **»Verfahrensmechaniker/in – Kunststoff- und Kautschuktechnik«**. Sie planen die Fertigung von Kunststoff- und Kautschukprodukten und richten Maschinen und Anlagen zur Herstellung ein. Sie bedienen die Anlagen, das heißt, sie fahren die Anlage an, überwachen die einzelnen Produktionsschritte und regulieren ggf. den Produktionsvorgang. Die fertigen Produkte kontrollieren sie hinsichtlich ihrer Qualität. Darüber hinaus warten sie die Anlagen und halten sie instand. Außerdem überwachen sie die Einhaltung der Arbeitssicherheits- und Umweltschutzbestimmungen.

Die Ausbildung ist in sieben verschiedene Fachrichtungen gegliedert.

Verfahrensmechaniker mit dem Schwerpunkt Halbzeuge sind Spezialisten bzw. Spezialistinnen für die besonderen Herstellungsverfahren Extrudieren, Kalandrieren, Beschichten und Schäumen. So können Halbzeuge wie zum Beispiel Folien, Rohre, Bänder, Blöcke, Stäbe oder Bodenbeläge hergestellt werden.

In der Fachrichtung Formteile geht es um die besonderen Herstellungsverfahren Spritzgießen, Blasformen, Pressen und Schäumen. So können zum Beispiel Gehäuseabdeckungen, Spielzeuge und Getränkekisten hergestellt werden.

Die Fachrichtung Mehrschicht-Kautschukteile ist spezialisiert auf die Herstellung von Halbzeugen und Fertigteilen mit eingearbeiteten Verstärkungsmaterialien. In speziellen Fertigungsverfahren werden zum Beispiel Keilriemen der Förderbänder hergestellt.

Spezialistinnen und Spezialisten für die Bearbeitung von Halbzeugen und für die Bearbeitungsverfahren wie Laminieren, Auskleiden oder Folienschweißen bildet der Schwerpunkt Bauteile aus. Mit Hilfe dieser Techniken werden Bauteile für Windkraftträder oder Boote hergestellt.

Die Fachrichtung Kunststofffenster ist spezialisiert auf die Herstellung energetisch hochwertiger Fenster- und Türelemente.

Verfahrensmechaniker/innen der Fachrichtung Faserverbund sind spezialisiert auf das Verbinden von zwei Vorprodukten zu einem neuen Material. So können beispielsweise große Teile von Flugzeugen hergestellt werden.

Die Fachrichtung Compound- und Masterbatchherstellung vermittelt, wie Kunststoffgemische hergestellt werden, wie aus einem klaren Kunststoff beispielsweise ein blauer Flaschenkasten wird.

Der Ausbildungsberuf Werkstoffprüfer/in Fachrichtung Kunststofftechnik verbindet die beiden Bereiche Prüfung und Herstellung. Die Auszubildenden lernen, wie Kunststoffprodukte hergestellt und wie diese dann auf ihre Vielzahl von Herausforderungen, beispielsweise die Qualität betreffend, geprüft werden.

Kunststofftechniker oder -technikerinnen sind zwischen Facharbeiter/innen und Ingenieur/innen angesiedelt. Sie müssen eine abgeschlossene Berufsausbildung in einem einschlägigen Beruf nachweisen. Nach der Fachschulausbildung arbeiten sie sowohl in der Kunststoffherzeugung und Kunststoffverarbeitung als auch im Kunststoffmaschinenbau. Die Arbeitsschwerpunkte liegen in der Planung, Entwicklung, Konstruktion und Arbeitsvorbereitung.

Natürlich gruppieren sich um diese vier Berufsbilder noch eine Menge anderer Berufe, die hier nicht alle behandelt werden können. An erster Stelle ist sicher der Chemiker bzw. die Chemikerin zu nennen, dann eine ganze Reihe von Ingenieurinnen oder Ingenieuren der unterschiedlichsten Fachrichtungen. Informiert euch nun bei der Berufsberatung oder in einschlägigen Publikationen der Agentur für Arbeit und erarbeitet die Berufsprofile. Fragt auch bei der Industrie- und Handelskammer und bei Betrieben nach.



Überlegt euch, warum für die rechts aufgeführten Berufe Kenntnisse über Kunststoffe wichtig sind.



Gas- und Wasserinstallateur



Tischler



Maler und Lackierer



Dachdecker



Glaser



Karosseriebauer



Bootsbauer



Apparatebauer



Modellbauer



Werkzeugmechaniker

10. DYNAMISCHE KUNSTSTOFFINDUSTRIE

Die Struktur der deutschen Kunststoffindustrie ist in der Kunststoffherzeugung durch Großunternehmen, in den Bereichen Verarbeitung und Maschinenbau durch eine Vielzahl kleiner bis mittelständischer Betriebe gekennzeichnet. Insgesamt gibt es laut Statistik ca. 3400 Unternehmen.

In der Kunststoffindustrie in Deutschland waren im Jahr 2017 mehr als 400.000 Menschen beschäftigt. Sie finden dort einen Arbeitsplatz mit Zukunft. Zu den unmittelbar Beschäftigten in der Kunststoffindustrie kommen noch viele weitere Mitarbeiterinnen und Mitarbeiter in der Kunststoff-Wertschöpfungskette hinzu

