Organische Chemie

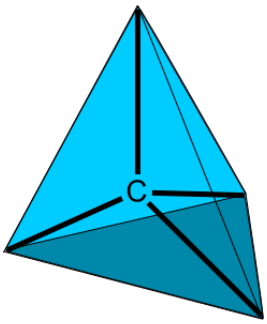
mit besonderen Bezügen zur Biologie und Ernährungslehre

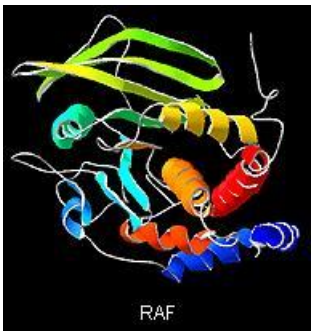
in der Sekundarstufe I +II

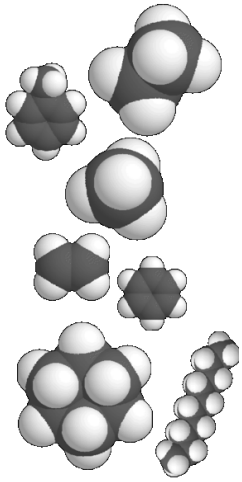
-- Teil 3: Makromoleküle --

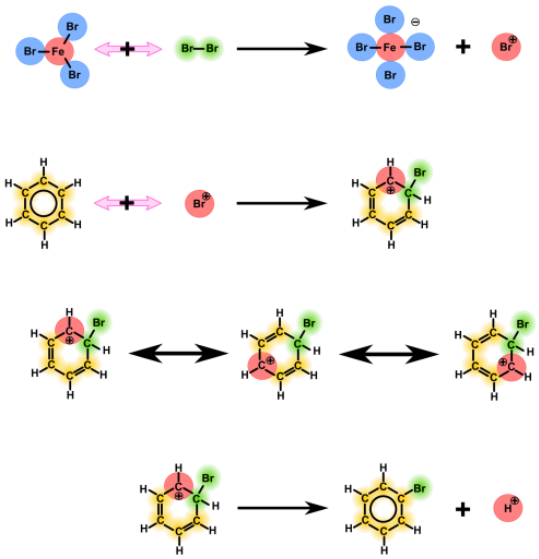
Kunst- und Naturstoffe, Systematisierung

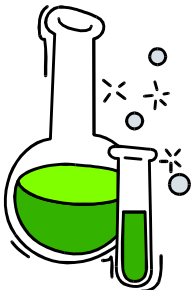
Autor: L. Drews

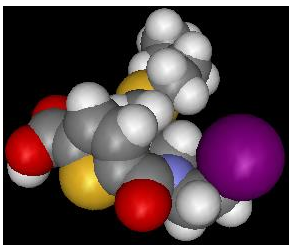


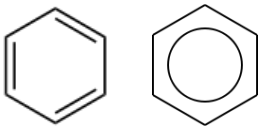












Bilder-Quellen (z.T. nachbearb.): commons.wikimedia.org (Algarech + Van Flamm); UD-Bildschirmschoner; …, lsp: dre

Version 2.2b (2024) teilredigierte Arbeitsversion!!!

(c,p) 2009-2024 lern-soft-projekt: drews

Legende:
mit diesem Symbol werden zusätzliche Hinweise, Tips und weiterführende Ideen gekennzeichnet

Nutzungsbestimmungen / Bemerkungen zur Verwendung durch Dritte:

(1) Dieses Skript (Werk) ist zur freien Nutzung in der angebotenen Form durch den Anbieter (lern-soft-projekt) bereitgestellt. Es kann unter Angabe der Quelle und / oder des Verfassers gedruckt, vervielfältigt oder in elektronischer Form veröffentlicht werden.

(2) Das Weglassen von Abschnitten oder Teilen (z.B. Aufgaben und Lösungen) in Teildrucken ist möglich und sinnvoll (Konzentration auf die eigenen Unterrichtsziele, -inhalte und -methoden). Bei angemessen großen Auszügen gehört das vollständige Inhaltsverzeichnis und die Angabe einer Bezugsquelle für das Originalwerk zum Pflichtteil.

(3) Ein Verkauf in jedweder Form ist ausgeschlossen. Der Aufwand für Kopierleistungen, Datenträger oder den (einfachen) Download usw. ist davon unberührt.

(4) Änderungswünsche werden gerne entgegen genommen. Ergänzungen, Arbeitsblätter, Aufgaben und Lösungen mit eigener Autorenschaft sind möglich und werden bei konzeptioneller Passung eingearbeitet. Die Teile sind entsprechend der Autorenschaft zu kennzeichnen. Jedes Teil behält die Urheberrechte seiner Autorenschaft bei.

(5) Zusammenstellungen, die von diesem Skript – über Zitate hinausgehende – Bestandteile enthalten, müssen verpflichtend wieder gleichwertigen Nutzungsbestimmungen unterliegen.

(6) Diese Nutzungsbestimmungen gehören zu diesem Werk.

(7) Der Autor behält sich das Recht vor, diese Bestimmungen zu ändern.

(8) Andere Urheberrechte bleiben von diesen Bestimmungen unberührt.

Rechte Anderer:

Viele der verwendeten Bilder unterliegen verschiedensten freien Lizenzen. Nach meinen Recherchen sollten alle genutzten Bilder zu einer der nachfolgenden freien Lizenzen gehören. Unabhängig von den Vorgaben der einzelnen Lizenzen sind zu jedem extern entstandenen Objekt die Quelle, und wenn bekannt, der Autor / Rechteinhaber angegeben.

public domain (pd) — Zum Gemeingut erklärte Graphiken oder Fotos (u.a.). Viele der verwendeten Bilder entstammen Webseiten / Quellen US-amerikanischer Einrichtungen, die im Regierungsauftrag mit öffentlichen Mitteln finanziert wurden und darüber rechtlich (USA) zum Gemeingut wurden. Andere kreative Leistungen wurden ohne Einschränkungen von den Urhebern freigegeben.

gnu free document licence (GFDL; gnu fdl)

creative commens (cc)

od. neu … Namensnennung

… nichtkommerziell

… in der gleichen Form

… unter gleichen Bedingungen

Die meisten verwendeten Lizenzen schließen eine kommerzielle (Weiter-)Nutzung aus!

Bemerkungen zur Rechtschreibung:
Dieses Skript folgt nicht zwangsläufig der neuen **ODER** alten deutschen Rechtschreibung. Vielmehr wird vom Recht auf künstlerische Freiheit, der Freiheit der Sprache und von der Autokorrektur des Textverarbeitungsprogramms microsoft ® WORD ® Gebrauch gemacht.
Für Hinweise auf echte Fehler ist der Autor immer dankbar.

Inhaltsverzeichnis:

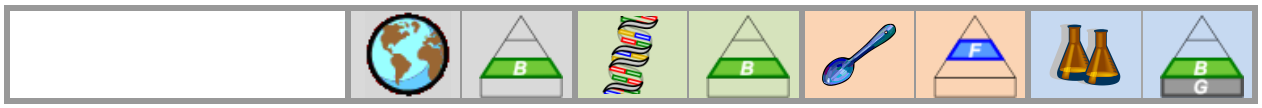
Seite

4. Makromoleküle ... 5
4.1. Bildungsreaktionen ... 6
Polyaddition ... 6
Grund-Schema: ... 6
Beispiele: ... 6
Polymerisationen ... 7
Grund-Schema: ... 7
Beispiele: ... 7
Polysubstitutionen ... 9
Polykondensation ... 9
Grund-Schema 1 (hetero-funktionale Monomere): ... 9
Beispiele: ... 9
Grund-Schema 2 (zwei homo-bifunktionale Monomere): ... 10
Beispiele: ... 10
4.2. wichtige natürliche Makromoleküle ... 11
4.2.1. Kohlenhydrate (Polysaccharide) ... 11
4.2.2. Polypeptide (Eiweiße) ... 12
4.2.3. Polynukleotide (DNS / RNS) ... 14
4.3. künstliche Makromoleküle / Kunststoffe ... 15
Definition(en): Kunststoffe ... 16
Namensgebung ... 16
Duroplaste ... 18
Definition(en): Duroplaste ... 19
Thermoplaste ... 19
Definition(en): Thermoplaste ... 20
Elaste / Elastomere ... 20
Definition(en): Elaste / Elastomere ... 21
Exkurs: eine Wärmekraftmaschine aus einem Elast ... 21
4.3.1. Kunststoffe aus Natur-Rohstoffen ... 22
4.3.1.1. Celluloid ... 22
4.3.1.2. Gummi ... 22
4.3.1.3. Polymilchsäure ... 22
4.3.1.x. ... 22
4.3.2. voll-synthetische Kunststoffe ... 24
Kunststoffe nur aus Alkenen ... 27
Definition(en): Vulkanisation ... 30
Kunststoffe nur aus Alken-Derivaten ... 30
Kunststoffe nur aus Aromaten ... 31
Kunststoffe aus mehreren Komponenten ... 33
Eigenschaften und Verwendungsmöglichkeiten von Plasten / Elasten im Hauswirtschaftlichen bzw. Ernährungs-Bereich ... 37
4.3.3. Recycling und Neusynthese von Kunststoffen ... 38
4.3.3.x. Polyethylenterephthalat (PET) ... 38

5. Tabellen, Zusammenfassungen, Begriffsbestimmungen ... 40
5.1. Nomenklatur (Namensgebung) ... 40
R/S-Stereo-Isomerie ... 40
Substitutive und radikalofunktionelle Nomenklatur der wichtigen funktionellen Gruppen ... 41
organische Stoffe und ihre Namen ... 44
5.2. Reaktionsarten in der organischen Chemie ... 45
wichtige Reaktions-Schemata ... 47
Substitution (S) ... 47

Addition (A) 47
Eliminierung (E) 47
5.3. Zusammenfassung und Systematisierung 48
5.3.x. Isomerie 49
unterschiedliche Wirkung von Stereo-Isomeren 50
5.4. Namen diverser Chemikalien in verschiedenen Sprachen usw. 56
5.7. Möglichkeiten zur Struktur-Aufklärung organischer Verbindungen 57
Exkurs: 58
5.6. Begriffe und Begriffsbestimmungen, Definitionen 59
Literatur und Quellen: 78

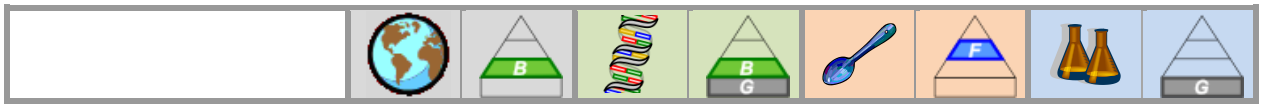
4. Makromoleküle



Problem-Fragen für Selbstorganisiertes Lernen
Was sind Makro-Moleküle? Gehören die Makro-Moleküle nicht eher zu anderen Stoff-Klassen und müssten da behandelt werden? Was ist das Besondere an ihnen? Wie entstehen Makro-Moleküle? Aus welchen Makro-Molekülen bestehen Sie selbst? Können Sie mindestens 20 nennen!

