

# III ZUMM

## Alltags-Kunststoffe - Kohlenstoff-Ketten in viele Variationen

< Oberstufen-Chemiebuch Kontextorientiert

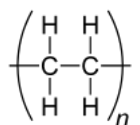
Nachdem wir uns auf der vorherigen Seite vor allem mit den Prinzipien der Kunststoffchemie beschäftigt haben, soll es nun um konkrete Typen von Kunststoffen gehen mit verschiedenen Monomeren und Polymeren. Dabei werden wir dann die Theorie nutzen, um die Eigenschaften der Stoffe erklären bzw. selber bestimmen können.

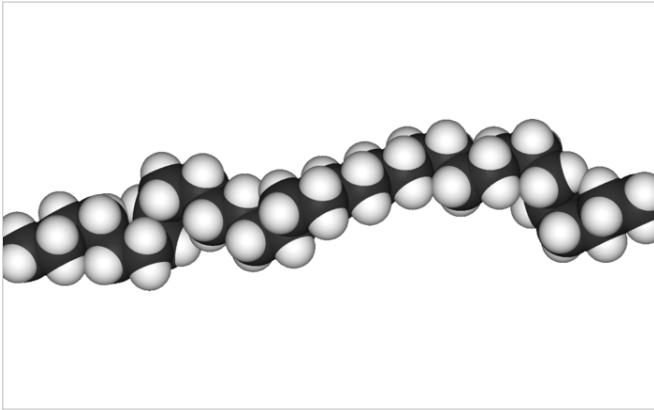
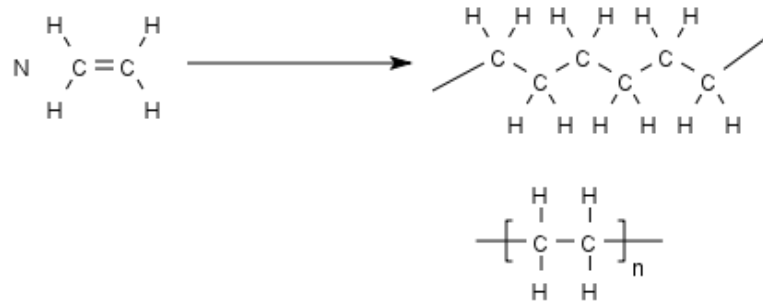
### Inhaltsverzeichnis

- 1 Polyethylen
  - 1.1 Geschichtliche Entwicklung
  - 1.2 Verschiedene Typen von Polyethylen
  - 1.3 Zusammenhang zwischen Struktur und Eigenschaften genauer betrachtet
    - 1.3.1 Dichte
    - 1.3.2 Schmelz- und Siedetemperatur
    - 1.3.3 Härte und Reißfestigkeit
    - 1.3.4 Chemische Beständigkeit
    - 1.3.5 Einsatzmöglichkeiten für die verschiedenen PE-Typen
  - 1.4 Recycling von Polyethylen
  - 1.5 Abschluss
- 2 Polypropylen (PP)
  - 2.1 Synthese von Polypropylen
  - 2.2 Vergleich der Eigenschaften von PE und PP
  - 2.3 Transparenz von PP
- 3 Weitere Polymere
  - 3.1 Polyvinylchlorid (PVC)
  - 3.2 Polystyrol (PS)
  - 3.3 Polymethylmethacrylat (PMMA)
  - 3.4 Polyacrylnitril (PAN)

## Polyethylen

Das Polyethylen (kurz PE) ist zwar nicht das erste Polymer, das hergestellt wurde, aber es ist das einfachste. Der Name **Polyethylen** ergibt sich aus dem Ausgangsstoff, dem Monomer, hier also das Ethylen = Ethen. Es ist deshalb das einfachste, da an der grundlegenden Struktur, die für eine Polymerisationsreaktion notwendig ist, also der Doppelbindung, keine weitere Kette oder Gruppe hängt.





Eine einzelne Polyethylen-Kette, die Grundstruktur aller einfachen Kunststoffe.

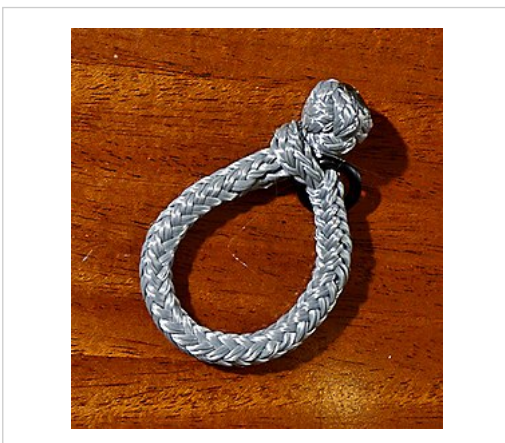
Polyethylen ist mit einem Anteil von ca. 38 Prozent der weltweit am meisten genutzte Kunststoff. Die Anwendungen sind vielfältig:



Chemikalien-Flaschen die chemisch resistent sind



Plastik-Tüten - leicht und recht reißfest



Extra reißfeste Kletterseile

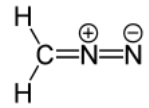


Dünne, stabile und lebensmittelechte Plastik-Tüten

## Geschichtliche Entwicklung

Zum ersten Mal wurde 1898 von dem deutschen Chemiker Hans von Pechmann zufällig hergestellt, als er mit Diazomethan (*siehe Bild*) experimentierte. Man erhielt eine weiße, wachsartige Substanz. Die Entstehung lässt sich recht leicht erklären, denn wenn vom

instabilen Diazomethan ein Stickstoff-Molekül abgespalten wird, werden  $\text{CH}_2$ -Gruppen frei, die sich zu einer langen Kette zusammensetzen können. Da Diazomethan sehr instabil ist, deswegen nicht in größeren Mengen gelagert werden kann und nebenbei auch giftig ist, ist die Herstellungsweise wenig erfolgreich gewesen.



Die erste industrielle Polyethylen-Synthese wurde (*wieder durch Zufall*) 1933 in England von Chemikern entdeckt, die für die ICI (*Imperial Chemical Industries*) arbeiteten. Bei extrem hohen Drücken (*ca. 1400 bar*) erzeugten sie aus einem Gemisch aus Ethylen und Benzaldehyd ein weißes, wachsartiges Material. Das Benzaldehyd ist für die Reaktion nicht wirklich von Bedeutung und tatsächlich funktionierte die Methode nur wegen kleinen Mengen an Sauerstoff, die ins Reaktionsgefäß gelangt waren. Zwei Jahre später konnte dann aber wieder ein Chemiker von ICI eine tatsächlich funktionierende und nachvollziehbare Hochdrucksynthese für Polyethylen vorstellen. Sie war die Grundlage für die industrielle Produktion am 1939.