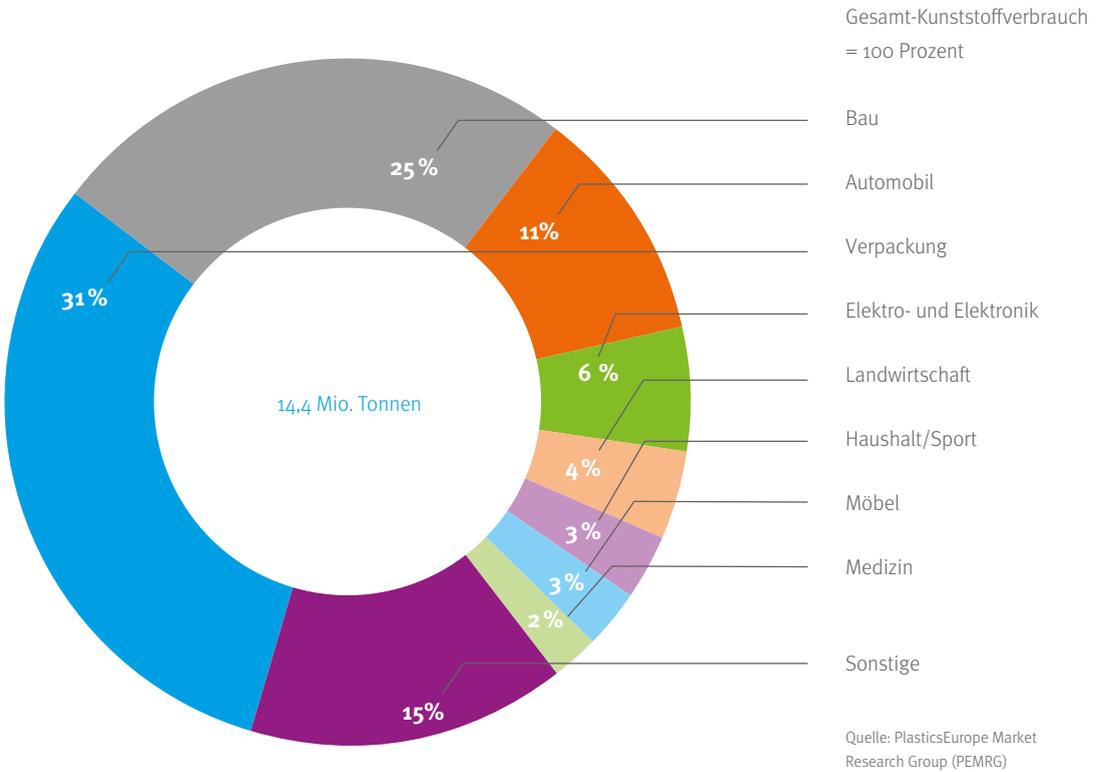
Der Umsatz in Kunststoffherzeugung, -verarbeitung und -maschinenbau belief sich 2017 auf insgesamt rund 100 Milliarden.

KUNSTSTOFFINDUSTRIE DEUTSCHLAND 2017

	Unternehmen	Beschäftigte	Umsatz in Mrd. Euro
Kunststoffherzeugung	200	52.000	27,0
Kunststoffverarbeitung	2.950	323.000	64,0
Kunststoff- und Gummimaschinenbau	250	31.000	8,0
Kunststoffindustrie gesamt	~ 3.400	~ 406.000	100

Die Struktur der deutschen Kunststoffindustrie ist in den Bereichen Verarbeitung und Maschinenbau durch eine Vielzahl mittelständischer Betriebe gekennzeichnet. Insgesamt setzt die Kunststoffindustrie jährlich rund 88 Milliarden Euro um.

DEUTSCHLAND – VERBRAUCH KUNSTSTOFF-WERKSTOFFE 2017





TEIL D

**KUNSTSTOFFE UND UMWELT –
DIE BILANZ IST POSITIV**



Windkraftanlagen wie diese gehören in Deutschland vielerorts zum gewohnten Landschaftsbild. Auch wenn unser Bedarf bis jetzt nur zu einem kleinen Teil gedeckt wird, so sind solche Windräder doch ein Beispiel dafür, wie Kunststoffe zum Nutzen der Umwelt eingesetzt werden. Denn die riesigen Rotorblätter bestehen aus faserverstärkten Kunststoffen.

Kunststoffe sind vielfältig einsetzbare, hoch leistungsfähige Werkstoffe, die einen erheblichen Beitrag zur Entlastung der Umwelt leisten. Sie erlauben es wie kaum eine andere Werkstoffgruppe, sparsam mit Energie und Rohstoffen umzugehen, und tragen dadurch dazu bei, die gesellschaftlichen Zielvorstellungen des nachhaltigen Wirtschaftens zu verwirklichen, also den schonenden Umgang mit den natürlichen Ressourcen unter Berücksichtigung ökologischer, ökonomischer und sozialer Aspekte.

Lediglich vier bis sechs Prozent des Erdöl- und Erdgasverbrauchs gehen in die Produktion polymerer Werkstoffe. Dies stellt eine der höchsten Wertschöpfungen dieser begrenzten Ressource dar. Kunststoff aus Erdöl hat im Gegensatz zur einmaligen Nutzung durch Verbrennen langfristigen Nutzen.

Gerade während der Gebrauchsphase leisten Kunststoffe ihren großen Beitrag zur Ressourcenschonung. Zahlreiche Beispiele der verschiedenen Anwendungen wie Verpackung, Bau, Automobil, Elektro usw. belegen dies.



TEIL D

KUNSTSTOFF UND UMWELT

11. Nachhaltigkeit	76
Ganzheitliche Umweltbewertung	78
12. Kunststoffe und Umweltauswirkungen	79
Ressourcen schonen mit Kunststoff	79
Müll im Meer – Marine Litter	81
Beispiele: Kunststoffe im Dienst der Umwelt	83
Verpacken ohne Kunststoff?	87
13. Ein zweites Leben für Kunststoffe	89
Werkstoffliches Recycling	89
Rohstoffliches Recycling	90
Energetische Verwertung	90
Heizwerte verschiedener Materialien (Ca.-Angaben)	91
Sonderfall: biologisch abbaubare Kunststoffe	92

11. NACHHALTIGKEIT

Nachhaltigkeit hat grundsätzlich drei Säulen: Ökonomie, Ökologie und Soziales. Kunststoffe leisten zu allen drei Säulen ihre Beiträge.

Auf der Umweltkonferenz der Vereinten Nationen in Rio de Janeiro im Jahre 1992 wurde nachhaltiges Wirtschaften als weltweite Maßnahme zum Erhalt der Umwelt formuliert. In Deutschland wurde es in die nationalen Zielsetzungen aufgenommen. **Es bedeutet, die Bedürfnisse der gegenwärtigen Generationen zu erfüllen, ohne die der künftigen zu beeinträchtigen.**