Makromoleküle sind besonders große Moleküle. Der Name sagt es ja auch aus. Sie unterscheiden sich von anderen großen chemischen Strukturen, wie Kristallen, vor allem dadurch, dass die einzelnen Moleküle noch fassbar oder erkennbar sind. Bei Kunststoffen ist dieses Merkmal vielfach aber auch nicht mehr beobachtbar. Die Strukturen sind so stark vernetzt, dass einzelne Moleküle nicht mehr isolierbar sind. Trotzdem unterscheiden sie sich von Molekül-Kristallen durch eine eher chaotische Anordnung der Moleküle bzw. Molekül-Teile.
Chemisch gesehen könnte man natürlich die Bau-Bestandteile betonen und die Makromoleküle den einzelnen Stoffgruppen zuordnen, zu dessen Struktur sie passen. Dabei wird man aber den besonderen makroskopischen Eigenschaften nicht gerecht.
In Makromolekülen verschwinden die Eigenschaften der Bausteine häufig oder sie verstärken sich extrem. Vielfach lassen sich synergetische Merkmale beobachten, die den Bausteinen so gar nicht zugeordnet werden würden.
Makromoleküle entstehen häufig durch eine extrem häufige Wiederholung der gleichen chemischen Reaktionen. Dabei wird im Allgemeinen eine Kette der Bausteine gebildet.
Bei vielen Bildungs-Reaktionen sind Bausteine mit mindestens zwei funktionellen Gruppen die entscheidende Voraussetzung. Alternativ kann auch eine Mehrfach-Bindung als Basis für Poly-Reaktioen dienen, da sie durch ihre Spaltung quasi auch an zwei C-Atomen reaktive Einheiten bilden.
Die Bildungs-Reaktionen folgen nur wenigen Grundtypen. Dabei ist weniger der einzelne Baustein wichtig, als das Vorhandensein von zwei möglichen Reaktions-Zentren.
Makromoleküle werden auch als Polymere bezeichnet.
Sind die ursprünglichen Bausteine immer gleich gewesen, dann sprechen wir von Homo-Polymeren (homogene Polymere), bei unterschiedlichen Bausteinen von Hetero-Polymeren.
Weiterhin kann man in lineare und verzweigte Makromoleküle unterscheiden. Bei verzweigten Molekülen müssen zumindestens einzelne Bausteine über drei reaktive Molekül-Strukturen verfügt haben.
Eine weitere – oft genutzte Einteilungs-Möglichkeit für Makromoleküle ist ihre Herkunft. Sind die Makromoleküle in oder durch lebende(n) Organismen entstanden, dann spricht man von natürlichen Makromolekülen. Bekannt sind hier die Polysaccharide, Polypeptide (Eiweiße) und die Polynukleotide (DNS und RNS).
Die Welt der künstlichen – also von Menschen hergestellten – Makromoleküle ist weitaus größer. Dabei ist nicht die Anzahl der resultieren Stoffe, als vielmehr die Stoff-Gruppen gemeint.

4.1. Bildungsreaktionen



Verfolgen wir als erstes die möglichen Bildungs-Reaktionen für Makromoleküle nach den Reaktions-Typen.
Grundsätzlich gibt die:

- Polyaddition
- Polykondensation

und die

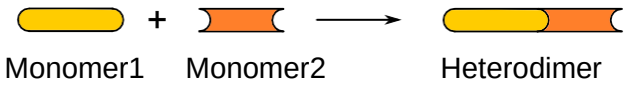
- Polymerisation

Polyaddition

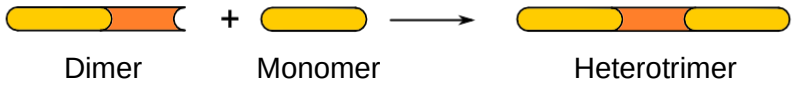
Reaktion von zwei verschiedenen Monomeren mit jeweils zwei gleichen funktionellen Gruppen in den Monomeren oder über Monomer mit zwei verschiedenen funktionellen Gruppen (eher selten). Beide funktionelle Gruppen müssen miteinander reagieren können, ohne ein Neben-Produkt zu bilden.

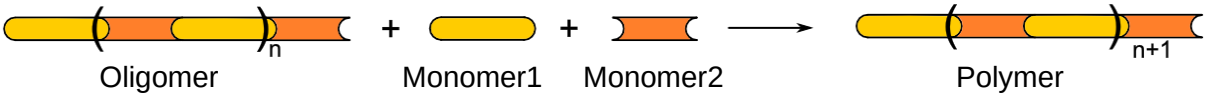
Grund-Schema:

Start:



Ketten-Verlängerung





Abbruch über Mangel an Monomeren oder durch monofunktionale Monomer-Derivate od.ä.

Beispiele:

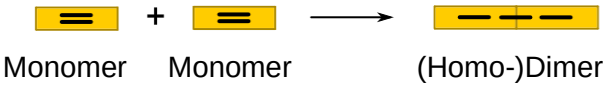
- Polyurethan (→)

Polymerisationen

Polyaddition auf der Basis von Mehrfach-Bindungen

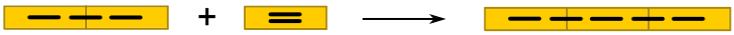
Grund-Schema:

Start:



erfolgt radikalisch oder ionisch

Ketten-Verlängerung

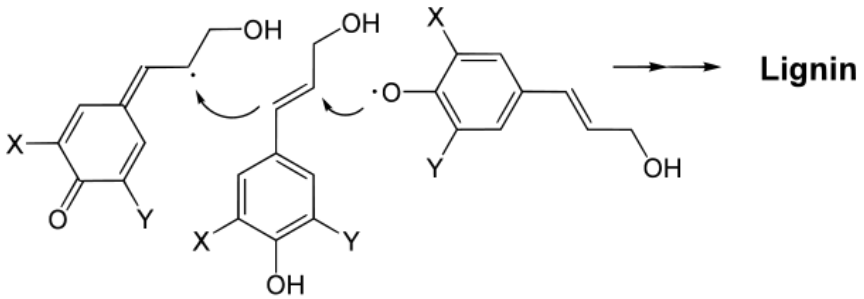


Abbruch über Mangel an Monomeren oder radikalisch bzw. ionisch

Beispiele:

- Polyethen (Polyethylen) (→)
- Polypropen (Polypropylen) (→)
- Polystyren (Polystyrol) (→)

Q: www.3dchem.com



Lignin-Bildung: Die gebildeten Radikale der Monolignole bilden nach Quervernetzung Lignin

Q: commons.wikimedia.org (Yikrazuul)

Polysubstitutionen

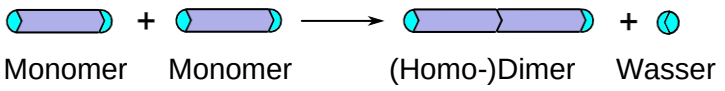
Polykondensation

sehr typisch im Bereich der biochemischen Vorgänge

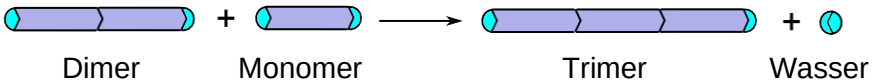
Monomere (Bausteine) besitzen typischerweise zwei verschiedene funktionelle Gruppen, die untereinander unter Abspaltung eine kleine Molekül (hier typischerweise: Wasser) miteinander reagieren
da an den Enden immer noch freie funktionelle Gruppen vorliegen, können z.T. sehr lange Ketten (Polymere) gebildet werden
kommen auch drei oder noch mehr funktionelle Gruppen (von den oben gemeinten Typen) vor, dann kann es auch zu Verzweigungen im Polymer kommen (häufig bei: Polysacchariden)

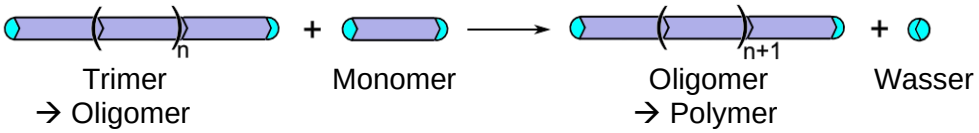
Grund-Schema 1 (hetero-funktionale Monomere):

Start:



Ketten-Verlängerung





Abbruch über Mangel an Monomeren oder durch monofunktionale Monomer-Derivate od.ä.

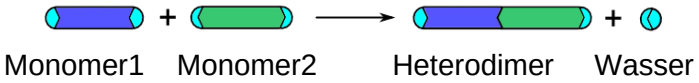
Beispiele:

- Polypeptide (Eiweiße) (→)
- Polysaccharide (Kohlenhydrate) (→)

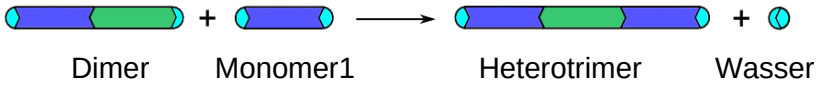
bei Stufen-Polykondensation reagieren zwei unterschiedliche Monomere (immer abwechselnd) miteinander
z.B. Polykondensation von Dicarbonsäure mit Diamid zu Polyamid

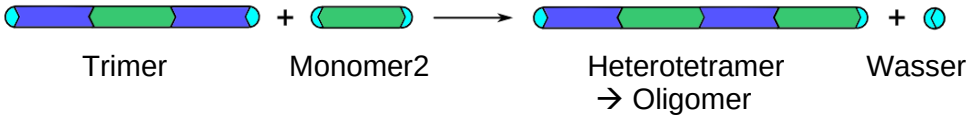
Grund-Schema 2 (zwei homo-bifunktionale Monomere):

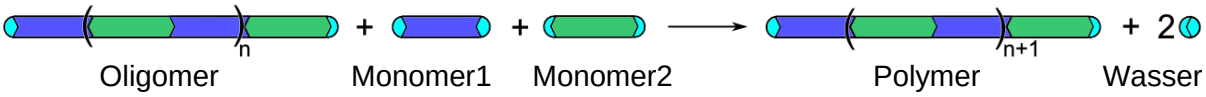
Start:



Ketten-Verlängerung







Abbruch über Mangel an Monomeren oder durch monofunktionale Monomer-Derivate od.ä.

Beispiele:

- Polyamid (→)

4.2. wichtige natürliche Makromoleküle

4.2.1. Kohlenhydrate (Polysaccharide)

Problem-Fragen für Selbstorganisiertes Lernen
?

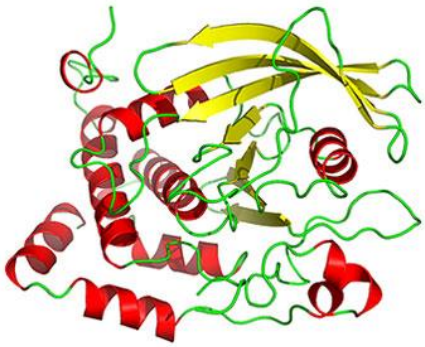
Eine erste Besprechung der Polysaccharide erfolgte schon in ihrer Stoffklasse – den Kohlenhydraten (→ 3.2.9. Kohlenhydrate (Saccharide, Zucker)).

4.2.2. Polypeptide (Eiweiße)

Problem-Fragen für Selbstorganisiertes Lernen
?

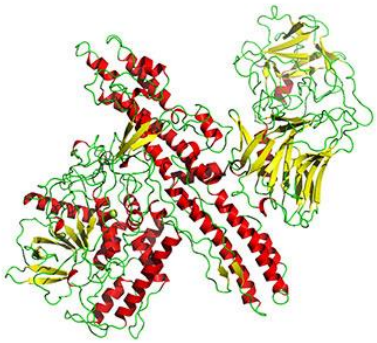
Zu den Eiweißen und Polypeptiden findet man viele Basis-Informationen in den Kapiteln → 3.3.3.3. Peptide und 3.3.3.4. Proteine / Eiweiße (Polypeptide). Hier wollen wir mehr einzelne Proteine besprechen.

Thyrosin-Phosphatase



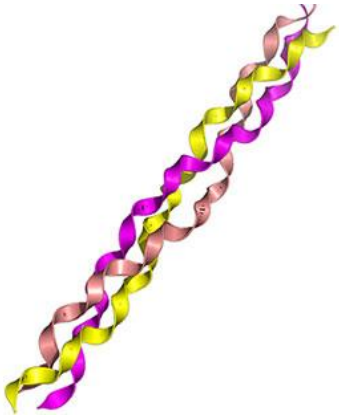
Q: www.3dchem.com

Botox



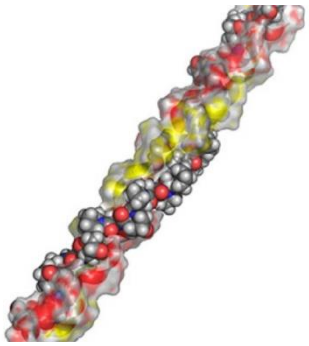
Q: www.3dchem.com

Collagen1



Q: www.3dchem.com

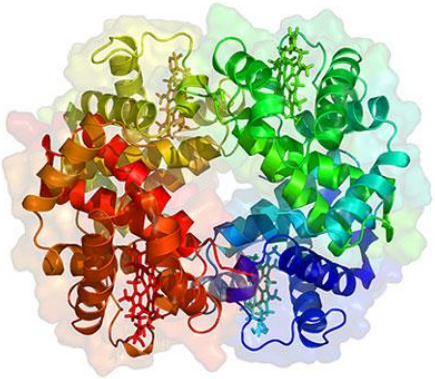
Collagen2



Q: www.3dchem.com

Hämoglobin (Haemoglobin)