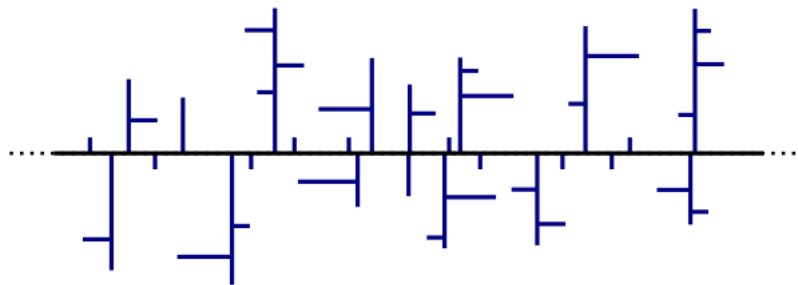
Ein weiterer Meilenstein in der industriellen Herstellung von Polyethylen war die Entwicklung von Katalysatoren, die die Polymerisation bei milden Temperaturen und Drücken ermöglichen. Immer noch verwendet wird der 1953 nach seinen Entdeckern (*Karl Ziegler und Giulio Natta*) benannte **Ziegler-Natta-Katalysator**, der **Titanhalogeniden** und aluminiumorganischen Verbindungen enthält.

## Verschiedene Typen von Polyethylen

Rein theoretisch ist eine solche Polymerisation ja eine eindeutige Sache:

- mit einer **Startreaktion** wird eine Doppelbindung (*hier am Ethylen*) aufgespalten und damit die Kettenreaktion vorbereitet
- in der **Kettenreaktion** bindet sich immer wieder eine  $\text{C}_2\text{H}_4$ -Gruppe nach der anderen, so dass die Kette länger und länger wird.

Natürlich wird nicht nur an einer Stelle gestartet, aber wir gehen zunächst einmal davon aus, dass jede einzeln Kettenverlängerung für sich abläuft. Tatsächlich ist es so, dass bei den ersten Polyethylen-Synthesen, aufgrund hohen Temperaturen gar keine so geordnete Polymerisation stattgefunden hat. Stattdessen kann man sagen, dass die hohen Temperaturen an ganz vielen Stellen gleichzeitig die Doppelbindungen aufbrechen, dabei Radikale entstehen und so gleichzeitig viele Ketten anfangen zu wachsen. Diese radikalischen Ketten könnten sich dann beliebig mit anderen Ketten verbinden und durch Umlagerungen innerhalb des Ketten-Moleküls kann auch eine Seitenkette an einer längeren angehängt werden. Tatsache ist, dass die ersten Polyethylene sehr stark verzweigte Ketten bildeten, die man sich so vorstellen kann:



### AUFGABE 1

Die ersten Polyethylene, die hergestellt wurden, waren eher klebrige, wachsartige Produkte und keinesfalls fest.

- Was lässt sich damit über die allgemeinen physikalischen Eigenschaften des Polymers vermuten?

Führt man stattdessen die Polymerisation bei niedrigen Temperaturen durch, wie es zum Beispiel beim **Ziegler-Natta-Katalysator** der Fall ist, so kann man den Verzweigungsgrad genau bestimmen. Für die Entdeckungen zur Nutzung von Katalysatoren bei der Polymerisation bekamen **Karl Ziegler und Giulio Natta 1963 den Nobelpreis für Chemie**.



Karl Ziegler



Gedenktafel für Karl Ziegler in Mülheim a.d. Ruhr

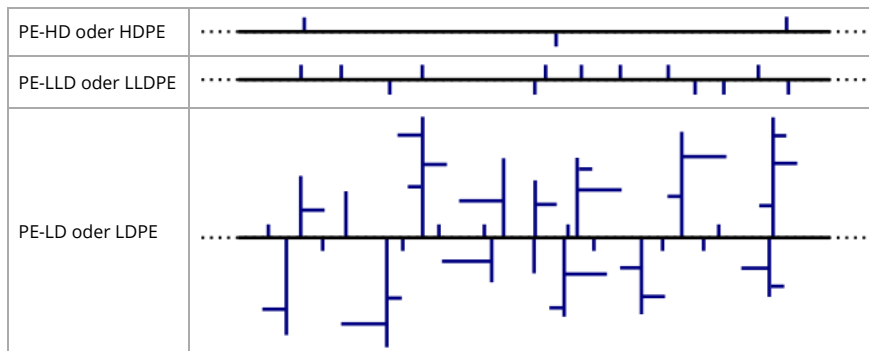


Giulio Natta



Museum in Mailand, mit dem Experimenten von Natta

Statt der stark verzweigten Struktur, ist es mit dem Katalysator nun möglich, auch wenig bis gar nicht verzweigte Polyethylensorten zu gewinnen.



Die verschiedenen Kürzel, die hinter den Buchstaben PE stehen, beschreiben den wesentlichen Unterschied zwischen den drei Sorten, nämlich die unterschiedliche Dichte:

- PE-HD hat eine hohe Dichte (**H**igh **D**ensity) von durchschnittlich etwa  $0,955 \text{ g/cm}^3$
- PE-LD hat eine geringe Dichte (**L**ow **D**ensity) von durchschnittlich etwa  $0,925 \text{ g/cm}^3$
- PE-LLD hat eine teilweise recht niedrige Dichte von  $0,87\text{--}0,94 \text{ g/cm}^3$ , der Namen leitet sich von **L**inear **L**ow **D**ensity ab, da trotz der wenig verzweigten Struktur eine niedrige Dichte hat.

## AUFGABE 2

Schauen wir uns zur Wiederholung nach einmal den Begriff der Dichte an:

- Wie ist die Dichte definiert?
- Vergleicht man die Dichte von Stoffen im gasförmigen bzw. festen Zustand, so hat man gasförmigen Zustand eine sehr viel geringere Dichte? Wie lässt sich das erklären?
- Wie kann man bei verschiedenen Feststoffen unterschiedliche Dichten erklären?