Der Ursprung dieses Prinzips geht auf die Forstwirtschaft zurück: Jedes Jahr soll nur so viel Holz geschlagen werden, wie innerhalb eines angemessenen Zeitraums nachwachsen kann. Die Menge des Holzes im Wald bleibt damit über die Jahre gleich und der Bedarf kann über mehrere Generationen hinweg befriedigt werden. Dafür muss Holz sparsam verwendet werden. Bei Rohstoffen wie Eisen oder Erdöl, die nicht nachwachsen, ist sparsamer Umgang und konsequente Verwertung gebrauchter Güter umso bedeutsamer. Nachhaltiges Wirtschaften bedeutet daher in ganz besonderem Maße, Rohstoffe und Energie für die Zukunft zu sichern. Derzeit stammt der größte Teil der Energie aus nicht erneuerbaren Quellen wie Kohle, Erdöl oder Erdgas. Mit ihnen muss man sparsam umgehen. Alternativen müssen rechtzeitig verfügbar sein, ehe die endlichen Ressourcen aufgebraucht sind. In der Entwicklung zukunftsfähiger Energietechniken liegt der Schlüssel in der nachhaltigen Wirtschaft. Dies kann nur bei intelligenter Nutzung der heutigen Energieträger gelingen. Doch davon sind wir derzeit weit entfernt. In Kapitel 5 »Vom Erdöl zum Kunststoff« wurde gezeigt, dass vier bis sechs Prozent des Erdöls und Gas in polymere Werkstoffe umgewandelt werden, rund 80 Prozent dagegen werden verbrannt. Kunststoffe können zum intelligenten Umgang mit Energie beitragen. Bei den Herausforderungen der Zukunft spielen Kunststoffe eine besondere Rolle.

Die Energiequellen der Zukunft sind »erneuerbare«: Die Sonne, aber auch Wind- und Wasserkraft werden genutzt. Dies wird vom Einsatz polymerer Werkstoffe wesentlich unterstützt. Faserverstärkte Kunststoffe bewähren sich dabei besonders. Rotoren für Windkraftanlagen können mit glatteren Oberflächen ausgestattet werden und haben zudem eine geringere Masse, was den Wirkungsgrad verbessert. Für Teile von Sonnenkollektoren sind Kunststoffe wegen ihrer Isoliereigenschaften für Strom und Wärme geeignete Werkstoffe. Sie sind leicht zu verarbeiten und haben ein gutes Preis-Leistungs-Verhältnis. Strom und Wärme aus der Sonne werden mit ihnen erschwänglich. So tragen Kunststoffe zur Sicherung künftiger Energiequellen bei.

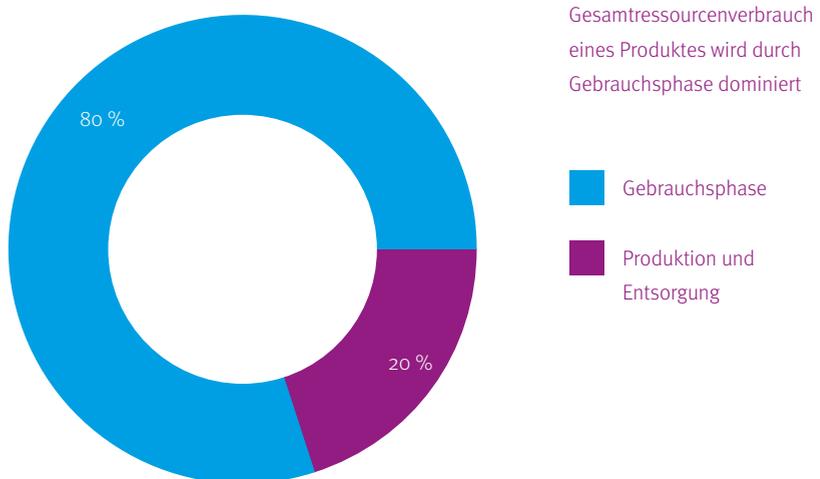


GANZHEITLICHE UMWELTBEWERTUNG

Beim Einsatz von Kunststoff steht die Nutzung und Verwendung der gefertigten Produkte im Fokus. Das Ziel ist, möglichst wenig Energie und Ressourcen für die Herstellung einzusetzen und gleichzeitig für die Nutzung zu sparen. Auch ist die Kunststoffverwertung am Lebensende ressourceneffizient.

Betrachtungen über den gesamten Lebenszyklus können z. B. mithilfe von Ökobilanzen angestellt werden. Einen Teil einer solchen Ökobilanz habt ihr für den Stoßfänger eines Autos schon durchgerechnet. Vollständige Ökobilanzen sind sehr viel aufwändiger, denn es werden neben energetischen Umweltauswirkungen auch weitere wie Treibhauseffekt, Abbau der Ozonschicht, Versauerung von Böden usw. erfasst. Ihr habt euch mit euren Berechnungen zum Stoßfänger schon ein recht gutes Bild verschafft. Die Erfassung des Gesamtbilds ist jedoch höchst komplex. Aber auch mit einer Gesamtbetrachtung erweist sich, dass sich die Vorteile der Kunststoffe vor allem in der Gebrauchsphase auszahlen.

Die 80 / 20 -Regel ist eine Faustregel. Sie besagt, dass die allermeisten Primärressourcen in der Gebrauchsphase eines Produkts aufgewendet werden müssen. Sie gilt grob fast überall, bei Autos wie bei Fernsehgeräten.



12. KUNSTSTOFFE UND UMWELTAUSWIRKUNGEN

RESSOURCEN SCHONEN MIT KUNSTSTOFF

Werden Kunststoffe materialgerecht eingesetzt, kann mit ihnen viel für die Umwelt getan werden. Sie können helfen, natürliche Ressourcen zu schonen und einem nachhaltigen Wirtschaften näher zu kommen.

Kunststoffe werden überwiegend zur Herstellung von langlebigen Produkten entwickelt und eingesetzt. Gerade diese Langlebigkeit ist ein großer Vorteil, etwa bei Bauanwendungen, im Fahrzeugbau oder bei den riesigen Rotoren von Windenergieanlagen. Kunststoffe können auch helfen, die Nutzungsdauer anderer Werkstoffe zu verlängern. Denkt z. B. an den Lack der Autos oder den Anstrich von Brücken, die den Rostfraß an Stahl auch dann verhindern, wenn im Winter Salz gestreut wird. Werden Kunststoffprodukte lange Zeit genutzt, tragen sie dadurch auch zur Verringerung des Abfallaufkommens und damit zur Entlastung der Umwelt bei.

Gebrauchsdauer von Kunststoffen in verschiedenen Produkten oder Anwendungen langfristig



Besprecht in der Gruppe, in welchen Bereichen Kunststoffe langfristig genutzt werden. Versucht einmal genauer zu ermitteln, wie lange es dauert, bis die Nutzung der Erzeugnisse endet.