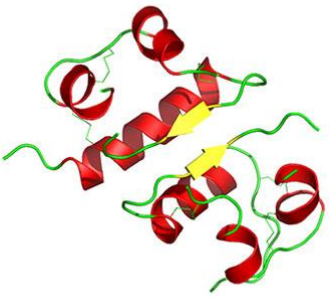
Hetero-Tetramer



Q: www.3dchem.com

Insulin

s.a. Exkurs →



Q: www.3dchem.com

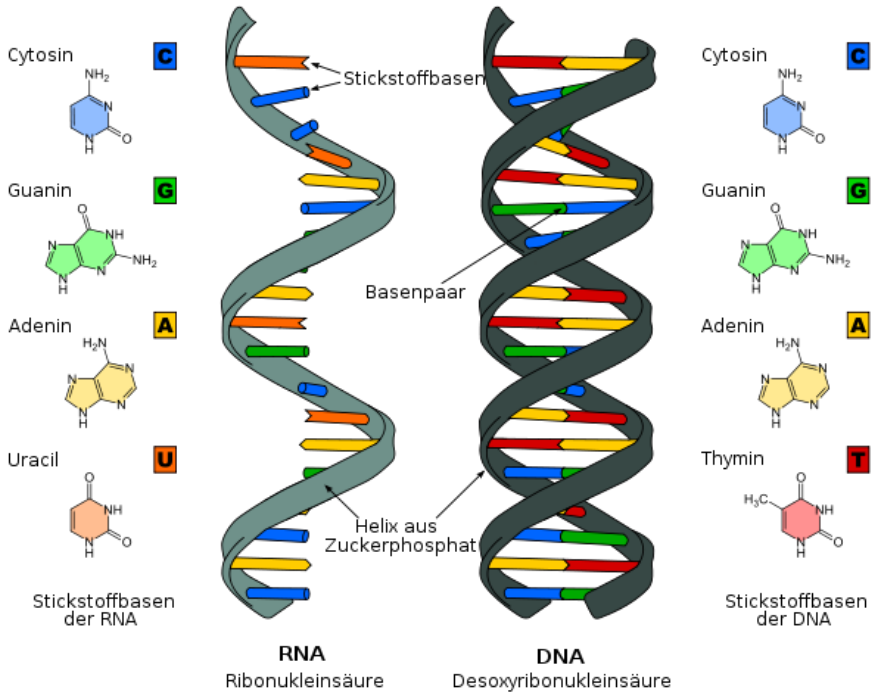
Q: www.3dchem.com

weitere Links:
https://molsurfer.h-its.org (Protein-Molekül-Betrachter mit Anzeige spezieller Protein-Eigenschaften)

4.2.3. Polynukleotide (DNS / RNS)

Problem-Fragen für Selbstorganisiertes Lernen
?

Die DNS – ausgesprochen Desoxyribonukleïnsäure – und die RNS (Ribonukleïnsäure) sind Makro-Moleküle, deren Strukturen erst sehr spät aufgeklärt wurden. Erst 1953 erstellten WATSON und CRICK ein Molekül-Modell. Die Funktion – also das Speichern der Informationen über Proteine – ist erst in den 70er Jahren des 20. Jahrhunderts aufgeklärt worden.
In der (Fach-)Literatur finden sich häufig nur die englischen Abkürzungen DNA (desoxyribonucleic acid) und RNA (ribonucleic acid).



Gegenüberstellung von RNS und DNS
Q: de.wikipedia.org (Sponk)

4.3. künstliche Makromoleküle / Kunststoffe

Problem-Fragen für Selbstorganisiertes Lernen
?

biologisch direkt kaum eine Bedeutung.

die ersten Kunststoffe wurden auf der Basis natürlicher Stoffe produziert, praktisch Derivate dieser Stoffe
Celluloid (HYATT 1869) aus Nitrocellulose und Campher → für Filme, Kämme, Puppen

erster vollsynthetischer Kunststoff 1909 durch BAEKELAND aus Phenol und Methanal → Bakelit

praktisch immer fest
wenige moderne Kunststoffe flüssig (oft als Roh-Komponente (Reaktionsharze) für Zwei- oder Drei-Komponenten-Systeme (z.B. Kleber, Kunstharze, …))

ökologisch bedenklich wegen fehlender oder geringer biologischer Abbaubarkeit
Träger von diversen Zusatzstoffen (Weichmacher, Farbstoffe, …), bei denen einige unter Verdacht stehen cancerogen zu wirken oder Hormon-ähnlich zu wirken
in der Nahrungsmittel-Produktion (→ Ernährunglehre) vielfach für Lebensmittelverpackungen verwendet
weiterhin als Produktions-Gefäße, Abdeckungen (Folien), Transport-Behälter

Trend geht im LM-Bereich zu nachhaltigen Stoff-Kreisläufen z.B. durch kompostierbare / biologisch abbaubare Kunststoffe (z.B. Poly-Mais-Stärke)
oder Ersatz durch andere Stoffe (Papier, Bananenblätter etc., Holz, …)

Begriff **Kunststoffe** wurde von Ernst Richard ESCALES (1863 – 1924) im Jahr 1910 vorgeschlagen
zuerst noch offene Definition oder Abgrenzung, da gerade im Bereich der organischen Chemie die Stoff-Klassen noch in Bewegung waren
mit Hermann STAUDINGER (1881 - 1965) wurde (1920) dann der Fokus auf höhermolekulare (makromolekulare) Stoffe mit Werkstoff-Eigenschaften gesetzt
trotzdem von anderen Wissenschaftlern immer noch sehr offen betrachtet
dadurch auch wenig akzeptiert
zwischenzeitlich dann durch den Begriff **Polyplaste** und dann auch verkürzt als **Plaste** bezeichnet
lange Zeit waren Plaste und Kunststoffe praktisch gleichbedeutende Begriffe

Definition(en): Kunststoffe
Kunststoffe sind chemisch nicht einheitliche Verbindungen, die synthetisch durch Umwandlung von Naturprodukten gebildet wurden und Werkstoff-Eigenschaften haben.
Kunststoffe sind Mischungen chemisch-ähnlicher, makromolekularer Verbindungen, die so in der Natur nicht vorkommen. Sie sind plastisch geformt oder plastisch formbar und enthalten meist auch noch Zusatzstoffe (Additive).
Kunststoffe sind Werkstoffe, die im Wesentlichen aus Makromolekülen bestehen.
Kunststoffe sind Stoffgemische aus typ-ähnlichen organischen Makromolekülen, deren charakteristische Eigenschaften durch den Grad der Molekül-Vernetzung bestimmt werden.

sauberer Begriff ist heute Technopolymere
umgangssprachlich Plastik genannt

charakterisierend sind technische bzw. Verwendungs-Eigenschaften, wie z.B.:

- Temperatur-Beständigkeit
- Wärme-Formbarkeit
- Bruchfestigkeit,
- Härte
- Elastizität,
- chemische Beständigkeit

Namensgebung

durch Nennung der Bausteine (Monomere) und dem Vorsatz von Poly-
bei vielen historisch älteren Kunststoffen werden statt den chemischen Namen Trivial- oder technische Namen für die Monomere genutzt (z.B. Vinyl für Polyvinyl → Chlorethen)
selten nur Handelsname

Handelsnamen
registrierte Bezeichnungen von Kunststoffen
meist Phantasie-Namen ohne chemischen Bezug

zur Verschleierung der chemischen Natur gedacht
früher große Skepsis vor Chemie (stinkt, gefährlich, giftig, …)
Handelsnamen sollten die Chemie-Produkte populär und verkaufsfähig machen

Werbemasche, um sich scheinbar vom Konkurrenten abzuheben

Produkt- und Patentschutz

Zaubergarten der Kuststoffe

"Alice, die Kunststoffe nicht kennt,
hört Handelsnamen ohne End':
Erst "Alphalen", dann "Betatal",
auch "Gammamid" und "Deltanal";
"Taurid" kommt ihr gespenstig vor,
und dann gar erst das "Sigmarpor"".
Ach, liebe Alice, hör' mich an,
Du kaufst doch auch oft Porzellan.
Hier lockt Dich sicher allzumal.
Ob Meien, Arzberg, Rosenthal,
auch Hutschenreuther, Nymhenburg;
die Marke ist's, berühmt wodurch
Du sicher kaufst; was schert es Dich,
welch Sorte Kaolin und Spat
und Quarz der Fabrikant wohl hat?
Jedoch beim Kunststoffgegenstand
gerätst Du außer Rand und Band,
wenn Dir nicht gleich ersichtlich ist,
wes Rohstoff Käufer Du nun bist.
Das Kunststoff-Rohstoff-Etikett,
nicht hilft es für fünf Pfennig hier!
Kaufst Haushaltsgegenständ' Du ein,
dann schützt Dich nur vor Trug und Schein,
kennst Du den Namen und den Stand
des Fertigwaren-Fabrikant'.
Nach dessen Markennamen frag',
dann hast Du Ruhe alle Tag'!
W. CYRIAX

heute standardisierte Kennzeichnung mit bestimmten Abkürzungen und / oder genormten Symbolen
soll vor allem auch einem möglichen Recycling dienen sowie Rückschlüsse auf bestimmte Stoff-Eigenschaften zulassen (PVC setzt z.B. bei Verbrennung Chlorwasserstoff frei)

Kunststoffe werden aufgrund einiger dieser Eigenschaften in drei große Gruppen eingeteilt, die aber nicht chemisch unterlegt sind

Hauptgruppen von Kunststoffen

- **Thermoplaste** lassen sich in bestimmten Temperatur-Bereichen – meist auch beliebig oft - reversibel (thermo-)plastisch verformen
  bei höheren Temperaturen erfolgt eine Zersetzung oder Entzündung des Thermoplast
  Thermoplaste lassen sich schweißen (durch Hitze verkleben)
  Herstellung durch Polymerisation oder Polykondensation
  bestehen aus unvernetzten, oft teil-kristallienen Polymer-Molekülen

- **Duroplaste** Temperatur-beständige, harte, spröde Kunststoffe
  engmaschig vernetzte Polymere mit vielen Verknüpfungs-Punkten
  Herstellung meist durch Poly-Kondensation, aber auch Polyaddition möglich
  Verwendung oft in Verbund-Werkstoffen (z.B. Sprelakat,)

- **Elastomere** Form-feste, aber elastisch verformbare Kunststoffe
  bei steigender Temperatur Anstieg der Elastizität
  weiter steigende Temperaturen brechen Verknüpfungen auf und lassen die elastischen Eigenschaften dann geringer werden
  Herstellung durch Vulkanisation
  weitmaschig vernetzte Polymere mit wenigen Verknüpfungs-Punkten

Duroplaste

historisch auch die "erste" Gruppe von Kunststoffen
oft mit den Kunstharzen zusammen betrachtet

hart, Schlag-empfindlich, spröde

bleiben bei Wärme-Einwirkung lange Form-stabil, lassen sich nach der Formgebung nicht mehr bei Temperatur-Erhöhung verformen (hohe thermomechanische Stabilität / Festigkeit)
Moleküle relativ kurzkettig bzw. mit vielen Querverbindungen oder Verzweigungen, amorphe, untrennbare Strukturen; nicht schmelzbar
allgemein nicht brennbar (bei hohen Temperaturen Zersetzung durch Pyrolyse)
lassen sich nur spanend bearbeiten (z.B. Bohren, Sägen, …)

Beispiele: Lichtschalter, Wandsteckdosen (feste Isolatoren), Trabant-Karosserie, Schutzhelme, Topf-Griffe, Brems-Beläge

chemische Beispiele

Abk.	chemischer Name	mögl. Handelsnamen	typische Artikel / Beispiele	
PUR (PU)	Polyurethan			

Definition(en): Duroplaste
Duroplaste sind Kunststoffe mit einem sehr hohen dreidimensionalen Vernetzungs-Grad.