Hier hat man einen direkten Zusammenhang zwischen innerer Struktur und der von außen zu messenden Eigenschaft, hier der Dichte. Dichte gibt ja an, wieviel Masse auf ein bestimmtes Volumen kommt. Da wir hier die gleichen Arten an Atomen (*nur C und H*) und eigentlich den gleichen Aufbau haben, geht es letztendlich hier um die Anzahl der Atome, die sich in einem Raumbereich befinden. Und die hängt von dem inneren Aufbau ab. Man kann sich das so vorstellen, dass bei unverzweigten Ketten, wie beim PE-HD, diese Ketten sehr nah aneinander und parallel anlagern können, da nichts absteht. Damit liegen viele Atome näher beieinander und damit ist mehr Masse im gleichen Raumbereich vorhanden.

Beim PE-LD und PE-LLD ist der Abstand offensichtlich größer (also weniger Atome pro Raumbereich), was sich damit erklären lässt, dass die Seitenketten dazu führen, dass die Ketten ungeordnet neben- bzw. durcheinanderliegen.

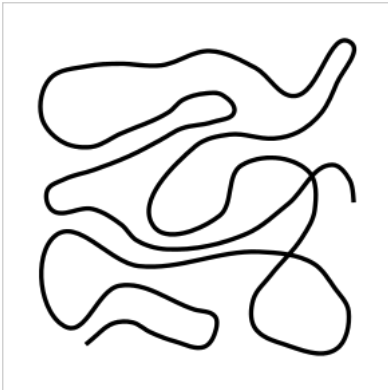
## AUFGABE 3

Interessanterweise die Dichte bei PE-LLD teilweise sogar niedriger als bei dem PE-LD. Das passt ja irgendwie gar nicht zu dem Aufbau der Kohlenstoffkette und der Menge an Verzweigungen. *Spekuliere darüber, wie man das erklären könnte!*

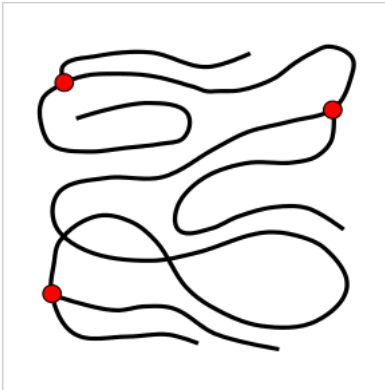
### Zusammenhang zwischen Struktur und Eigenschaften genauer betrachtet

#### Dichte

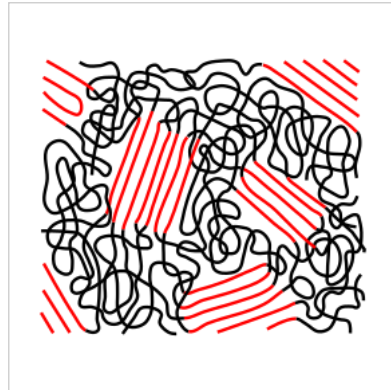
Wie auch die Dichte lassen sich weitere Eigenschaften der verschiedenen PE-Typen aufgrund des unterschiedlichen Molekülbaus erklären. Betrachten wir eine andere andere Auswirkung, zu der wir bisher nur die Bezeichnung angesprochen haben. Dazu noch einmal kurz als Wiederholung:



Unverzweigte Ketten, die ungeordnet liegen = **amorphe Struktur**



Teilweise verzweigte Ketten, die ungeordnet liegen = **amorphe Struktur**



Unverzweigte Ketten, die teilweise geordnet vorliegen = **teilkristalline Struktur**, dazwischen Bereiche, in denen die Kette amorph vorliegt.

## Teilkristalline Polymere

Bei **Teilkristallinen Polymeren** handelt es sich um thermoplastische Kunststoffe, in denen Bereiche existieren, bei denen sich die Polymerketten parallel anordnen konnten, was zu einer höheren Dichte führt.

Wie sich der unterschiedliche Molekülaufbau auf den Anteil an kristallinen Bereichen auswirkt kann man an der folgenden Tabelle auslesen. Dazu noch einmal die genauen Daten zur Dichte im Vergleich:

Eigenschaft	PE-LD	PE-HD	PE-LLD
Dichte in $\text{g/cm}^3$	0,915–0,935	0,94–0,97	0,87–0,94
Kristallinität in %	40–50	60–80	10–50

Kristalline Bereiche bedeuten ja, dass die Molekülketten parallel liegen und somit wenig Platz einnehmen und damit passen diese Daten gut zu der Dichte der verschiedenen Polyethylen-Typen.

## Dichte bei Teilkristalline Polymere

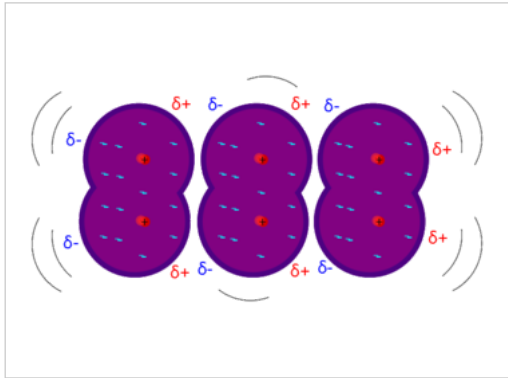
Die Dichte ist bei **teilkristallinen Polymeren** meist höher als bei entsprechenden rein amorphen Polymeren, da in den teilkristalline Bereichen die Polymerketten eng beieinander liegen.

### Schmelz- und Siedetemperatur

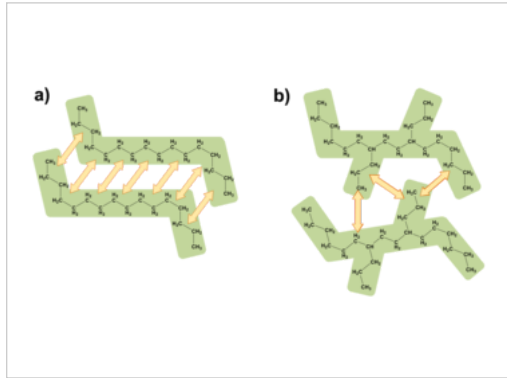
Betrachten wir nun mal die Schmelz- und Siedetemperatur der verschiedenen PE-Typen. Es sind ja allgemein zwei Dinge, die im Wesentlichen bei der Siedetemperatur eine Rolle dabei spielen:

1. **Die Masse der Teilchen, die beim Erwärmen in Bewegung gebracht werden müssen.** Je größer die Masse der Teilchen ist, desto schwieriger ist es, sie in Bewegung zu bringen. Bei den Kunststoffen haben wir allgemein sehr große Moleküle (*bis zu mehreren tausend C-Atomen lange Ketten!*), so dass es hier vor allem darum geht, die Ketten in beim Schmelzen in Bewegung zu bringen. Diese langen Ketten führen auch dazu, dass die Kunststoffe meist fest sind.
2. **Die Anziehung der Moleküle untereinander, die überwunden werden muss.** Damit sich die Moleküle bewegen können, müssen auch die Anziehungskräfte der Moleküle/Molekülketten untereinander überwunden werden. Da wir bei PE reine Kohlenwasserstoffketten haben, haben wir keine polaren Gruppierungen und daher wirken nur die Van-der-Waals-Kräfte.