Angenommen, ein Wohnhaus ist für drei bis vier Generationen gebaut worden, welche Lebensdauer wird dann von Wasserleitungen, Abflussrohren, Kabelisierungen, Wärmedämmungen usw. erwartet? Ihr könnt euch bei euren Über-

legungen an der Abbildung orientieren. Wie ihr dort ablesen könnt, liegt laut Faustregel der Anteil der Kunststoffprodukte mit hoher Lebensdauer bei etwa 60 Prozent, der Anteil der kurz- und mittelfristig eingesetzten bei etwa 40 Prozent. Um die eingangs gestellte Frage beantworten zu können, ist es notwendig, die Nutzungsdauer der Kunststoffprodukte zu betrachten: Es muss ermittelt werden, wo und wann sie Auswirkungen auf die Umwelt haben, und zwar von der Erzeugung der Kunststoffe über die Herstellung von Produkten und deren Nutzung bis zur endgültigen Verwertung. Man muss schauen, wie schwerwiegend diese Auswirkungen sind und welche alternativen Möglichkeiten bestehen. Die Frage ist z. B., wie viel Umweltbelastung ein Bauteil für ein Auto verursacht und was es für die Umwelt bedeutet, wenn dieses Teil effizienter gestaltet wird und so etwa der Kraftstoffverbrauch reduziert werden kann.



Überlegt in der Gruppe an einem Beispiel zuerst nur, welche Umweltbelastungen durch Herstellung, Gebrauch und Verwertung von Produkten entstehen.

Vergleicht dazu einen Auto-Stoßfänger aus Kunststoff mit einem chromglänzenden aus Stahl. Für eine zahlenmäßige Betrachtung soll nun überlegt werden, was es bedeuten würde, 25 kg Polypropylen am Auto wieder durch Stahl zu ersetzen. Polypropylen wird zum Beispiel zur Herstellung von Stoßfängern oder zur Auskleidung für die Radkästen verwendet. Um 1 kg dieses Kunststoffs zu erzeugen, werden 1,78 l Erdöl benötigt. Als Faustregel soll gelten, dass 25 kg Kunststoff mindestens 50 kg andere Materialien ersetzen. Für 1 kg Stahl wird neben dem Stahl selbst auch noch etwa so viel Energie benötigt, wie in 0,7 l Erdöl steckt. Pro 100 kg Gewichtsparsnis verbrauchen moderne Fahrzeuge auf 100 km rund $\frac{1}{4}$ l Treibstoff weniger. Ein Auto in Deutschland fährt im Lauf eines Jahres etwa 12.000 km und es bleibt etwa zwölf Jahre in Gebrauch.



Versucht nun abzuschätzen, wie die Bilanz des Energieverbrauchs für die beiden Alternativen aussieht. Überlegt, was geschieht, wenn das Auto nach rund zwölf Jahren verschrottet wird. Was geschieht dann mit der Energie, die bei der Fahrzeugproduktion hineingesteckt wurde?



Besprecht in der Gruppe, in welchen Bereichen Kunststoffe langfristig genutzt werden. Versucht einmal genauer zu ermitteln, wie lange es dauert, bis die Nutzung der Erzeugnisse endet.

MÜLL IM MEER – MARINE LITTER

Es gibt zahlreiche Möglichkeiten, wie Müll und Abfälle in die Umwelt gelangen können. Wie dies genau passiert, hängt vom Verhalten jedes Einzelnen, von der jeweiligen Region, in der jemand lebt, von den jeweils verfügbaren Möglichkeiten und Angeboten zur Müllentsorgung und anderen Faktoren ab. Fest steht: Am besten sollte überhaupt kein Müll unkontrolliert in die Umwelt gelangen. Dazu kann und muss jeder Einzelne beitragen, indem er etwa möglichst wenig Müll produziert und den entstehenden Abfall jeweils korrekt entsorgt.

Wir in Deutschland sind es heute gewöhnt, unsere Abfälle zu sortieren und je nach Abfallart in verschiedene Mülltonnen zu werfen. Biomüll, Papier, Wertstoffe und Restmüll werden getrennt gesammelt. Hinzu kommen Sammelstellen etwa für Altkleider, Altglas, Elektrogeräte oder Bauschutt. Der gesammelte Abfall wird dann entweder recycelt oder rohstofflich bzw. energetisch verwertet. Unbehandelt landet in Deutschland praktisch kein Haushaltsabfall mehr auf der Deponie. Hierzulande beträgt die Verwertungsquote für verbrauchernahe Kunststoffabfälle inzwischen 99 Prozent. Das ist ein großer Erfolg. Doch in vielen anderen Ländern, auch in Europa, ist die Abfallentsorgung leider deutlich schlechter organisiert; der Müll wird, anders als in Deutschland und einigen anderen EU-Ländern, zum Teil



noch immer einfach auf Müllkippen abgelagert. In wieder anderen Ländern der Erde gibt es vielleicht Sammlungen, aber diese werden nicht richtig genutzt, oder Müll wird überhaupt nicht gesammelt und abgeholt. Weltweit haben heute Milliarden Menschen keinen Zugang zu kontrollierter Müllentsorgung. Dies ist auch eine der Hauptursachen für Müll im Meer – englisch **Marine Litter** –, ein besonders schwerwiegendes, weiter wachsendes Problem.

Studien zufolge gelangen weltweit etwa 80 Prozent der Abfälle, die sich im Meer finden, vom Land ins Wasser. Acht Länder sind für fast zwei Drittel des Abfalls in den Weltmeeren verantwortlich. Kunststoffabfall, der sich heute im Meer findet, ist im Wesentlichen Resultat schlechten Abfallmanagements, des Fehlens passender Verwertungs-Infrastrukturen und falschen Verhaltens.

Niemand weiß heute genau, wieviel Müll in den Meeren treibt. Klar ist aber: Der Eintrag muss schnell und wirksam verringert werden, denn er fügt der Umwelt schweren Schaden zu. Für die Tiere im Meer wird der Müll oft sogar zur tödlichen Falle: Seehunde verfangen sich in Seilen und Schnüren, Fische nehmen den Müll auf, auch Vögel verwechseln Kunststoffteile mit Nahrung. Immer wieder findet man tote Seevögel mit Plastikteilchen im Magen. Hinzu kommt, dass die allermeisten Kunststoffe sich biologisch nicht leicht abbauen und sich daher



ansammeln. Dabei wird für Kunststoff genau das zum Problem, was eigentlich sein großes Plus ist: die lange Lebensdauer. Bis zur völligen Zersetzung vergehen Jahrzehnte bis Jahrhunderte, denn zunächst zerfällt ein Produkt aus Kunststoff lediglich in immer kleinere Partikel. Gerade deshalb ist es immens wichtig, dass alle Abfälle und insbesondere Kunststoffabfälle stets richtig entsorgt werden. In Deutschland und einigen anderen Ländern vor allem in Europa stehen dafür alle nötigen Voraussetzungen zur Verfügung. Im übrigen Europa und auch global müssen nun schnell die nötigen Voraussetzungen dafür geschaffen werden, dass auch dort Abfälle künftig ordnungsgemäß gesammelt und verwertet werden können und bald nichts mehr ins Meer gelangt. Es braucht weltumspannende Anstrengungen für ein besseres Abfallmanagement. Die Gesellschaft insgesamt, die Politik und nicht zuletzt auch die Industrie sind gefordert, dazu beizutragen, dass die Meere wieder sauberer werden.