Thermoplaste

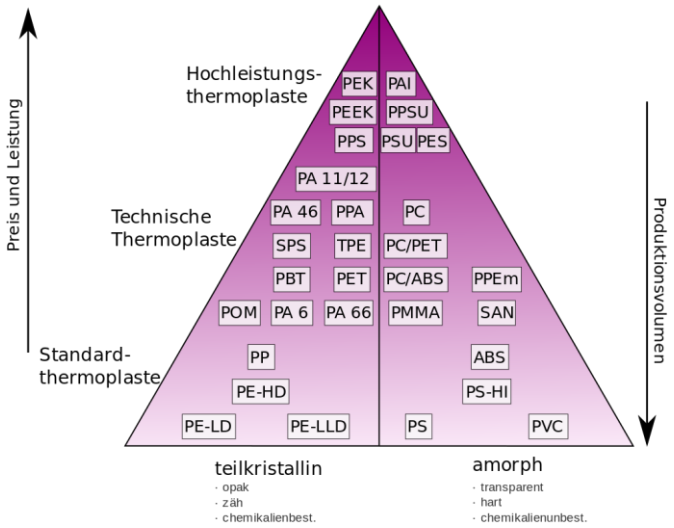
fest, aber nicht unbedingt steif
gewissen Flexibilität vorhanden
thermoelastisch (in einem bestimmten Temperatur-Bereich können sie in der Form verändert werden, bei erneuter Erwärmung (ohne Form-Druck) nehmen sie wieder die Ursprungs-Form an) → Formlinge für Joghurt-Becher usw.
in einem etwas höheren Temperatur-Bereich sind sie dann "nur" noch thermoplastisch, sie können beliebig verformt werden, verbleiben bei erneuter Erwärmung aber in der neuen Form
verformen sich beim Erwärmen (relativ langestreckte Faser-förmige Moleküle mit wenig oder keinen Querverbindungen zwischen den Molekülen)
haben Glas-Temperatur (Übergang von der festen Form in eine zähflüssige bis gummiartige)
Kristall-ähnliche Strukturen möglich
viele Thermoplaste sind fließfähig, dadurch verschweißbar, mit sich selbst verklebbar

typische Beispiele: LEGO-Bausteine, Linoleum (Fußboden-Belag),

chemische Beispiele:

Abk.	chemischer Name	mögl. Handelsnamen	typische Artikel / Beispiele	
ABS	Acrylnitril-Butadien-Styrole			
PA	Polyamide			
PLA	Polyacetate			
PMMA	Polymethylmethacrylate			
PC	Polycarbonate			
PET	Polyethylenterephthalate			
PE	Polyethylene, Polyethene			
PP	Polypropylene			
PS	Polystyrole	Styropor	Fassaden-Isolier-Material	
PEEK	Polyetheretherketone			
PVC	Polyvinylchlorid			
	Zelluloid		früher Film-Material, Kinder-Puppen	

Definition(en): Thermoplaste
Thermoplaste sind Kunststoffe aus lang-kettigen, nicht vernetzten Makromolekülen.



Einteilung der Thermoplaste
Q: de.wikipedia.org (Minihaa)

Elaste / Elastomere

umgangssprachlich, im Volksmund "Gummi's"
elastisch verformbar (Glas-Übergangspunkt unter Einsatz-Temperatur)
bei äußeren Druck- und / oder Zug-Kräften werden Formen elastisch verformt, d.h. sie nehmen nach dem Entzug der Kräfte wieder ihre Ursprungs-Form an
im Vergleich zu metallischen Federn wird die Energie aber nicht gespeichert, sondern als Wärme abgegeben
typische Elaste sind nicht schmelzbar
die thermoplastischen Elaste verhalten sich wie Thermoplaste (z.B. Ersatz-Korken auf Wein-Flaschen))
Elaste werden bei tieferen Temperaturen oft glashart und spröde

bei Zimmertemperatur Gummi-weich / -ähnlich
beim Erhitzen schrumpfen Elastomere, werden aber nicht weich / flüssig, zersetzen sich beim weiteren Erhitzen

Beispiele: Reifen, Haar- und Haushalts-Gummi's, Dichtungen

chemische Beispiele

Abk.	chemischer Name	mögl. Handelsnamen	typische Artikel / Beispiele	
	Naturkautschuk			
	Silikonkautschuk			

Definition(en): Elaste / Elastomere
Elastomere sind Kunststoffe aus weit-maschig vernetzten Makromolekülen.

Exkurs: eine Wärmekraftmaschine aus einem Elast
durch einseitiges Erwärmen eines Rades mit Elastomer-Speichen kommt es zu einer einseitigen Verkürzung der Speichen dadurch verändert sich der Schwerpunkt und das Rad dreht sich

4.3.1. Kunststoffe aus Natur-Rohstoffen

Problem-Fragen für Selbstorganisiertes Lernen
?

Entweder aus natürlichen Monomeren hergestellt oder es handelt sich um Derivate natürlicher Polymere.

4.3.1.1. Celluloid

4.3.1.2. Gummi

Natur-Kautschuk

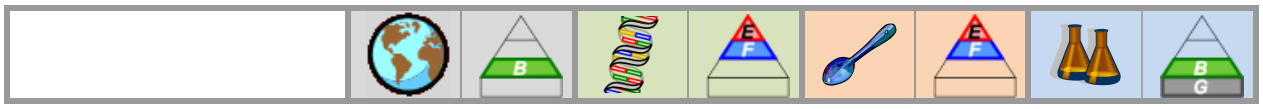
Vulkanisation

4.3.1.3. Polymilchsäure

4.3.1.x.

Zitronensäure + Glycerol

4.3.2. voll-synthetische Kunststoffe



Problem-Fragen für Selbstorganisiertes Lernen
?

Erzeugung erfolgt aus einfachen Grund-Chemikalien, die mit sich selbst oder einer anderen einfachen Grund-Chemikalie mehrfach hintereinander reagieren können.
Dafür gibt es chemisch gesehen mehrere Reaktions-Möglichkeiten:

- **Polyaddition** — Monomere enthalten entweder in sich zwei verschiedene funktionelle Gruppen oder zwei verschiedene Monomere mit doppelten funktionellen Gruppen reagieren über wiederholte Additionen zu Makro-Molekülen
- **Polymerisation** — Monomere enthalten eine Mehrfach-Bindung, die mit der Mehrfach-Bindung eines anderen Monomer-Molekül's unter Bildung einer Kette oder eines Netzwerkes reagieren können (Spezialfall der Polyaddition)
- **Polysubstitution Polykondensation** — Monomere enthalten entweder in sich zwei verschiedene funktionelle Gruppen oder zwei verschiedene Monomere mit doppelten funktionellen Gruppen reagieren über wiederholte Substitionen zu Makro-Molekülen
  meist kommt es dabei zur Abspaltung kleinere Moleküle (→ Kondensation) z.B. von Wasser (→ Dehydratisierung, Veresterung, Peptid-Bildung, …)

Durch spezielle Stoffe oder Bedingungen wird die Poly-Reaktion befördert. Das sind z.B. Radikal-Bildner, Katalysatoren oder Säuren bzw. Basen.
Ein und der selbe chemische Kunststoff kann häufig über verschiedene Reaktions-Untertypen hersgestellt werden. Oft unterschieden sich die speziellen Stoff-Eigenschaften erheblich.
Verschiedene Reaktions-Untertypen führen z.B. zu unterschiedlich langen Ketten oder unterschiedlich vernetzten Strukturen. Einige dieser Untertypen erklären wir bei ausgewählten Kuststoff-Beispielen.

Kunststoffe lassen sich mit anderen Stoffen mischen, kombinieren und / oder zur Reaktion bringen. So entstehen Materialien mit sehr speziellen und z.T. extremen Eigenschaften für spezielle Anwendungen.
Auch mit hoch-energetischer Strahlung lassen sich die Eigenschaften weiter verändern.

Durch Zusätze an Farbstoffen, Weichmachern, … werden die Grund-Kunststoffe weiter veredelt.

Zusätze (Additive) für Kunststoffe

- **Farbstoffe**
- **Weichmacher**
-

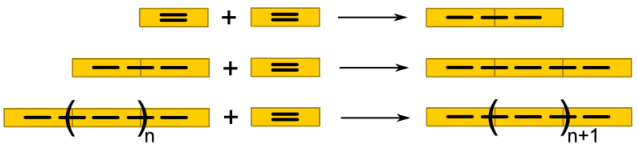
Die praktisch unendlich vielen Kunststoffe bzw. deren veredelte Formen machen es sehr schwer ein effektives Recycling zu organisieren. Die Trennung der einzelnen Typen ist sehr schwer, da typische Trenn-Eigenschaften, wie Dichte, Löslichkeit oder Schmelz-Temperatur zu dicht beieinander liegen.
Die wenigsten Kunststoffe sind biologisch in annehmbarer Zeit abbaubar. Eine einfache Einkaufs-Tasche aus Polyethylen braucht gut 500 Jahre für die Zersetzung.
Leider landen deshalb noch viel zu viele Kunststoff-Abfälle in der Verbrennungs-Anlage. Ihr Verbrennungs-Wert ist sehr hoch. Bei einigen Monomeren oder Zusätzen mit Chlor muss aber bei der Verbrennung auch mit der Bildung von Salzsäure oder giftigen Chlor-Derivaten gerechnet werden.

Dreiecks-Symbol aus Recycling-Pfeilen mit innenliegender Ziffer
1 .. PET .. Polyethylenphthalat
2 .. HDPE .. (Hochdruck-)Polyethylen
3 .. V, PVC .. Polyvinylchlorid
4 .. LDPE .. (Niederdruck-)Polyethylen
5 .. PP .. Polypropylen
6 .. PS .. Polystyren
7 .. andere

In den letzten Jahren ist ein Phänomen sehr stark in den Blick der Forschung und der Öffentlichkeit gelangt – das sogenannte Mikroplastik. Gemeint sind damit keine speziellen Kunststoffe, sondern sehr kleine Partikel der verschiedenen Stoffe.

Monomer(e)	Struktur	Eigenschaften	Polymerisations-Produkt(e)
Ethen (Ethylen)	H H \ / C = C / \ H H	gasförmig	Polyethen, PE Polyethylen, Lupolen, Hostalen, Baylon, LDPE HDPE
Propen (Propylen)	H H \ / C = C / \ H CH_3	gasförmig	Polypropen, PP Polypropylen
Monochlorethen Vinylchlorid	H H \ / C = C / \ H Cl	gasförmig	Polyvinylchlorid, PVC
Tetrafluorethen	F F \ / C = C / \ F F	gasförmig	Teflon ®, Hostalon
Acrylnitril	H H \ / C = C / \ H C ≡ N		Acryl, Orlon, Dralon, Acrilan
Methacrylsäure-methylester	H H \ / C = C / \ H C – O – CH_3 // O		Plexiglas
Styren (Styrol)	H H \ / C = C / \ H C_6H_5		Polystyren, PS Polystyrol, Styropor
Buta-1,3-dien ()	H H \ / C = C H / \ / H C = C / \ H H		Synthese-Kautschuk

klassische Version: radikalische Polymerisation

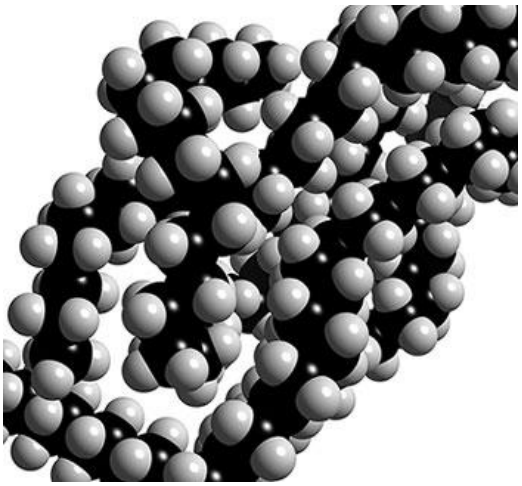


Grund-Prinzip der Polymerisation

Kunststoffe nur aus Alkenen

auch Polyolefine
Massen-Gruppe der Thermoplaste

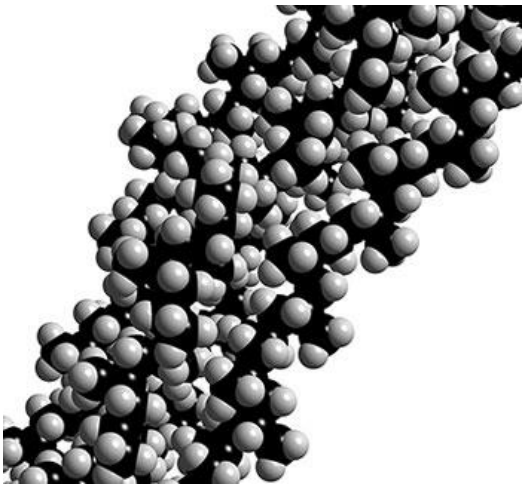
Polyethylen (PE)



Q: www.3dchem.com

Herstellung:

Polypropylen (PP)



Q: www.3dchem.com

Polybutadien ()

ganze Gruppe von Kunststoffen
Monomer ist 1,3-Butadien (Buta-1,3-dien)
durch unterschiedliche Herstellungs-Verfahren werden verschiedenartige Anordnungen der Monomere und der verbleibenden Doppel-Bindungen im Fertigprodukt erreicht
die Anordnung der Molekül-Reste bestimmt stark über die Kunststoff-Eigenschaften
die verbleibenden Doppelbindungen können für weitere Reaktionen genutzt werden

anionische Polymerisation von Butadien:

Initiierung mit Butyllithium

radikalische Polymerisation von Butadien:
ausgeführt als Emulsions-Polymerisation, um statistisch günstige Verteilungen der Struktur-Einheiten (Zwischen-Produkte) zu erreichen; gearbeit wird bei 5 °C

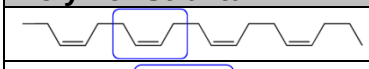
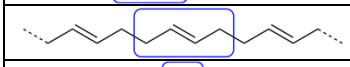
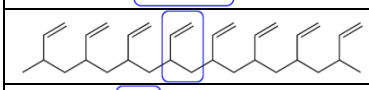
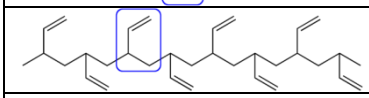
Setzt man Wasserstoffperoxid als Initiator ein, dann erhält man wegen des möglichen Ketten-Abbruchs mit OH-Radikalen, kurz- bis mittel-kettige Diole. Diese werden z.B. zur Herstellung von Polyurethanen verwendet.