Die Molekular-Masse spielt nur dann eine Rolle, wenn sich die Anzahl der Atome in einer Polymer-Kette wesentlich unterscheidet. Bei festen Werkstoffen es weniger wichtig, denn die Unterschiede sind nicht so groß. Liegen die Ketten aber parallel (*wie in den teilkristallinen Bereichen*), so können die Van-der-Waals-Kräfte besser wirken. Die **Van-der-Waals-Kräfte** bezeichnet ja die Anziehung durch sich zufällig ergebende Dipole, die bei günstiger Lage an Nachbarmoleküle weitergegeben werden können (*temporäre und induzierte Dipole*), wodurch kurzfristig eine Anziehung besteht. Die Anziehung ist umso höher, je größer die Fläche ist und je paralleler die Moleküle liegen.



Verlagerte Elektronen in der Hülle der Atome führen zu kurzfristigen Dipolen.



Vergleich gerader und verzweiger Alkane und die Möglichkeit für Van-der-Waals-Kräfte.

Wenn die Anziehung bei parallelen Ketten größer ist, sollte auch die Siedetemperatur mit höherer Kristallinität größer sein. Hier dazu die Daten, die das belegen:

Eigenschaft	PE-LD	PE-HD	PE-LLD
Kristallinität in %	40-50	60-80	10-50
Schmelzpunkt in °C	130-145	130-145	45-125
Wärmeformbeständigkeit bis °C	80	100	30-90

Offensichtlich passt der Zusammenhang bei dem PE-LLD sehr gut, denn es hat die niedrigste Siedetemperatur bei dem geringsten Anteil an Kristallinität. Das PE-LD zeigt, ähnlich wie bei der Dichte, dass es da Auswirkungen durch die langen und auch verzweigten Seitenketten gibt, die die Anziehung wiederum verbessern, so dass wir bei PE-HD und PE-LD den gleichen Schmelzbereich haben.

Unterschiede gibt es bei der Wärmeformbeständigkeit, einer speziellen Messgröße zur Untersuchung von Kunststoffen.

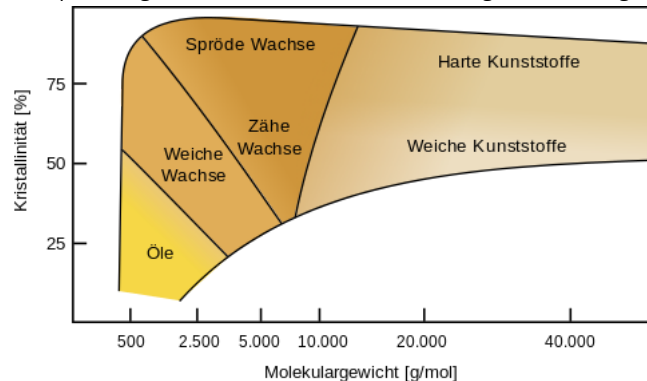
### HINWEIS: Wärmeformbeständigkeit

Die **Wärmeformbeständigkeit** ist ein Maß für die Temperaturbelastbarkeit von Kunststoffen. Dabei wird zum Beispiel die Temperatur bestimmt, bei der sich eine Probe verbiegen lässt und ein Prüfkörper in das Material andringt.

Allerdings bleibt das PE-HD länger stabil und ist erst bei einer höheren Temperatur verformbar.

### Härte und Reißfestigkeit

Das folgende Bild zeigt einen Überblick, wie Molekülmasse und Kristallinität sich auf die Eigenschaften der Polyethylene als Feststoff auswirken. Neben den der Schmelztemperatur gibt es da noch Unterschiede bezüglich der Festigkeit (hart, weich, spröde).



Die Darstellung macht deutlich, dass man harte Kunststoffe nur bekommt, wenn es einen hohen Zusammenhalt zwischen verschiedenen Molekülketten gibt. Das kann entweder durch Kristalline Bereiche geschehen oder, was wir bisher nur theoretischen angesprochen haben, bei den Duroplasten, wo man echte Bindungen zwischen den Molekülketten haben muss.

Überlegen wir uns, ob wir die verschiedenen Eigenschaften von den verschiedenen PE-Varianten erklären können.

### HINWEIS: Wachs

Ein Stoff wird als **Wachs** bezeichnet, wenn er bei 20 °C knetbar, fest bis brüchig-hart ist, eine grobe bis feinkristalline Struktur aufweist, über 40 °C ohne Zersetzung schmilzt, wenig oberhalb des Schmelzpunktes dünnflüssig ist.

## Das Diagramm verstehen

Das Besondere an diesem Diagramm ist, dass wir hier nicht eine funktionelle Zuordnung haben, wie sonst bei Graphen. Man darf das Diagramm also nicht so verstehen, dass man fragt: Welche Kristallinität gehört zu welchem Molekulargewicht. Vielmehr ist jede Art von Kombination an Molekulargewichtung und Kristallinität möglich und das Diagramm zeigt an, welche nach außen sichtbaren Eigenschaften der entstandene Kunststoff dann hätte.

▼ Vergleich mit p-T-Phasendiagramm von Wasser anzeigen

## AUFGABE 5 - Wähle die richtigen Bedingungen!

Tupperware macht Werbung für ihre besonders haltbaren und auch bei kalten Temperaturen nicht spröde werdenden Dosen. Bei Normaltemperatur sind die Dosen dagegen recht weich und geben beim Anfassen ein geradz wachstartiges Gefühl. Welche Art von Polyethylen könnten die Entwicklungsingenieure für die Gefrierdosen verwendet haben?

- Gib an, wie die Molekularmasse und der Kristallisationsgrad sein müsste.