BEISPIELE: KUNSTSTOFFE IM DIENST DER UMWELT

Ganz klar: Plastikmüll im Meer schadet der Umwelt. Kunststoffe können der Umwelt aber auch wertvolle Dienste leisten. Zum Beispiel in der **Mobilität**. Die Belastung der Umwelt durch Autofahren sinkt mit sinkendem Kraftstoffverbrauch. Das



Gewicht des Fahrzeugs sowie die Motoreffizienz sind entscheidende Faktoren zur Reduzierung des Verbrauchs. Dies hat das Beispiel des Stoßfängers verdeutlicht. Die Entwicklung sollte daher eigentlich zu immer leichteren Automobilen führen. Tatsächlich sind die Fahrzeuggewichte in der jüngeren Vergangenheit aber eher gestiegen. Die Gewichtsersparnis durch Kunststoff wurde von immer mehr Komfort und mehr Sicherheit kompensiert. Vergleiche einmal einen VW Käfer des Jahres 1970 mit einem modernen Auto: Heute selbstverständliche Ausstattungsmerkmale wie elektrische Fensterheber, elektrisch verstellbare Außenspiegel, Automatikgurte und vieles mehr fehlen, ganz zu schweigen von Airbags, Sitzheizung oder Klimaanlage.

Der durchschnittliche Anteil an Kunststoffen im Pkw beträgt heute etwa 15 Gewichtsprozent. Etwa 2.000 Teile beim modernen Auto sind aus Kunststoff, vom einfachen Clip oder Schalter bis hin zu Motor- und Karosserieteilen, Beleuchtungseinheiten, Panoramadächern oder Airbags.

 **Überlege einmal, was es bedeuten würde, wenn die Kunststoffe in den Automobilen andere Werkstoffe nicht ersetzt hätten und damit einer Gewichtszunahme nicht entgegengewirkt worden wäre. Wie viel schwerer wäre ein Auto und wie viel höher der jährliche Treibstoffverbrauch in Deutschland bei rund 43 Millionen Pkws?**

Auch in anderen Bereichen von Transport und Verkehr wird die Rolle der Kunststoffe im Interesse der Umwelt immer bedeutender. Dicht besiedelte Gebiete mit überlasteten Straßennetzen benötigen möglichst leichte, schnelle, sparsame und emissionsarme Verkehrsmittel, die eine große Zahl von Menschen befördern können. Ein Schweizer Hersteller fertigt in einem Stück ganze Aufbauten für Eisenbahnwagen aus faserverstärktem Kunststoff. Solch ein Wagen führt zu Einsparungen von Rohstoffen und Energie, denn der Verschleiß an Schienen, Motor und Fahrwerk ist geringer, und die Lok muss weniger Gewicht ziehen. Beim Bau von Verkehrsflugzeugen verläuft die Entwicklung ähnlich. Bei Rumpf und Flügeln, Höhen- und Seitenruder sowie im Innenraum überzeugen Kunststoffe durch hohe Festigkeit bei geringem Gewicht. Immer geht es darum, den Treibstoffverbrauch und damit die Belastung für die Umwelt herabzusetzen, ohne Komfort oder Sicherheit zu beeinträchtigen.

Kunststoffe am Haus schonen Energie und Rohstoffe. Der Einsatz der Energie für die Produktion von Wärmedämmstoffen rechnet sich energetisch bereits im ersten Jahr. Denn zur Herstellung von einer Tonne Kunststoffschaum zum Dämmen eines Gebäudes werden rund 2.500 Liter Heizöl benötigt. In der Anwendung spart diese eine Tonne Dämmstoff aber Jahr für Jahr den Energieinhalt von 3.300 Litern Heizöl. Bei einer Anwendungsdauer von 50 Jahren werden mit einem Energieein-

satz von 2.500 Litern Heizöl so über die gesamte Anwendungsdauer der Dämmstoffe gesehen mehr als 160.000 Liter Heizöl gespart.

Mit einer solch guten Wärmedämmung werden primäre Energieressourcen wie Erdöl und Gas geschont, und nebenbei wird auch der Kohlendioxid-Ausstoß drastisch verringert.

Etwa ein Drittel des gesamten Kunststoffeinsatzes entfällt auf Verpackungen. **Kunststoffverpackungen** sind sehr effizient und leicht. Schon bei der Herstellung wird wenig Material und wenig Energie benötigt, beim Transport von mit Kunststoff verpackten Gütern wird wenig Treibstoff verbraucht. Außerdem sind die Verpackungen praktisch: Verbraucher erwarten von Verpackungen, dass sie das verpackte Gut vor Beschädigung und Kontamination schützen – bei Lebensmitteln ebenso wie bei Medikamenten oder elektronischen Geräten. Und wer sich für ein Produkt entscheidet, der möchte es vorher sehen und sicher sein, dass es den Erwartungen entspricht. Kunststoffverpackungen bieten genau diese Transparenz. Hinzu kommen einfache Handhabbarkeit, günstiger Preis und gute Verwertbarkeit. Wichtig ist, dass die Verpackungen nach Gebrauch richtig entsorgt werden. Denn sie leisten viel mehr für den Umweltschutz, als es auf den ersten Blick scheint.



Verpackungen für Lebensmittel sind besonders wichtig. Auch hier ist die Verpackung ganz sicher kein Selbstzweck. In der Dritten Welt gehen bis zu 50 Prozent der Nahrungsmittel verloren, in Europa verderben nur etwa drei Prozent der Lebensmittel, bevor sie den Verbraucher erreichen – auch, weil Verpackungen den Inhalt effizient und sicher schützen.