Aufgaben für die gehobene Anspruchsebene:

1. *Stellen Sie das Reaktionsschema für die radikalische Polymerisation von 1,3-Butadien mit Wasserstoffperoxid als Initiator auf! Beschränken Sie sich auf die Bildung von Produkten mit zwei Monomeren! Benennen Sie die möglichen Produkte!*
2.

koordinative Polymerisation von Butadien:

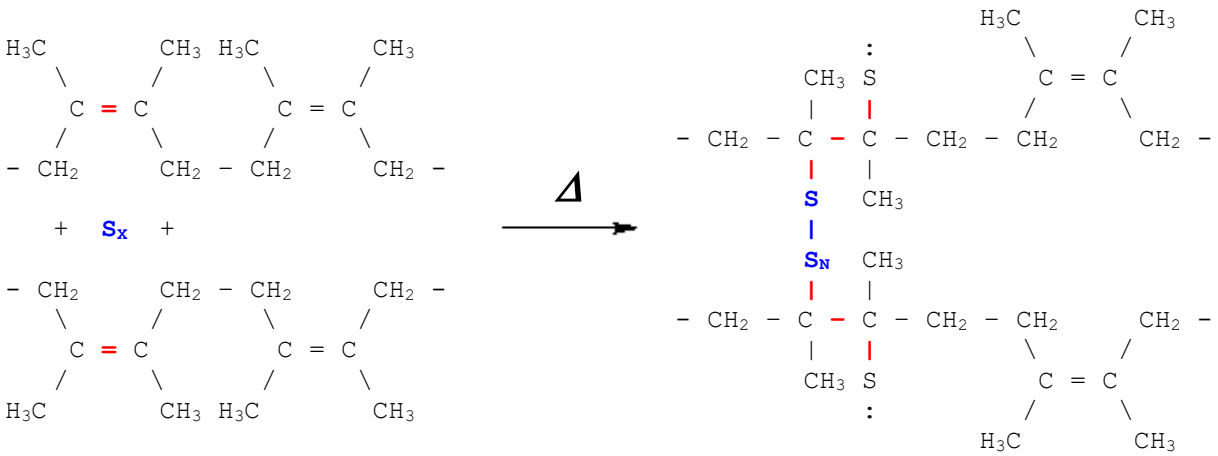
Bei der koordinativen Polymerisation werden durch stereo-spezifische Katalysatoren vornehmlich 1,4-cis-Strukturen erzeugt. Die Produkte lassen sich mit Natur- und / oder Kunstkautschuk zu Elasten vulkanisieren.

Polymer-Struktur	Bezeichnung / Name	Bemerkungen / Hinweise
	cis-1,4-Polybutadien	
	trans-1,4-Polybutadien	
	isotaktisches 1,2-Polybutadien	
	syndiotaktisches 1,2-Polybutadien	

Q: Strukturen: de.wikipedia.org (Jü)

Vulkanisation von Polybutadien

Die bei der Herstellung durch Polymerisierung noch verbleibende Doppel-Bindung kann für verschiedenste Weiter-Reaktionen genutzt werden. Besonders interessant ist hierbei die Vulkanisation. Dabei werden aus den thermoplastischen Polybutdienen durch Verknüpfung / Vermaschung der Molekül-Ketten Elastomere.
Von besonderer Bedeutung ist dabei die Vulkanisation mit Schwefel. Der Schwefel reagiert mit den Doppel-Bindungen unter Ausbildung von Schwefel-Brücken zwischen den Molekülen. Diese klassische Vukanisation wurde von Charles Nelson GOODYEAR 1839 entwickelt. Gefunden hat dieses Verfahren durch ein Mißgeschick. Beim Erhitzen von Naturlatex fiel eine Tüte Schwefel in den Topf. Nach dem Ende des Erhitzen fand GOODYEAR eine Gummiartige Masse vor.



Die Rohmasse aus Natur- und / oder Kunst-Kautschuk, Schwefel sowie Füllstoffen wird in die Produkt-Form (z.B. Auto-Reifen) gepresst und dann Temperaturen von 120 bis 160 °C (Heiß-Vulkanisation) ausgesetzt.
Der Schwefel bildet Brücken zwischen den Molekülen. Die Menge und die Art der zugesetzten Schwefel-Quelle sowie die Verwendung weiterer Zusatz- undd Füllstoffe bestimmt die

elastischen Eigenschaften des Gummi's. Weitere wichtige Faktoren sind die Dauer und die Temperatur der Vulkanisation.
Mit Dischwefeldichlorid als Schwefel-Quelle kann auch bei niedrigen Temperaturen (ca. 20 °C) eine Kalt-Vukanisation durchgeführt werden. Diese Methode wird z.B. für die Produktion von Folien, Handschuhen oder gummierten Geweben benutzt.
Neben der Schwefel-Vulkanisation gibt es auch andere Verfahren mit anderen Vernetzungs-Stoffen. Einige Butadien-Kautschuke (z.B. Styrol-Butadien-Kautschuk) können mit sich selbst vulkanisiert werden.

Definition(en): Vulkanisation
Vulkanisation ist ein Verfahren, bei dem durch bestimmte Stoffe (z.B. Schwefel) aus Latex, Kautschuk oder ähnlichen Thermoplasten eine dreidimensionale Vernetzung der Moleküle erreicht wird. Das Produkt ist dann ein Elast(omer) ("Gummi").

Aufgaben:

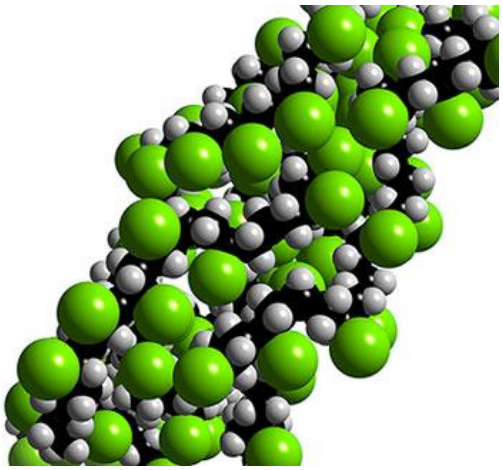
1. *Kennzeichnen Sie den Reaktions-Typ der Vulkanisation!*
2. *Setzen Sie die Vulkanisation jeweils an den zweiten Doppelbindungen fort!*
3. *Handelt es sich bei dem (oben angegebenen) Ausgangsstoff um eine cis- oder trans-Verbindung? Begründen Sie Ihre Meinung!*
4. *Stellen Sie die Struktur-betonte Reaktions-Gleichung für die andere (trans- bzw. cis-)Verbindung auf!*

für den gehobenen Anspruch:

5. *Geben Sie eine Reaktions-Gleichung mit Gitterstruktur-Formeln für die Vulkanisation an! (Es kann das obige Beispiel genutzt werden!)*

Kunststoffe nur aus Alken-Derivaten

Polyvenylchlorid (PVC, V)



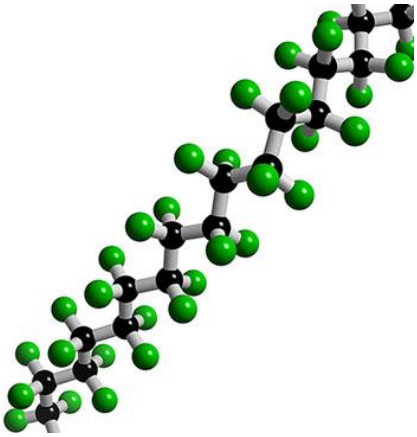
Q: www.3dchem.com

Teflon

PTFE
Polytetrafluorethen, Polytetraethylen

1938 zufällig bei der Suche nach Kältemitteln für Kühlschränke von Roy PLUNKETT entdeckt

unverzweigt, linear
chemisch sehr beständig (inert)
auch beständig gegen Königswasser
nur gegen Lösungen von Alkalimetallen in Ammoniak unbeständig (diese sind extrem starke Reduktionsmittel)
selbst sehr Reaktions-träge (grund ist das sehr stark elektronegative Fluor, dessen Bindungen kaum aufzubrechen sind)
weiterhin kinetische Hemmung durch "Fluor-Hülle"
gute Gleit-Eigenschaften, praktisch gibt es keine Stoffe, die an Teflon haften
Thermoplast mit vielen Hinwendungen zu einem Duroplast über einen sehr großen Temperatur-Bereich beständig (auch bei sehr tiefen Temperaturen (bis -270 °C))



Q: www.3dchem.com

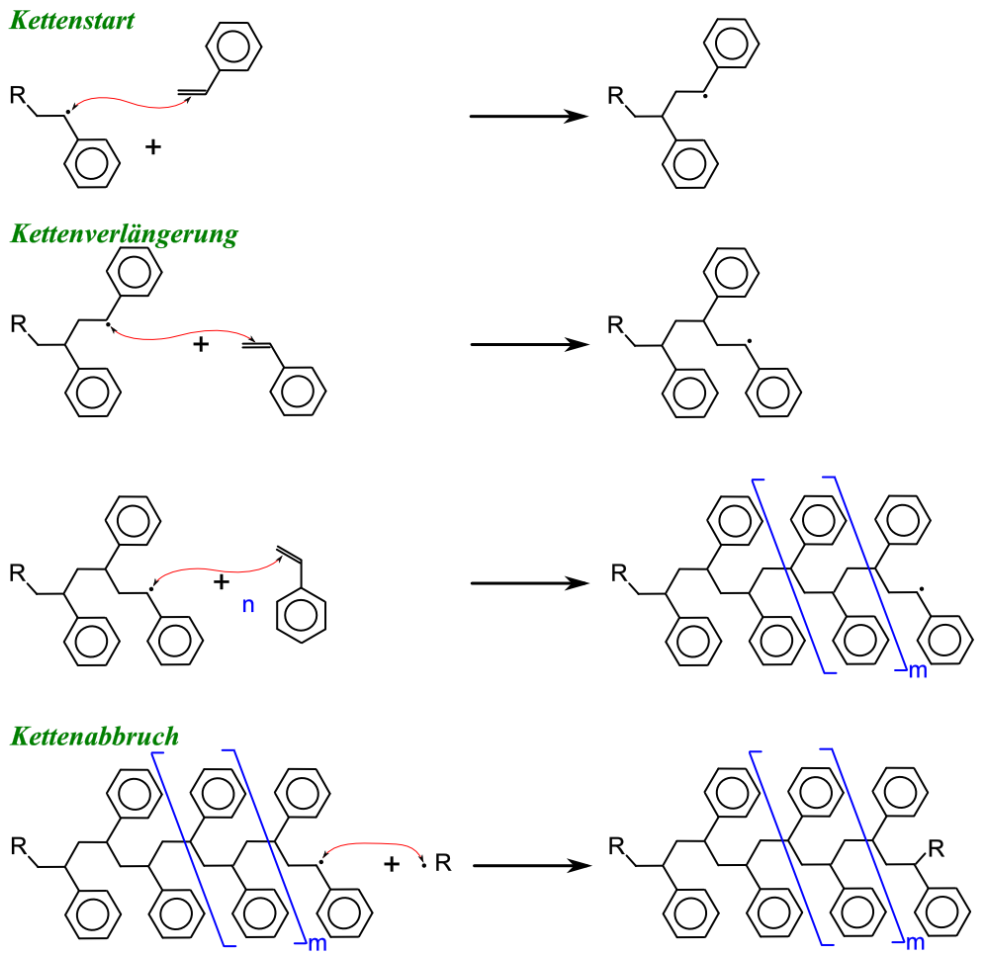
physiologisch unbedenklich → Verwendung im Lebensmittel-Bereich (Schläuche, Beschichtungen, …)