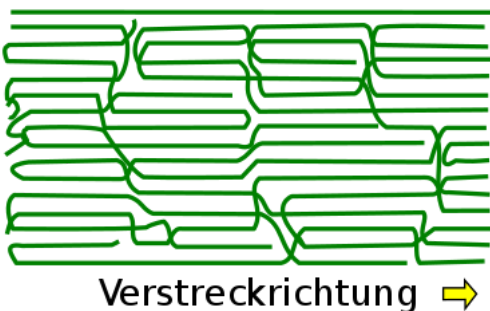
## AUFGABE 6 - Auswirkungen von Molekulargewicht und Kristallinität

Versuche allgemein zu beschreiben, wie sich die Eigenschaften eines Polyethylens generell mit

- größer werdendem Molekulargewicht
- mit zunehmender Kristallinität

verändern. Betrachte dazu die Tendenz jeweils in einer Achsenrichtung getrennt von der anderen Achsenrichtung.

Um die Stabilität eines Kunststoffes zu verbessern, gibt es ein spezielles Verfahren, durch das man in dem Material den Anteil der kristallinen Bereiche erhöhen kann. Dies geschieht beim sogenannten **Verstrecken**. Es führt zu einer erhöhten Orientierung der Kettenmoleküle, sprich sie ordnen sich parallel zueinander an, was die Entstehung von kristallinen Bereichen bedeutet und damit eine höhere Stabilität. Gerade bei Fasern, wird dieses Verfahren häufig genutzt.



## Chemische Beständigkeit

Zwei Aspekte spielen bei der Chemikalienbeständigkeit eine Rolle:

- Wie reaktiv sind die Atome/Gruppierungen innerhalb des Makromoleküls.
- Wie dicht die nebeneinander liegende Makromoleküle zueinander liegen.

Da alle Polyethylen-Typen aus den gleichen Arten von Atomen bestehen, gibt es hier keinen Unterschied. Die Moleküle sind alle nach außen hin unpolar, wie es bei allen Alkanen ist, egal ob die Moleküle verzweigt sind oder linear.

Gäbe es funktionelle Gruppen oder andere Atome, so würde das zu Teilladungen führen, die eine Angriffsmöglichkeit für polare Lösungsmittel bieten würde. So sind alle Polyethylen-Arten beständig gegen schwache Säuren und Laugen und sie quellen Wasser nicht auf. Die Gas- und Wasserdampfdurchlässigkeit (von polaren Stoffen) ist niedriger als bei den meisten Kunststoffen. Unpolare Gase wie Sauerstoff und Kohlendioxid diffundiert allerdings durch PE hindurch.

Schauen wir uns eine Vergleich der chemischen Beständigkeit bei den verschiedenen PE-Typen genauer in einer Tabelle an:

Eigenschaft	PE-LD	PE-HD	PE-LLD
Chemische Beständigkeit	bedingt beständig	beständig, außer starke Oxidationsmittel	bedingt beständig
beständig gegen ...	Wasser, verdünnte Säuren, Laugen, Salzlösungen, Lösungsmittel, Alkohole, aliphatische Kohlenwasserstoffe, Benzin	Heißwasser, Mineralsäuren, Laugen, Lösungen anorganischer Salze, aliphatische Kohlenwasserstoffe, Alkohole, Ester, Ketone, Mineralöle, Amine, organische Säuren, Fette und Öle.	Wasser, verdünnte Säuren, Laugen, Salzlösungen, Lösungsmittel, Alkohole, aliphatische Kohlenwasserstoffe, Benzin
unbeständig gegen ...	starke Säuren und Oxidationsmittel, oxidierende Säuren, Ester, Ketone, aromatische und chlorierte Kohlenwasserstoffe	oxidierende Säuren, aromatische Kohlenwasserstoffe	starke Säuren und Oxidationsmittel, oxidierende Säuren, Ester, Ketone, aromatische und chlorierte Kohlenwasserstoffe

Insgesamt kann man sagen, dass

## AUFGABE 7

Vervollständige den Multiple-Choice-Test zu chemischen Beständigkeit:

### Einsatzmöglichkeiten für die verschiedenen PE-Typen

Die unterschiedlichen Eigenschaften der verschiedenen PE-Typen führt zu ganz verschiedenen Anwendungsgebieten.

Da **PE-HD** mit seinem höheren Anteil an kristallinen Bereichen wesentlich stabiler ist, wird es meist für Formteile verwendet. Dazu gehören Haushaltswaren, Lager- und Transportbehälter, Abfalltonnen, Flaschenkästen, Benzinkanister und Kraftfahrzeugtanks. Aber auch Seile können daraus hergestellt werden.

**PE-LD** und **PE-LLD** werden dagegen eher zu Folien für die Verpackung oder als Beschichtung für andere Materialien verwendet: Schwere-Folien, Schrumpffolien, Tragetaschen, Landwirtschaftsfolien, Wasserdampfsperren bei Verbundmaterialien, Ummantelungen von Fernmeldekabeln, Beschichtung von Stahlrohren, flexible Behälter und Flaschen.

In der Verarbeitung unterscheiden sich die alle PE-Typen nur unwesentlichen. Als Thermoplast kann PE in verflüssigter Form in Formen gegossen und in aufgeblasen werden. Unterschiedlich ist nur die Verarbeitungstemperatur. Einen Einfluss auf die Kristallinität hat aber auch die Geschwindigkeit, mit der das Material abgekühlt wird. Schnell abgekühlte Formteile weisen eine geringe Kristallinität auf, da die Moleküle keine Zeit hatten sich parallel anzuordnen.

## AUFGABE

Versuch in diesem Multiple-Choice Test noch einmal zu wiederholen, warum diese

### Recycling von Polyethylen

*Ein Strand am Roten Meer in Ägypten*





Schon bei Polyethylen, den am häufigsten hergestellten Kunststoff, stellt sich die Frage, ob die Mengen an verwendeten Plastikverpackungen nicht zu viel ist.

Ähnlich wie bei anderen Kunststoffe geht man davon aus, dass auch Polyethylen sich erst nach bis zu 450 Jahre von alleine zersetzt (→ *andere Müllarten zum Vergleich* ([https://www.umweltbundesamt.de/sites/default/files/medien/419/dokumente/wie\\_lange\\_braucht\\_der\\_muell\\_um\\_abgebaut\\_zu\\_werden.pdf](https://www.umweltbundesamt.de/sites/default/files/medien/419/dokumente/wie_lange_braucht_der_muell_um_abgebaut_zu_werden.pdf))). Seine chemische und biologische "Stabilität", was Kunststoffe als Werkstoffe so praktisch machen, führen aktuell zu immer mehr Umweltverschmutzung.

Da es sich bei Polyethylen um einen Thermoplasten handelt ist es theoretisch recht gut wiederzu verwerten, denn man kann es theoretisch einfach umschmelzen zu einem neuen Produkt. In Deutschland gibt es ein recht gut ausgebautes Recycling-System, das im Wesentlichen aus dem Rücknahme-System "Grüner Punkt" entstanden ist.