Wie so oft in unserer modernen Welt war die Natur Beispiel und Vorbild auch für die Verpackung. Keine Banane, Orange oder Zitrone, kein Nusskern, von der Erdnuss bis zur Kokosnuss, ist ohne schützende Schale. Und die ist keineswegs einheitlich.

Schließlich soll die **Lebensmittelverpackung** auch die Gesundheit des Verbrauchers schützen. Von der Verpackung selbst darf natürlich kein Gesundheitsrisiko ausgehen. Entsprechend unterliegen alle Gegenstände, die dazu bestimmt sind, beim Herstellen, Behandeln, Inverkehrbringen oder dem Verzehr von Lebensmitteln verwendet zu werden, und dabei mit den Lebensmitteln in Berührung kommen, dem Lebensmittel- und Bedarfsgegenständegesetz (LMBG). Hierzu zählen auch Lebensmittelverpackungen. Das Gesetz enthält Verbote zum Schutz der Gesundheit sowie zum Übergang von Stoffen auf Lebensmittel. Unter welchen Bedingungen Kunststoffverpackungen diesen Anforderungen entsprechen, wird durch Verordnungen geregelt. Die zuständigen Aufsichts- und Untersuchungsämter kontrollieren, dass die Vorschriften eingehalten werden.

Neben Aspekten des Gesundheitsschutzes und der Produktsicherheit bieten Kunststoffverpackungen auch Vorteile für Umwelt und Wirtschaft. So haben die unabhängigen Institute GVM, Gesellschaft für Verpackungsmarktforschung in Wiesbaden, und die „denkstatt“ in Wien in einer Gemeinschaftsstudie die Um-



welt- und Kostenauswirkungen berechnet, wenn auf Verpackungen aus Kunststoff verzichtet werden müsste und diese durch andere Materialien wie Glas, Metall usw. ersetzt würden. Das Ergebnis ist beeindruckend:

- Das Gewicht der Packmittelmenge würde sich auf das Vierfache erhöhen. Damit verbunden wären drastische Aufwandssteigerungen sowie höherer Energieverbrauch beim Transport und Warenumschlag.
- Der Energieverbrauch, ein wichtiger Indikator für die Umweltbelastung, würde bei Herstellung und Einsatz alternativer Verpackungsmittel auf das 1,5-fache des jetzigen Bedarfs ansteigen. Ein derartiger Zuwachs bedeutet auch eine Erhöhung der Treibhausgasemissionen.
- Das Müllvolumen in den Mülltonnen würde auf 160 Prozent ansteigen. Und das wirkt sich ebenfalls auf die Umwelt aus.
- Und schließlich würde sich dies auch auf die Kosten auswirken, die damit auf fast das Doppelte steigen.

VERPACKEN OHNE KUNSTSTOFF?

Ökologische und ökonomische Auswirkungen im Überblick

Die Verwendung von Kunststoffverpackungen trägt in erheblichem Umfang zur Minderung der Abfallmenge, des Energieverbrauchs und der Verpackungskosten bei. Kunststoffe sind Verpackungskünstler.





Vergleicht einmal zwei Getränkekästen: einen mit Glas und einen mit Kunststoffflaschen. Wiegt aus, wie viel der Kasten wiegt, wie viel die leeren Flaschen und wie viel die Getränke. Wie hoch ist jeweils der prozentuale Gewichtsanteil des Getränks (also der Ware) am Gesamtgewicht? Überlegt, was der Unterschied für die Umwelt bedeutet, wenn der Lieferant immer nur gerade so große Lastwagen einsetzt, wie erforderlich sind.

Kunststoff hat sich als das Material der Wahl erwiesen, wenn es um die Herstellung von kleinen und leichten und vor allem bedarfsgerechten Verpackungen geht. Der Beutel für die Kartoffelchips wiegt kaum drei Gramm, die Folie für den Schokoladenriegel gerade ein Gramm. Beides sind technische Spitzenprodukte, denn z. B. der Beutel für die Chips muss möglichst undurchlässig für Luftsauerstoff und Feuchtigkeit sein; bei besonders empfindlichen Waren wird manchmal die Verpackung mit Stickstoff befüllt. So bleibt der Geschmack lange erhalten und die Chips zerbröseln nicht schon beim Transport. Für solch eine Verpackung gibt es keinen Ersatz.

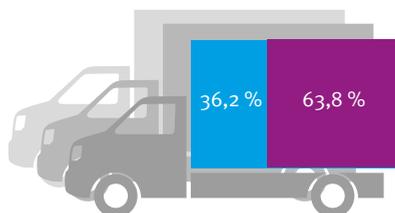
Es gibt noch mehr Beispiele für extrem leichte und dabei zuverlässige Verpackungen. Ihr könnt sie euch selbst im Laden ansehen. Mit weniger als zwei Gramm Kunststoff können 200 g Käse verpackt werden. In einem solchen Päckchen hat die Verpackung einen Anteil von noch nicht einmal einem Prozent. Für 200 g Joghurt reichen 3,5 g Polystyrol, zu dem noch ein Deckel aus Aluminiumfolie kommt. In sechs Gramm Kunststoffolie findet ein ganzes Kilogramm Sauerkraut Platz.



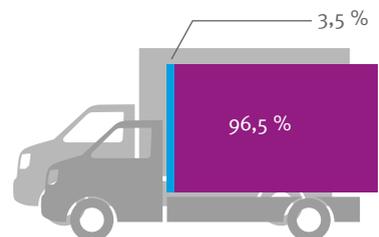
Tragt eine kleine Sammlung von Kunststoffverpackungen zusammen und überlegt für jede, wie eine Verpackung aussehen müsste, die nicht aus Kunststoff besteht. Diskutiert, welche der Möglichkeiten vorteilhafter für die Umwelt wäre.