Pfannen-Beschichtung (Patent 1954), Isolierungen, Verkleidung von Reaktions-Gefäßen (Reaktoren) (z.B. im Manhatten-Projekt zum Trennen von stark korrosiv wirkendem Uranhexafluorid)

nicht brennbar, bei sehr großer Hitze zersetzt sich das Material
entstehende Gase sind giftig
Polymerisation mit Start durch Peroxide, hohe Drücke notwendig

Kunststoffe nur aus Aromaten

Polystyrol, Polystyren
radikalische Polymerisation / Polyaddition



anionische Polymerisation / Polyaddition

z.B. bei Buta-1,3-dien
Start mit Natrium-Ionen aus starker / konzentrierter Base

Carb-Anion

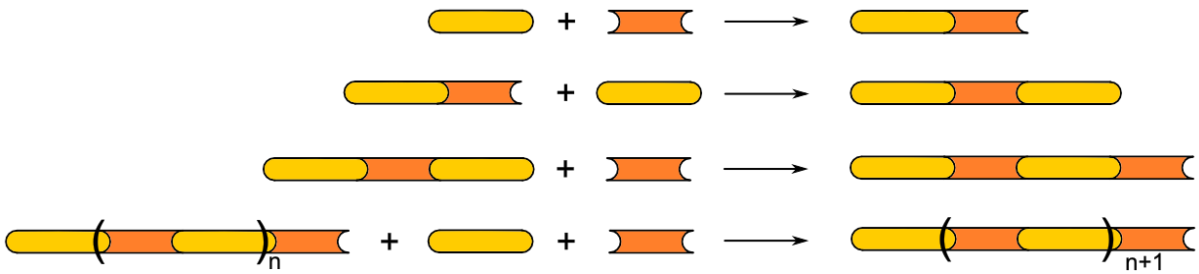
kationische Polymerisation / Polyaddition

z.B. Styren
Start mit starker Säure (Schwefelsäure) → Proton als Elektrophil

Kunststoffe aus mehreren Komponenten

(echte) Polyaddition

setzt Stoffe mit bi-funktionellen Gruppen voraus
Doppelbindung(en) im einen Molekül(-teil) und z.B. Hydroxyl-Gruppe(n) im anderen Molekül(-teil)
oder Hydroxyl-Gruppe im einem Molekül und eine Isocyanat-Gruppe im anderen



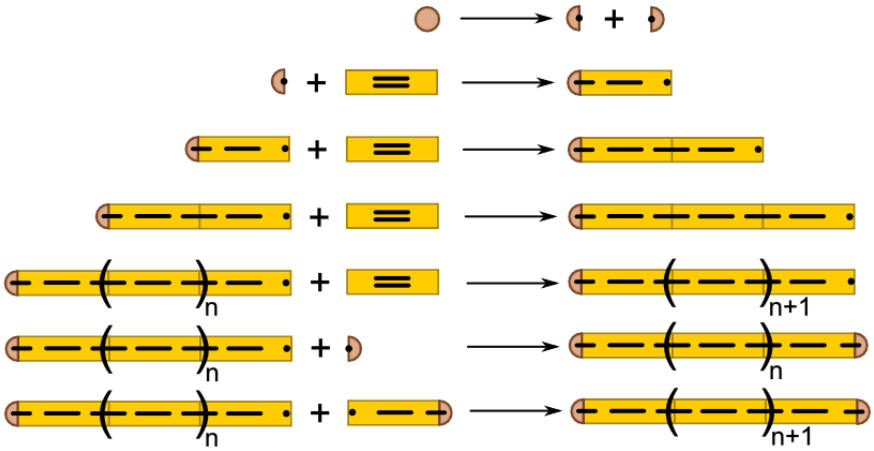
Grund-Prinzip der Polyaddition

Aufgaben:

1.

2.

3. Erläutern Sie anhand des nachfolgenden Schemas die Polymerisation! Zur Unterlegung der Gleichungen und zur besseren Handhabung kann ein konkretes Beispiel gewählt werden!



4. Stellen Sie ein passendes Schema (nach obigem Vorbild) für die anionische Polymerisation von Buta-1,3-dien auf!

Polyurethan (PUR)
aus mehrwertigen Alkoholen (Di- od. Polyole) und bi- od. tri-funktionelle Isocyanate

allgemein durch Polyaddition gebildet (z.B. auch als Zwei-Komponenten-Systeme (Kleber, Lacke, Gießharz, Bau-Schäume, …)
Bildung von Urethan-Gruppen (-NH-COO-) zwischen den beiden Monomer-Molekülen

$$R\text{-}OH + O{=}C{=}N\text{-}R' \longrightarrow R\text{-}O\text{-}CO\text{-}NH\text{-}R'$$

Aufschäumung mit CO_2 zu PUR-Schäumen (Matrazen, Verpackungs-Materialien, Isolations-Materialien, Schuh-Sohlen, Bau-Schaum / Montage-Schaum)
verbesserte 3D-Vernetzung durch dreiwertige Monomere (meist Triole)

Reaktionen von Monomeren mit bi-funktionelle Gruppen führen i.A. zu Thermoplasten
mit tri-funktionellen Gruppen zu Duroplasten

auch aromatische Di- oder Tricyanate als Monomere üblich
diese Polyurethane sind meist flexibler

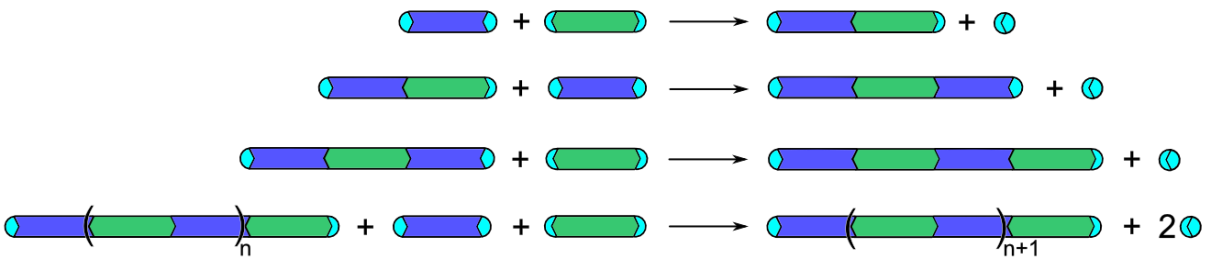
1937 von Otto BAYER und seiner Forschungsgruppe bei I.G.-Farben Leverkusen synthetisiert
erste Handelsnamen Igamid und Perlon U
ab 1940 industrielle Produktion

heute besonders in Matratzen-Schäumen, Möbel, Lacke und Farben, Füll-Schäume (Automobil-Produktion), Gebäude-Dämmung

voll ausgehärtete Polyurethane sind unbedenklich
sind noch Monomere enthalten, besteht ein erhöhtes Gesundheits-Risiko, Isocyanate können Allergien auslösen und stehen im Verdacht Krebs auslösen zu können

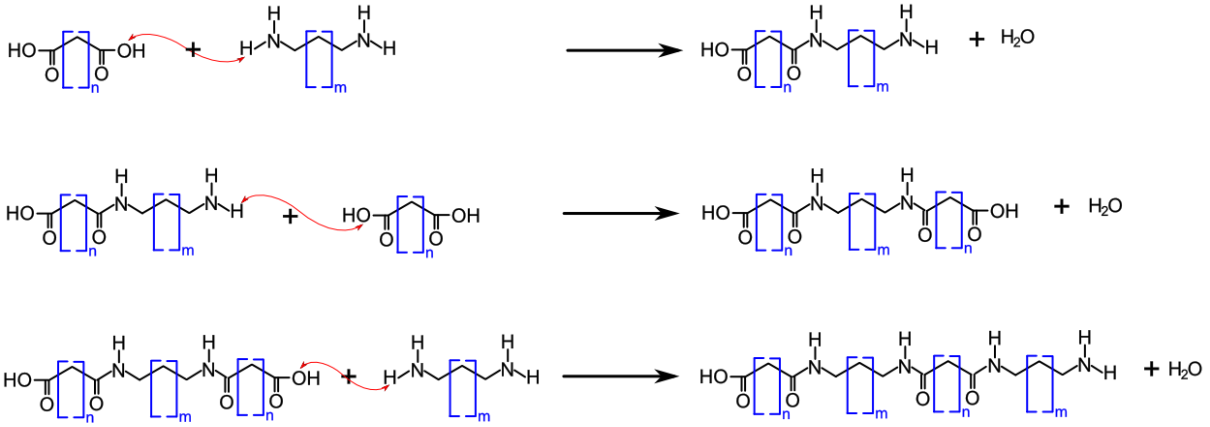
Polykondensation
Polysubstition

setzt Monomere mit zwei funktionellen Gruppen voraus



Grund-Prinzip der Polykondensation

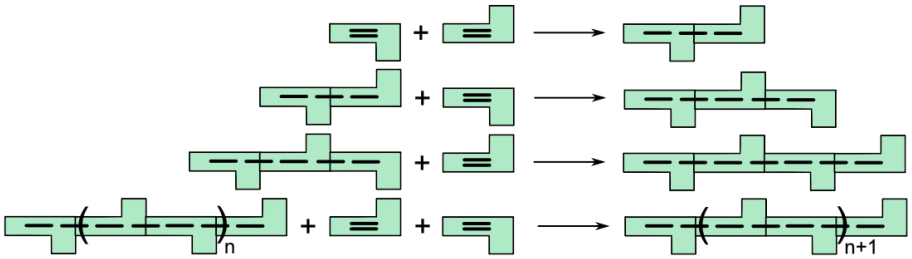
Polyamid



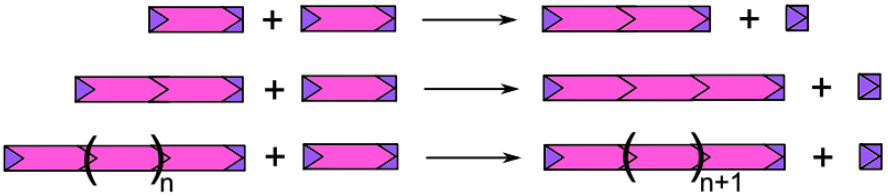
...

Aufgaben:

1. Erläutern Sie anhand des folgenden Schemas die Bildung von Polypropen!



2. Stellen Sie ein Schema (nach dem obigen Prinzip) für die Bildung von Polysteren (Polystyrol) auf!
3. Ein Chemiker behauptet einen Kunststoff nach dem folgenden Prinzip hergestellt zu haben. Ist dieses möglich? Wenn JA, dann begründen Sie Ihre Meinung! Legen Sie dann auch den (Poly-)Reaktions-Typ fest! Wenn NEIN, dann erläutern Sie, warum es solches Reaktions-Schema nicht funktionieren kann!



Eigenschaften und Verwendungsmöglichkeiten von Plasten / Elasten im Hauswirtschaftlichen bzw. Ernährungs-Bereich

		Hitze- und Flamm-Eigenschaften					
Name	**Kürzel**	**Erweich-barkeit**	**Brenn-barkeit**	**Geruch**	**häufige Zusatzstoffe**	**Verwendung Hw- bzw. Ern.-Bereich**	**Bemerkungen zur Verwendbarkeit im Hw- bzw. Ernähr.-Bereich**
Aminoplaste		nein	kaum	stechend nach Ammoniak			
Phenoplaste		neine	ja	stechend		früher Elektroschalter	
Polyamid	PA	ja	brennbar	stechend, nach verbrannten Haaren		Aufbewahrungsgefäße, übliche "Plastegefäße" Frischhaltegefäße, Ge-frierdosen	
Polyethen Polyethylen	PE	ja	ja (leicht entflamm-bar)	nach gelöschter Kerze		Einkaufstüten Aufbewahrungsbeutel Gefrierbeutel Frischhalte-Folie	
Polystyren Polystyrol	PS	ja	ja (leicht entflamm-bar)	süßlich			
Polyvinylchlorid	PVC	ja	ja (schwer entflamm-bar)	stechend nach Chlorwasserstoff	Weichmacher		wegen auslösbarem Chlor und vielen Zusatzstoffen wird es als bedenklich eingestuft (wenig geeignet für Kinder-spielzeug usw.)