2013 fielen in Deutschland 5,68 Millionen Tonnen Kunststoffabfälle an. Der überwiegende Teil sind Produktabfälle, die beim privaten Endverbraucher oder im Gewerbe anfallen: etwa 4,75 Millionen Tonnen. Der Rest sind Produktions- und Verarbeitungsabfälle: 0,93 Millionen Tonnen. Die meisten Kunststoffabfälle stammen aus dem Verpackungsbereich: 1,4 Millionen Tonnen. <br> ...<br>

Die anfallenden Kunststoffe werden nahezu vollständig verwertet (in 2013 zu 99 Prozent).

## VORTRAG Arten des Recycling

Informiere dich über mögliche Arten von Recycling. Du musst dich dabei nicht auf Polyethylen und Thermoplaste beschränken.

Während man in Deutschland also einigermaßen auf das Recycling achtet, ist das gerade in vielen Entwicklungsländern ein eklatantes Problem. Gerade im Meer sammeln sich in einigen Gegenden aufgrund besonderer Strömungen Unmengen an Müll, der durch die mechanische Bearbeitung von Wind und Wellen zu Mikroplastik-Teilchen zerfallen.

Die Bedeutung von Plastik-Müll im Meer wurde anfangs erst einmal verharmlost. In den 1980er Jahren gingen Wissenschaftler noch davon aus, dass die Plastikteilchen nicht weiter gefährlich für die Umwelt seien, da sie von Algen und Kleinstlebewesen besiedelt wurden.

2012 berichtete das wissenschaftliche Fachjournal *Environmental Science & Technology* über eine Untersuchung an vielen Stränden auf allen sechs Kontinenten, die überall Mikroplastikteilchen nachwies; dazu gehören wohl auch Fasern aus Fleece- und anderen Kleidungsstücken aus synthetischen Materialien: Beim Waschen in der Waschmaschine entstehen bis zu 1900 kleinste Kunststoffteilchen pro Waschgang, die durch die Bewegung in der Waschtrommel abbrechen.

Trotz ihrer geringen Größe sind Mikropartikel vermutlich das größte Problem, denn über Meeres-Tiere, die sich normalerweise von Kleinstlebewesen ernähren, können sie auch in Lebensmittel gelangen und damit womöglich auf unseren Tisch. Problematisch sind sie auch deshalb, weil sie im Gegensatz zu größeren Gegenständen nicht so einfach aus dem Meer gefischt werden können.



Mageninhalt eines verendeten Albatrosses.



Schildkröte, die von einem Geisternetz stranguliert wird.

## VORTRAG Aktuelle Informationen zur Verschmutzung des Meeres durch Plastik-Müll

Informiere dich die Entwicklung und die aktuelle Situation.

## VORTRAG Verbot von PlastikTüten in Afrika

Einige Länder Afrikas haben Ende 2017/Anfang 2018 strenge Gesetze zur Vermeidung der Flut an Plastik-Müll und seinen verheerenden Umweltfolgen erlassen. In Kenia drohen Herstellern, Verkäufern und sogar Benutzern von Plastiktüten Haftstrafen von bis zu vier Jahren oder Geldbußen von 40.000 Dollar, umgerechnet etwa 32.000 Euro.

- Informiere dich über die aktuelle Situation in Kenia, wie die Regierung das Gesetz durchsetzen will und welche Chancen ein solches Verbot bietet.

## AUFGABE XX

Warum ein echtes Recycling sich immer noch nicht wirklich lohnt, wird in diesem Artikel vom WDR erläutert: Kunststoff-Recycling noch zu teuer (<https://www1.wdr.de/wissen/technik/kunststoffmuell-recycling-100.html>).

- Fasse die Informationen des Textes zusammen.

## Abschluss

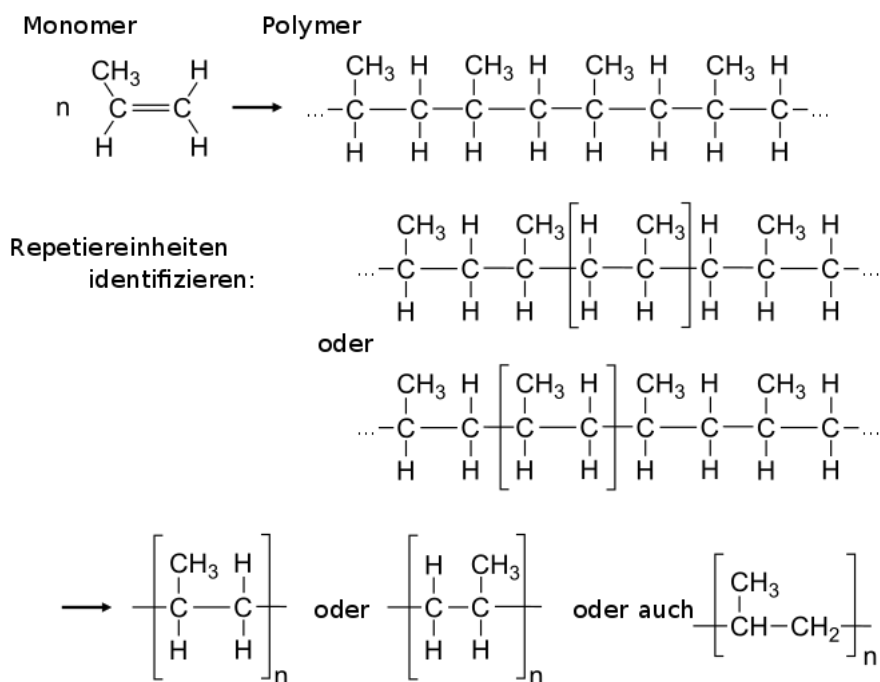
Obwohl wir uns hier nur mit einer Art Kunststoff beschäftigt haben, zeigt sich schon hier, dass durch die Wahl eines Produktionsverfahrens, Produktionsbedingungen, Katalysatoren usw. gezielt Polymere mit erwünschten Eigenschaften hergestellt werden können. Und neben harten oder weichen Kunststoffen sind auch Wachse, Fette und sogar Öle aus Polyethylen herstellbar.

Was wir beim Polyethylen schon erkannt haben, werden wir auch bei den folgenden Kunststoffen anwenden ... und noch ein wenig mehr kennenzulernen.