ANTEIL DER VERPACKUNG BEIM TRANSPORT VON JOGHURT (GEWICHT)

Joghurt verpackt in Glas



Joghurt verpackt in Kunststoffbecher



Verpackung

Produkt

13. EIN ZWEITES LEBEN FÜR KUNSTSTOFFE

Irgendwann kommt jedes Produkt an das Ende seines Lebensweges. Dann steht es zur Verwertung an. Kunststoffe bieten hier gleich drei ganz unterschiedliche Möglichkeiten:

Werkstoffliches Recycling oder auch werkstoffliche Verwertung ist die mechanische Aufbereitung von gebrauchten Kunststoffen direkt wieder zu verarbeitungsfähigen Mahlgütern bzw. Rezyklaten. Die chemische Struktur bleibt nahezu unverändert. Die Altteile werden zerkleinert, gereinigt und nach Sorten getrennt. Werkstoffliches Recycling ist sinnvoll, wenn die Altteile sauber und sortenrein vorliegen. Für unsortierte, vermischte Haushaltsabfälle könnten die Aufwendungen für Sortieren und Reinigen sogar den ökologischen Vorteil des Recyclings zunichte machen, wie Ökobilanzen an den Beispielen von Bauzaunfüßen oder Palisaden gezeigt haben. Sortenreine und saubere Abfallströme wie zum Beispiel aus PET-Flaschensammlungen eignen sich für ein werkstoffliches Recycling. So werden z. B. aus gebrauchten Flaschen wieder neue Flaschen oder Pullover, Mützen und Schals aus Fleece.



Stellt einmal an Joghurtbechern das Verhältnis zwischen Bechergewicht und Gewicht des anhaftenden Joghurts fest. Am besten isst jeder in der Klasse einen Joghurt. Dann wiegt ihr alle leeren Becher. Danach reinigt, trocknet und wiegt ihr sie erneut. Nehmt euch dann eine kleine Sammlung verschiedener leerer Kunststoffverpackungen vor und seht euch an, was an ihnen haftet und wie unterschiedlich die Verpackungen sind.

Die Betrachtung zeigt, dass vor der werkstofflichen Verwertung vermischte und verschmutzte Kunststoffabfälle sortiert und gereinigt werden müssen. Bei Verpackungen wird zunächst sortiert, dann gemahlen und gewaschen, schließlich oft noch einmal maschinell sortiert. Das Ganze ist aufwändig und es ist leicht zu verstehen, dass dieser Aufwand kostspielig und oft auch ökologisch nicht vorteilhaft ist.

Trotz mancher Einschränkungen gibt es viele Beispiele für erfolgreiche werkstoffliche Verwertung. Nur sind sie meistens nicht richtig zu sehen, denn die Industrie bemüht sich, Produkte herzustellen, die von solchen aus Neukunststoffen nicht zu unterscheiden sind. Schließlich wünschen Kunden und Verbraucher eine hohe Qualität ihrer Produkte.

Die aus der werkstofflichen Verwertung hergestellten Kunststoffrezyklate verwendet man zur Fertigung von Kleiderbügeln, Auto-Radhausschalen oder Blumentöpfen. Selbst Kunststofffenster könnten vollständig aus PVC-Rezyklat hergestellt werden, das schon einmal als Fenster gedient hat. Nur wären sie dann ein wenig grau. Deshalb wird eine feine Deckschicht aus Neuware über das Rezyklat gelegt. Oder die PVC-Profile werden in modernen Verfahren co-extrudiert, wobei die Innenschicht aus Rezyklat und die Außenschicht aus Neuware besteht. Eine Besonderheit ist das Recycling von Mischabfällen, da hierbei geringere technische Anforderungen an den Werkstoff gestellt werden. So entstehen z. B. Lärmschutzwälle, Rasengittersteine oder Hangbefestigungen .

Rohstoffliches Recycling oder rohstoffliche Verwertung ist die Spaltung der Kunststoffe mittels Wärme oder chemischer Reaktion in kleinere Bruchstücke. Die Produkte sind meist Öle oder Gase, aus denen sich neue Kunststoffe oder andere Chemierohstoffe herstellen lassen. Das rohstoffliche Recycling ist für vermischte bzw. verschmutzte Kunststofffraktionen geeignet. Ziel ist dabei die Umwandlung in niedermolekulare Bestandteile, etwa zur erneuten Polymersynthese oder für andere Verwendungen in der chemischen Industrie.

Technisch verwirklicht wurden mehrere Verfahrenstypen, von denen in der Praxis aktuell die Nutzung als Reduktionsmittel im Hochofen zur Stahlerzeugung angewendet wird. Dabei ersetzen Kunststoffabfälle Öl oder Koks, die beide sonst als Reduktionsmittel eingesetzt werden. Diese Technologie verlangt eine spezielle Aufbereitung der Abfälle, die in der Praxis aus verschiedenen Strömen gezielt entnommen werden.

Energetische Verwertung ist die Verbrennung der Kunststoffabfälle in modernen Müllverbrennungsanlagen bei gleichzeitiger Nutzung der Energie zur Strom- und Dampferzeugung bzw. zur Bereitstellung von Prozesswärme sowie zur Nutzung als Ersatzbrennstoff in Zementwerken oder modernen Kraftwerken. Die energetische Verwertung ist besonders für vermischte und verschmutzte Kunststoffabfall-Fraktionen geeignet.



Vergleicht einmal die Heizwerte der verschiedenen Kunststoffsorten mit denen herkömmlicher Brennstoffe. Überlegt auch, warum Kunststoffe einen so hohen Heizwert haben.

HEIZWERTE VERSCHIEDENER MATERIALIEN (CA.-ANGABEN)

Polystyrol	46.000 kJ/kg
Polyethylen	46.000 kJ/kg
Polypropylen	44.000 kJ/kg
Heizöl	44.000 kJ/kg
Fette	35.000 kJ/kg
Erdgas	34.000 kJ/kg
Steinkohle	29.000 kJ/kg
Braunkohlebriketts	20.000 kJ/kg
Leder	18.000 kJ/kg
Polyvinylchlorid	18.000 kJ/kg
Papier	16.000 kJ/kg
Holz	16.000 kJ/kg

In Sachen Verwertung ist Deutschland ein Musterknabe: 2016 wurden in Deutschland 99 Prozent der Kunststoffabfälle verwertet – etwa 60 Prozent energetisch und rund 39 Prozent stofflich. Die Verwertung von Abfällen ist in einer ganzen Reihe von Gesetzen und Verordnungen geregelt. Die größte Bedeutung hat dabei das Kreislaufwirtschaftsgesetz mit seinen untergesetzlichen Regelwerken für Produkte aus den Bereichen Verpackung, Automobil und Elektro. Dort ist festgelegt: Abfälle sind in erster Linie zu vermeiden, in zweiter Linie stofflich oder energetisch zu verwerten. Wenn all das nicht möglich ist, sind sie ordnungsgemäß zu beseitigen. Bei der Verwertung soll die umweltgerechtere Lösung Vorrang haben, soweit dies technisch möglich und ökonomisch zumutbar ist. Somit sind die Kriterien der Nachhaltigkeit auch bei einer optimierten Abfallentsorgung zu beachten.