(c,p) 2009-2024 lern-soft-projekt: drews

4.3.3. Recycling und Neusynthese von Kunststoffen

4.3.3.x. Polyethylenterephthalat (PET)

Der Polymer-Name Polyethylenphthalsäure sagt wohl den wenigsten etwas. Schon der Name ist sehr sperrig. Da ist die Abkürzung PET schon eher ein Begriff.

Derzeit verwendet:

- Getränke-Flaschen (recycelbar)
- Verpackungen für Frisch-Obst und –Gemüse sowie –Fleisch
-

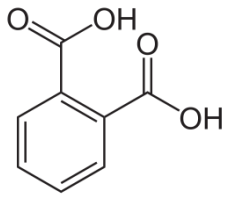
Verbrennung der recycelten PET-Flaschen möglich, aber ökologisch nicht sinnvoll.

PET ist sehr beständig, farblos, Geschmack- und Geruchs-los

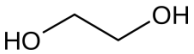
biologisch kaum abbaubar
derzeit sichtbar als Treibgut an diversen Stränden oder in den großen Müll-Strudeln in den Ozeanen

reine Ware von zu recycelten Flaschen sind gut in die Produktions-Verfahren einschleusbar
nach Reinigen, Granulieren und Schmelzen Herstellung neuer Flaschen möglich

Herstellung aus den Monomeren Ethylenglykol (Ethan-1,2-diol) und Phthalsäure (sprich: Pftalsäure). Dabei handelt es sich um 1,2-Benzendicarbonsäure bzw. 1,2-Benzoldicarbonsäure.



Phthalsäure (1,2-Benzendicarbonsäure)



Ethylenglykol (Ethan-1,2-diol)
Q: de.wikipedia.org (NEUROtiker; Sander de Jong)

Für Erst-Produktion wird Erdöl als Rohstoff verwendet.

Stream-Cracing u.a. zu Ethen (theoretische Beispiel-Gleichung):

$$C_nH_{2n+2} \longrightarrow n\text{-}2\ C_2H_4 + H_2$$

katalytische Oxidation mit Luft-Sauerstoff:

$$C_2H_4 + O_2 \longrightarrow \underset{\text{Ethylenoxid}}{H_2CO{=}CH_2}$$

Die Formel $H_2CO=CH_2$ bedeutet nicht, dass im Molekül eine Doppel-Bindung vorhanden ist. Vielmehr sind die Cohlenstoff-Atome über eine Einfach-Bindung verknüpft und der Sauerstoff bildet zusätzlich eine Brücke zwischen den Cohlenstoff-Atomen. Es handelt sich also praktisch um eine heterocyclische Verbindung. Ethylenoxid ist das einfachste Epoxid und wird auch als Dimethyloxid bezeichnet. Der IUPAC-Name lautet Oxiran.
Hydrolyse des Ethylenoxid's:

$$H_2CO=CH_2 + H_2O \longrightarrow HO\text{-}CH_2\text{-}CH_2\text{-}OH$$

Seit 2009 ist das sogenannte Bio-PET 30 auf dem Markt. In dem u.a. Etylenglykol aus nachwachsenden Rohstoffen enthalten sind. Dadurch sind rund 27% des Endprodukt's aus nachwachsenden Rohstoffen hergestellt. Lt. den üblichen Regel darf hier auf 30% aufgerundet werden, und so das Produkt Bio-PET 30 genannt werden.

Etwas aufwändiger ist die Herstellung von Bio-Phthalsäure.

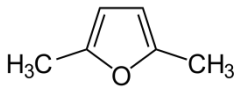
Rohstoff sind hier Zucker

Thermische Dehydration:

$$C_6H_{12}O_6 \longrightarrow C_6H_6O_3 + 3\ H_2O$$

Durch Reduktion wird dann 2,5-Dimethylfuran gebildet:

$$C_6H_6O_3 + 3\ H_2 \longrightarrow C_6H_8O + 2\ H_2O$$



2,5-Dimethylfuran
Q: de.wikipedia.org (NEUROtiker)

Addition von Ethen:

$$C_6H_8O + C_2H_4 \longrightarrow$$

Dehydratisation des zu

katalytische Oxidation zu Phthalsäure

$$\longrightarrow C_8H_6O_4$$

Aufgaben:

1. *Stellen Sie die chemische Gleichung der vollständigen Verbrennung von PET auf!*
2. *Könnte man durch Effektivierung der Prozesse bei der Herstellung von Bio-PET 30 theoretisch auch ein Bio-PET 50 herstellen? Begründen Sie Ihre Meinung!*
3.

5. Tabellen, Zusammenfassungen, Begriffsbestimmungen

5.1. Nomenklatur (Namensgebung)

R/S-Stereo-Isomerie

Bezeichnungs-System für Moleküle mit asymetrischen C-Atomen

1. asymetrisches C-Atom wird so gedreht, dass der leichteste Substituent (üblicherweise H) hinter dem C-Atom verschwindet
2. die restlichen 3 direkten Substituenten werden hinsichtlich ihrer Masse betrachtet:
   WENN die Masse der Substituenten rechts herum abnimmt, DANN erfolgt die Kennzeichnung mit R für rectus (lat.: rechts) SONST mit S für sinister (lat.: links) (Masse der Substituenten nimmt links herum ab)
3. WENN direkte Substituenten gleich sind DANN werden die direkten Nachbarn dieser Atome betrachtet
4. WENN Atome doppelt gebunden sind DANN zählen sie auch doppel (2x)

R und S werden optimalerweise als Großbuchstaben in verkleinerter Schriftgröße notiert

Substitutive und radikalofunktionelle Nomenklatur der wichtigen funktionellen Gruppen

(nach fallender Priorität)

Stoff-Klasse	Funktionelle Gruppe	Präfix	Suffixe	typische Vertreter / Stoffgruppen
Carbonsäuren	-COOH -(C)OOH	Carboxy- -	-carbonsäure -säure	Alkansäuren (Carbonsäuren) (inkl. Fettsäuren) Aminosäuren
Cyanide	-CN		*-cyanid*	
Sulfone	R'-SO_2- R''			
Sulfonsäuren	-SO_3H	Sulfo-	-sulfonsäure	
Cyanate	-OCN		*-cyanat*	
Thiocyanate	-SCN		*-thiocyanat*	
Aldehyde	-CHO -(C)HO	Formyl- Oxo-	-carbaldehyd -al	Akanale (Aldehyde) Kohlenhydrate (Saccharide)
Ketone	>CO >(C)O	Keto- Oxo-	-on *-keton*	Alkanone (Ketone) Kohlenhydrate (Saccharide)
Alkohole, Phenole	-OH	Hydroxy-	-ol *-alkohol*	Alkanole (Alkohole) Kohlenhydrate (Saccharide)
Thiole	-SH	Mercapto-	-thiol	
(primäre) Amine	-NH2	Amino-	-amin	
Ether	R'-O-R''	Alkyloxy- cycl.: Epoxy-	*-ether*	Kohlenhydrate (Saccharide) [Ring-Strukturen + ab Disacch.]
Sulfide	R'-S-R''	Alkylthio-	*-sulfid*	
(sekundäre) Amine	>NH		*-amin*	
(tertiäre) Amine	>N-		*-amin*	
Nitroverbindungen	-NO_2	Nitro-		
Halogenverbindungen Alkylhalogenide	-F -Cl -Br -I	Fluor- Chlor- Brom- Iod-	*-fluorid* *-chlorid* *-bromid* *-iodid*	
Nitrile	-CN			
(org.) Phosphate	-PO_4H_2	Phospho-	*-phosphat*	AMP Nucleotide Nucleïnsäuren
Diphosphate	-PO_4H-PO_4H_2	Diphoaspho-	*-diphosphat*	ADP
Triphosphate	-$(PO_4H-)_2$-PO_4H_2	Triphospho-	*-triphosphat*	ATP

(C) bedeutet, dass das C-Atom zum Stamm der Verbindung gezählt wird (und nicht zum Substituenten)

(weitere) Gruppen (alphabetisch nach Präfix)

Stoff-Klasse	Funktionelle Gruppe	Präfix	Suffixe	typische Vertreter / Stoffgruppen
	CH_2-CO-	Acetyl-		
	CH_2=CH-CH_2-	Allyl-		
	C_5H_{11}-	Amyl-		
	-N=N-	Azo-		
	C_6H_5-CH=	Benzal-		
	C_6H_5-CH_2-	Benzyl-		
	C_6H_5-CH=	Benzyliden		
	C_4H_9-	Butyl-		
	OC=	Carbonyl-		
	HOOC-	Carboxyl-		
	$C_{16}H_{33}$-	Cetyl-		
	$C_{10}H_{21}$-	Decyl-		
	HON_2-	Diazo-		
	$C_{12}H_{25}$-	Dodecyl-		
	C_2H_5O-	Ethoxy-		
	C_2H_5-	Ethyl-		
	C_2H_5NH-	Ethylamino-		
	-CH_2-CH_2-	Ethylen		
	CH_2-CH=	Ethyliden-		
	OHC-	Formyl-		
	H_2N-CH_2-CO-	Glycyl-		
	C_7H_{15}-	Heptyl-		
	$C_{16}H_{33}$	Hexadecyl-		
	C_6H_{13}-	Hexyl-		
	H_2N-NH-	Hydrazino-		
	-NH-NH-	Hydrazo-		
	HO-	Hydroxy-		
	HONH-	Hydroxylamino-		
	HN=	Imino-		
	$C_{12}H_{25}$-	Lauryl-		
	$(CH_3)_2$-CH-CH_2-CH(NH_2)-CO-	Leucyl-		
	-CO-CH_2-CO-	Malonyl-		
	HS-	Mercapto-		
	H_3C- CH_3-	Methyl-		
	CH_2=	Methylen-		
	$C_{30}H_{61}$-	Myricyl-		
	$C_{10}H_7$-	Naphthyl-		
	O_2N-	Nitro-		
	ON-	Nitroso-		
	C_9H_{19}-	Nonyl-		
	C_8H_{17}-	Octyl-		
	HO- -OH	Oxy- → Hydroxy-		
	CH_3-$(CH_2)_{14}$-CO-	Palmitoyl-		
	C_5H_{11}-	Pentyl-		
	C_6H_5-	Phenyl-		
	-C_6H_4-	Phenylen		
	C_3H_7-	Propyl-		
	(C_5H_4N)-	Pyridyl-		
	HS-	Sulfhydryl--		
	(HO)O_2S-	Sulfo-		
	-S-	Thio-		
	CH_2-C_6H_4-CO-	Toluoyl-		
	CH_3-C_6H_4-	Tolyl-		

	CH_2=CH-	Vinyl-		
	-CH=CH-	Vinylen		
	CH_2=C=	Vinyliden		
Ester	R-CO-O-R'	Carbalkoxy-	-säure-*alkyl*ester -carbon-säure *al-kyl*ester	
Harnstoff-Derivate		Ureido-	-harnstoff	
Hydrazin-Derivate		Hydrazino-	-hydrazin	