## Polypropylen (PP)

### Synthese von Polypropylen

Zu Beginn noch einmal die Wiederholung der grundlegenden Begriffe:



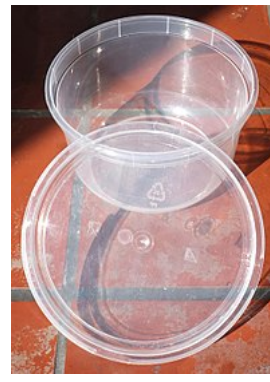
Polypropylen **PP** ist neben dem am häufigsten verwendeten Polyethylen der am zweithäufigsten verwendete Standardkunststoff und wird häufig in Verpackungen verwendet. Hier einige Beispiele für die Nutzung von PP



Kunststoffbecher für die Laborbenutzung



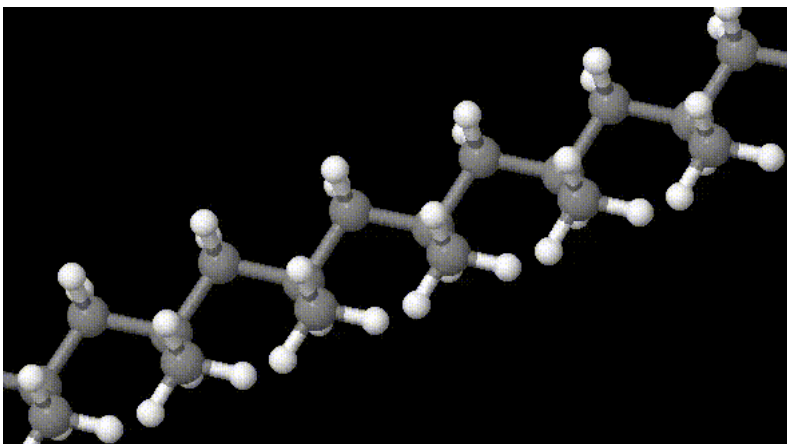
Deckel der TicTac-Packung



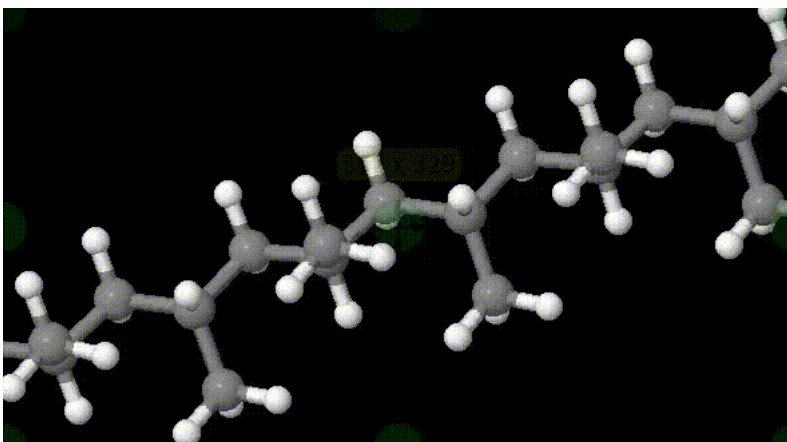
Transparente Verpackungs-Behälter

Im Gegensatz zum Polyethylen, haben wir beim Polypropylen eine Seitenkette. Selbst wenn die Monomere sich immer auf die gleiche Art und Weise anordnen, kann die räumliche Anordnung der Methylgruppe unterschiedlich sein. Dabei unterscheidet man zwischen drei Varianten .

### Taktizität beim Polyethylen

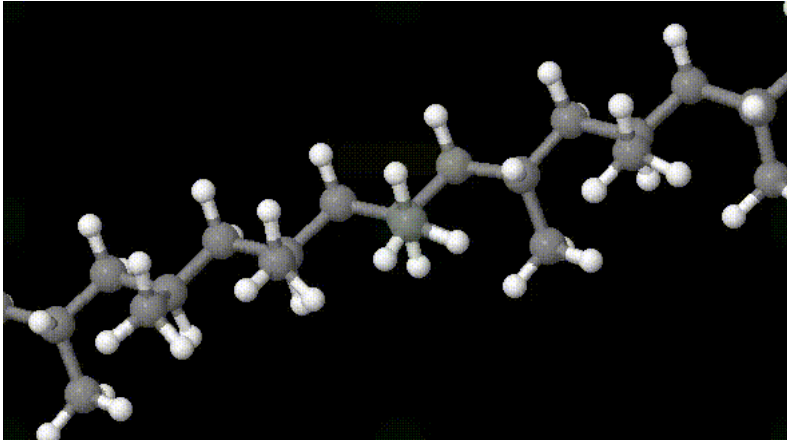


**isotaktisch** bei einem Polymer dessen Reste in eine Richtung zeigen bzw. räumlich identisch gebunden sind



**syndiotaktisch** wenn die Reste abwechselnd an der Hauptkette in die zwei möglichen Richtungen zeigen bzw. räumlich gebunden sind

Die zwei Bilder zeigen die Polypropylen-Kette einmal von der Seite und einmal von oben!



**aktaktisch**, bei einer zufälligen räumlichen Anordnung der Reste.

## “ Taktizität der Seitenketten → Taktizität

Die **Taktizität** (griech. *taxis* „Anordnung“), auch **Stereoregularität**, beschreibt die in bestimmten Intervallen wiederkehrende Anordnung von Seitenketten in einem Polymer. Prinzipiell kann Taktizität nur bei Polymeren auftreten, die aus asymmetrischen Monomeren aufgebaut sind, so z. B. bei Polypropylen oder Polystyrol, jedoch nicht bei Polyethylen oder Polytetrafluorethylen.

## AUFGABE XX - Eigenschaften von verschiedenen PP-Typen

- Überlege bei den verschiedenen Polypropylenarten, wie sich die Taktizität auf die Kristallinität auswirkt!
- Wie wirkt sich wiederum die Kristallinität auf weitere Eigenschaften wie die Schmelztemperatur aus?

▼ Lösung anzeigen

## Vergleich der Eigenschaften von PE und PP

- Polypropylen ähnelt in vielen Eigenschaften Polyethylen, speziell im Lösungsverhalten und den elektrischen Eigenschaften.
- Die zusätzlich vorhandene Methylgruppe verbessert die mechanischen Eigenschaften und die thermische Beständigkeit, während die chemische Beständigkeit durch sie sinkt. Durch das tertiäre Kohlenstoffatom ist PP chemisch weniger beständig als PE.
- PP ist geruchlos und hautverträglich, für Anwendungen im Lebensmittelbereich und der Pharmazie ist es geeignet, es ist physiologisch unbedenklich und biologisch inert.
- PP kann mit mineralischen Füllstoffen wie z. B. Talkum, Kreide oder Glasfasern gefüllt werden. Dadurch wird das Spektrum der mechanischen Eigenschaften (Steifigkeit, Gebrauchstemperaturen, etc.) deutlich erweitert.