SONDERFALL: BIOLOGISCH ABBAUBARE KUNSTSTOFFE

Seit einigen Jahren sind biologisch abbaubare Kunststoffe am Markt verfügbar. Ihr Einsatz ist besonders dann interessant, wenn diese Abbaubarkeit einen speziellen Nutzen hat. Dies gilt z. B. für Blumentöpfe, die im Boden zu Biomasse verstoffwechselt werden, Mulchfolien, die untergepflügt werden oder Biomüllbeutel, die zusammen mit Bioabfall entsorgt werden können. Abbaubare Mulchfolien fördern das Pflanzenwachstum und haben außerdem eine positive Wirkung bei der Unkrautbekämpfung. Kompostierbare Küchenabfallbeutel vereinfachen die Handhabung bei der Bioabfallsammlung und sorgen für Hygienesicherheit.

Die biologische Abbaubarkeit hängt nicht von der Rohstoffbasis ab, sondern von den technischen Bedingungen der Abbaubarkeit. Deshalb sind nicht automatisch Kunststoffe auf der Basis nachwachsender Rohstoffe auch biologisch abbaubar. Beispiele sind verzweigte Peptide oder modifizierte Zellulose. Umgekehrt können bestimmte fossil basierte Polymere wie etwa sogenannte aliphatische Polyester durchaus biologisch abgebaut werden. Bei der biologischen Abbaubarkeit müssen die Polymere biologischen Abbaumechanismen zugänglich sein. Deshalb ist der strukturelle Molekülaufbau entscheidend. Voraussetzung für den biologischen Abbau ist das Vorhandensein von Bakterien, Nährstoffen sowie der richtigen Temperatur und Feuchtigkeit. Die durch die Stoffwechselforgänge entstehenden Produkte sind insbesondere Wasser, Kohlendioxid und Biomasse, im Falle des anaeroben Abbaus auch Methan.



Grundsätzlich ist weder die biologische Abbaubarkeit noch die biologische Rohstoffbasis Synonym für besondere Umweltvorteile. Erst durch ganzheitliche Detailbetrachtungen wie z. B. mithilfe einer Ökobilanz können zuverlässige Aussagen über das Umweltverhalten eines Stoffes getroffen werden. Abbaubarkeit löst auch nicht das Problem des sog. »Littering«, also der Vermüllung in der Landschaft. Ohne die oben genannten Bedingungen der Abbaubarkeit, wie sie üblicherweise in einer Kompostanlage vorherrschen, können diese Kunststoffe in der freien Landschaft nicht verrotten. Abbaubare Kunststoffe verschärfen das »Littering«-Problem sogar noch, wenn der Verbraucher solche Produkte achtlos wegwirft, weil er auf ihre biologische Abbaubarkeit vertraut. Deshalb ist es so wichtig, dass Abfälle einer geordneten Sammlung und Verwertung zugeführt werden.



Untersucht die Abfallsammlungen in eurer Schule: Wie viele Gelbe Säcke/Tonnen gibt es? Wie viele Restmülltonnen usw.? Erfragt, was anschließend mit den Sammlungen geschieht.

BILDNACHWEIS

Umschlag: Fotostudio Wilms, Hohenstein

Seite 2: shutterstock.com

Seite 4/5: Volker Krieger, Hamburg,

Seite 5: shutterstock.com

Seite 6: google maps

Seite 8: shutterstock.com

Seite 11: shutterstock.com

Seite 12: (unten) Bildarchiv Preußischer Kulturbesitz, Berlin, (oben) Institut für Makromolekulare Chemie, Freiburg

Seite 13: Hoechst AG, Frankfurt

Seite 14/15: Fotostudio Wilms, Hohenstein

Seite 16: shutterstock.com

Seite 17: (oben) Fotostudio Wilms, Hohenstein

Seite 17: (unten) shutterstock.com

Seite 18/19: shutterstock.com

Seite 21: (oben) Kautex Textron GmbH & Co. KG, Bonn

Seite 21: Volvo Group Trucks Central Europe GmbH, Ismaning

Seite 22: shutterstock.com

Seite 23/24/25: Eberhard Theophel, Gießen

Seite 25: (unten) shutterstock.com

Seite 26: shutterstock.com

Seite 27/28: Eberhard Theophel, Gießen

Seite 32/33: shutterstock.com

Seite 34: shutterstock.com

Seite 38: BASF SE, Ludwigshafen

Seite 39: shutterstock.com

Seite 40: Thomas & Thomas Design, Heidesheim

Seite 41: Eberhard Theophel, Gießen

Seite 47: (oben und unten) BASF SE, Ludwigshafen

Seite 47: (Mitte) Bildagentur Mauritius, Frankfurt

Seite 48/49: Eberhard Theophel, Gießen

Seite 50: Tom Ring, Ravensburg

Seite 51: Eberhard Theophel, Gießen

Seite 52/53: Fotostudio Wilms, Hohenstein

Seite 53: shutterstock.com

Seite 54: shutterstock.com

Seite 57: Fotostudio Wilms, Hohenstein

Seite 58: shutterstock.com

Seite 60: (oben links) shutterstock.com

Seite 60: (oben) Arburg GmbH, Loßburg

Seite 61: Hermann Berstorff Maschinenbau GmbH, Hannover

Seite 62: (oben links) shutterstock.com

Seite 62: (Mitte) Krupp-Kautex Maschinenbau GmbH, Bonn

Seite 63: zündung GmbH Werbeagentur, Frankfurt am Main

Seite 63: (unten) Fotostudio Wilms, Hohenstein

Seite 69: shutterstock.com

Seite 72/73: shutterstock.com

Seite 74: shutterstock.com

Seite 77: shutterstock.com

Seite 79: shutterstock.com

Seite 81: Verband Deutscher Sporttaucher e.V (VDST), Offenbach

Seite 82: Wolf Wichmann, Pinneberg

Seite 83: shutterstock.com

Seite 84: shutterstock.com

Seite 85: shutterstock.com

Seite 87: The Lorenz Bahlsen Snack-World GmbH & Co. KG Germany, Neu-Isenburg

Seite 89: shutterstock.com

Seite 92: shutterstock.com

IMPRESSUM:

Herausgeber

Arbeitsgemeinschaft Deutsche Kunststoffindustrie
Mainzer Landstraße 55, 60329 Frankfurt am Main
Telefon +49 69 25561303
18. durchgesehene Auflage