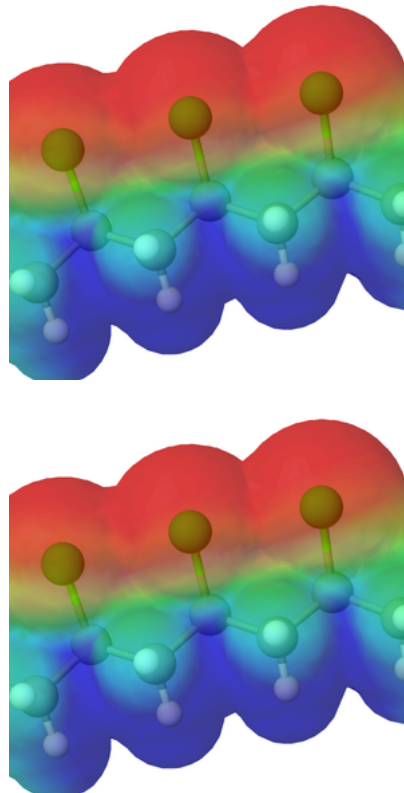
## Transparenz von PP

## AUFGABEN Bearbeitung in Gruppen

Bearbeitet in Gruppen folgende Aufgaben und präsentiert eure Ergebnisse den Mitschülern.

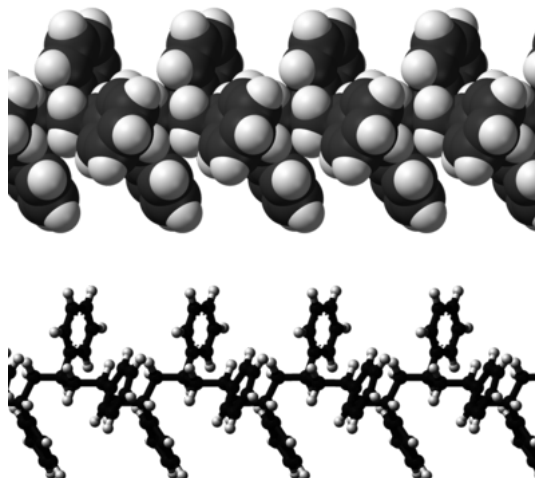
- Wie sieht das Monomer und die Polymere aus?
- Wie sind die Eigenschaften für dieses Polymer?
- Für was für das Polymer eingesetzt.?
- Kann man die Eigenschaften aufgrund des Molekülbaus erklären?
  - Vergleicht die Eigenschaften eventuell mit den verschiedenen PE-Typen um zu zeigen, wie sich der Molekülbau auf die Eigenschaften im Vergleich zu dem PE auswirkt.

## Polyvinylchlorid (PVC)



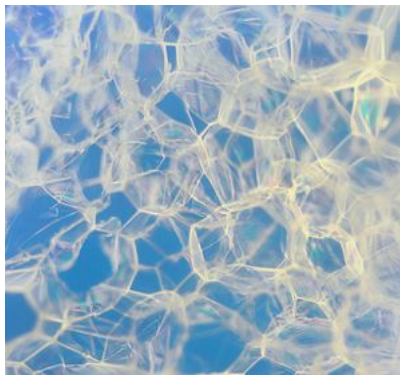
## Polystyrol (PS)

Die Polystyrol-Ketten sind recht kompliziert aufgebaut und daher braucht es Zeit, bis kristalline Bereiche entstehen können. Bei schneller Abkühlung bekommt man ein amorphes und daher transparentes Polymer.



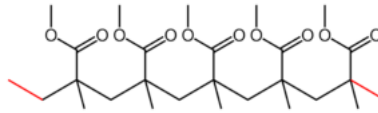
Styropor wird meist mit Pentan als Treibmittel aufgeschäumt. Für die Verarbeitung gibt es kleine vorgeschäumte Polystyrol-Kugeln, die unter Einsatz von Wärme in die gewünschte Form gebracht werden.

Das Styropor erscheint weiß, schaut man aber genauer hin (siehe Bild bei 200-facher Vergrößerung), so sind die Wände der Kammern, die mit dem Treibgas gefüllt sind, durchsichtig.

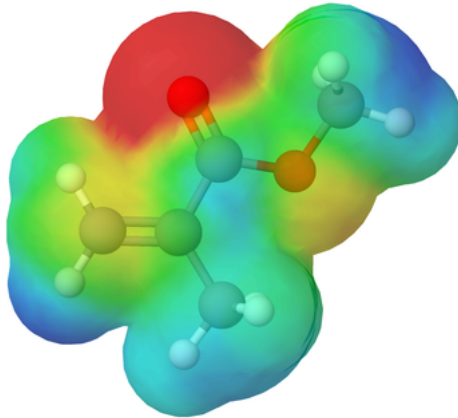


## Polymethylmethacrylat (PMMA)

---

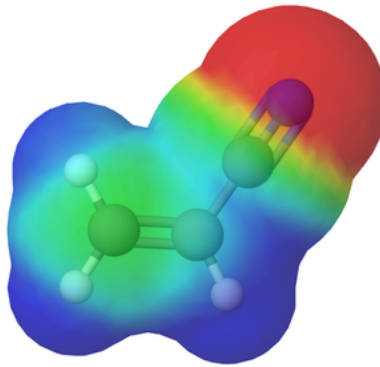


Problem von PMMA: wegen der Polarität der Seitenketten, ist PMMA empfindlich gegenüber polaren Lösungsmitteln wie Ethanol und Aceton. Außerdem gegenüber Säuren und Laugen. Letztere führen zu Zersetzung der Ester-Gruppe in der Seitenkette.



## Polyacrylnitril (PAN)

---



Abgerufen von „[https://zum-wiki.idea-sketch.com/index.php?title=Oberstufen-Chemiebuch\\_Kontextorientiert/Alltags-Kunststoffe\\_-\\_Kohlenstoff-Ketten\\_in\\_viele\\_Variationen&oldid=48219](https://zum-wiki.idea-sketch.com/index.php?title=Oberstufen-Chemiebuch_Kontextorientiert/Alltags-Kunststoffe_-_Kohlenstoff-Ketten_in_viele_Variationen&oldid=48219)“

---