(C) bedeutet, dass das C-Atom zum Stamm der Verbindung gezählt wird (und nicht zum Substituenten)

organische Stoffe und ihre Namen

Gebrauchsname	exakter IUPAC-Name	Trivialname	weitere Namen oder Abkürzungen

5.2. Reaktionsarten in der organischen Chemie

nach den übergehenden Elementar-Teilchen (klassische Einteilung aus der anorg. Chemie)		
Name / Bezeichnung	**Wesen**	**Bemerkungen**
Säure-Base-Reaktionen	Reaktionen mit Protonen-Übergang bestehen immer aus Protonen-Abgabe und Protonen-Aufnahme	p^+ entspricht H^+
Redox-Reaktionen	Reaktionen mit Elektronen-Übergang bestehen immer aus Oxidation (Elektronen-Abgabe) und Reduktion (Elektronen-Aufnahme)	Redoxreaktionen innerhalb eines Moleküls oder von gleichen Molekülen miteinander werden Disproportionierung genannt
Komplex-Reaktionen	Bildungen, Umwandlungen und Zerstörung von bzw. an Komplexen	
photochemische Reaktionen	Aktivierung einer Umwandlung durch Licht(-Energie) / Photonen	

nach Veränderung am Cohlenstoff-Gerüst		
Name / Bezeichnung	**Wesen**	**Bemerkungen**
Aufbau-Reaktionen	Verlängerung der Cohlenstoff-Kette	z.B. Polymerisationen
Abbau-Reaktionen	Verkürzung der Cohlenstoff-Kette	
Umlagerungen	Umlagerung von Ketten-Abschnitten	
Reaktionen ohne Veränderung des C-Gerüstes		z.B. Umsetzungen an den funktionellen Gruppen

nach Brutto-Umsatz		
Name / Bezeichnung	**Wesen**	**Bemerkungen**
Additions-Reaktionen	Anlagerungen an ungesättigten Bindungen $A + B \rightarrow C$	
Eliminierungs-Reaktionen Eliminations-Reaktion	Abspaltung von Atomen od. Atomgruppen (Molekülen) $A \rightarrow B + C$	
Substitutions-Reaktionen	Austausch von Atomen od. Atomgruppen $A + B \rightarrow C + D$	
Umlagerungen	$A \rightarrow B$	
Einschub-Reaktionen	$A\text{-}B + C \rightarrow A\text{-}C\text{-}B$	praktisch Additions-Reaktion

nach der Art der reagierenden Teilchen		
Name / Bezeichnung	**Wesen**	**Bemerkungen**
ionische Reaktionen		
radikalische Reaktionen		

nach der Angriffs-Art		
Name / Bezeichnung	**Wesen**	**Bemerkungen**
elektrophile Reaktionen		
nukleophile Reaktionen		
radikalische Reaktionen		

nach Reaktions-Mechanismus		
Name / Bezeichnung	**Wesen**	**Bemerkungen**
radikalische Substitution S_R-Mechanismus		
elektrophile Addition A_E-Mechanismus		
nukleophile Substitution S_N-Mechanismus		

besondere Reaktions-Arten		
Name / Bezeichnung	**Wesen**	**Bemerkungen**
pericyclische Reaktionen	synchrone Veränderungen / Umlagerungen in armatischen bzw. cyclischen Verbindungen	
photochemische Reaktionen	Aktivierung einer Umwandlung durch Licht(-Energie) / Photonen	treten häufig an Doppelbindungen auf es folgen meist radikalische oder pericyclische Reaktionen

wichtige Reaktions-Schemata

Substitution (S)

(Austausch von Atomen oder Atomgruppen) **A + B → C + D**

Halogenierung (Substitution**)**

A–H + Cl-Cl → A–Cl + HCl

Alkylierung (Substitution**)**

A–H + Cl-R → A-R + HCl

Addition (A)

(Aufnahme von Atomen oder Atomgruppen) **A + B → C**

Hydrierung (Addition**)**

R=R' + H-H → HR–R'H

Eliminierung (E)

(Abspaltung von Atomen oder Atomgruppen) **A → B + C**

Dehydrierung (Eliminierung**)**

H–R–R'–H → R=R' + H_2

Dehalogenierung (Eliminierung**)**

H–R–R'–Cl → R=R' + HCl

Dehydratisierung (Eliminierung**)**

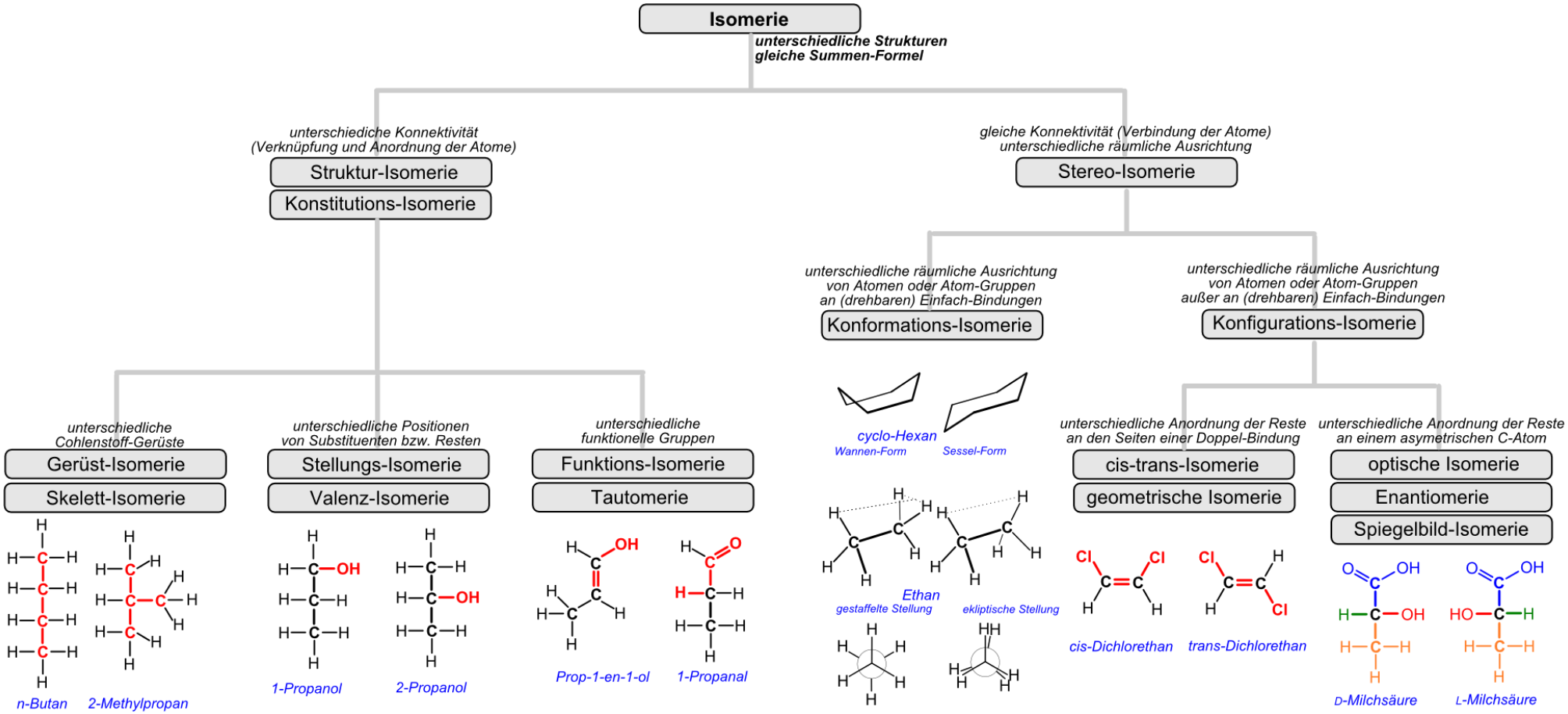
H–R–R'–OH → R=R' + H_2O

Decarboxylierung (Eliminierung**)**

H–R–R'–COOH → H–R–R'–H + CO_2

5.3. Zusammenfassung und Systematisierung

5.3.x. Isomerie



(c,p) 2009-2024 lern-soft-projekt: drews

Kate-gorie	Variante	Gemeinsam-keiten	Unterschiede	Unterschiedliche chem./phys. Eigen-schaften	Überführen nur durch Lösen von Bindungen
Konstitutionsisomere		Summen-formel	Struktur	ja	ja
Stereo-isomere	Diastereo-mere	Summen-formel + Struktur	räumliche An-ordnung	ja	ja
	Enantiomere		räumliche An-ordnung, aber wie Bild und Spiegelbild	optisch aktiv, Un-terschiede bei chi-ralen Reaktions-partnern (Enzyme)	ja
	Konforma-tionsisomere		räumliche Stel-lung	ja	nein

Q: www.chemie.de/lexikon/Isomer.html

unterschiedliche Wirkung von Stereo-Isomeren

Name des Stof-fes	Stoffgruppe(n)	Wirkungen / Eigenschaften		
		linksdrehende Form	rechtsdrehende Form	
Asparagin	Aminosäure	schmeckt bitter	schmeckt süß	
Babitursäure	Arneistoff	löst Krampfan-fälle aus	narkotisch	
Contergan Thalidomid	Schlafmittel	extrem Frucht-schädigend (teratogen)	nicht Frucht-schädigend	
Ethambutol	Arneistoff	wirkt gegen Tu-berkulose	führt zu Erblin-dung	
Limonen	Naturstoff	riecht nach Zit-rone	riecht nach Orange	
Milchsäure	Naturstoff	wird nur lang-sam verdaut	besonders gut bekömmlich	
Penicillamin	Arzneistoff	wirkt gegen Reuma	extrem toxisch	
Propranolol	Arneistoff	wirkt gegen Bluthochdruck	wirkt Empfäng-nis-verhütend	
Thyroxin	Aminosäure	Schildrüsen-Hormon	enkt Cho-lesterol-Spiegel	

(c,p) 2009-2024 lern-soft-projekt: drews

komplexe und übergreifende Aufgaben (z.B. zur Vorbereitung auf eine Klausur oder eine Prüfung)

1. *Bei der ersten Analyse einer Verbindung wurde deren Summen-Formel mit C_4H_6 ermittelt.*
   - *a) Welche Struktur könnte die Verbindung haben? Geben Sie drei Möglichkeiten an!*
   - *b) Benennen Sie die einzelnen Strukturen und ordnen Sie die Verbindung jeweils mindestens einer Stoff-Gruppe zu!*
   - *c) Geben Sie für alle C-Atome die Hybridisierung an! Skizzieren Sie für die verschiedenen möglichen Hybridisierungen jeweils ein Energie-Niveau-Schema!*

2) *Vergleichen Sie jeweils die 3. Glieder der homologen Reihe der Alkane, Alkene und Alkine miteinander! Verwenden Sie eine geignete Tabelle!*

3) *Setzen Sie sich mit den folgenden Thesen auseinander! Begründen Sie jeweils, warum die einzelne These richtig oder falsch ist!*
   - *a) Länger-kettige Alkane haben höhere Siede-Temperaturen, als kurz-kettige.*
   - *b) Mit steigender Ketten-Länge der Alkane nimmt die Schmelz-Temperatur ab.*
   - *c) Je niedriger die Schmelz-Temperatur umso fester (im Sinne des Aggregat-Zustandes)sind die Alkane.*
   - *d) Gleich-lange (Ketten-förmige) Alkene sieden früher (bei geringeren Temperaturen) als entsprechende Alkane.*
   - *e) Jedes Isomer eines Alkans hat die gleiche Siede-Temperatur.*

4) *Von Cohlenstoff sind in Verbindungen mehrere Hybridisierungs-Zustände bekannt.*
   - *a) Geben Sie an, wie sich Bindungs-Längen und die Bindungs-Energien der einzelnen Zustände zueinander verhalten! Erläutern Sie diese Ordnungs-Verhältnisse! (Es werden keine konkreten Werte erwartet!)*
   - *b) Welche Bindungs-Arten können die C-Atome in den verschiedenen Hybridisierungs-Zuständen eingehen?*
   - *c) Ordnen Sie zu den Hybridisierungs-Zuständen mindestens eine Stoff-Klasse organischer Stoffe zu!*

5) *Bei den Alkanen ist die Substitutions-Reaktion das typische chemische Verhalten.*
   - *a) Welches Reaktions-Verhalten ist bei Alkenen typisch?*
   - *b) Wählen Sie einen typischen Vertreter der homologen Reihe der Alkene und zeigen Sie das typische Reaktions-Verhalten bei der Reaktion mit Brom anhand von Reaktionsschritt-Gleichungen!*
   - *c) Benennen Sie den Reaktions-Typ und begründen Sie Ihre Wahl!*

6. *Geben Sie alle Isomere von Hexen als Struktur-Formel an! Benennen Sie alle Stoffe! Kennzeichnen Sie die Art der Isomerie, der bei den einzelnen Isomeren jeweils vorliegt!*

7. Aus Benzen soll (Mono-)Brombenzen synthetisiert werden.
   a) Stellen Sie die Struktur-Formel von Brombenzen auf!
   b) Wieviele Isomere des Brombenzen gibt es? Begründen Sie Ihre Antwort!
   c) Stellen Sie die Reaktions-Gleichung für die Synthese auf!
   d) Nach welchem Reaktions-Schema läuft die Reaktion ab?
   e) Sind auch andere Reaktions-Produkte bei der Reaktion von Brom mit Benzen möglich? Diskutieren Sie!
8. Ein Chemiker behauptet, er könne aus Cohlenmonoxid und Wasserstoff Methanol für Brennstoffzellen herstellen. Ist dies überhaupt möglich? Wenn JA, dann stellen Sie die chemische Gleichung auf! Unter welchen Druck-Verhältnissen wird man dann arbeiten müssen? Wenn die Reaktion nicht möglich ist, dann begründen Sie Ihre Aussage! Wenn die Stoffe überhaupt in irgendeiner Form reagieren, dann geben Sie dieses als chemische Gleichung an!
9. Stellen Sie jeweils eine Gleichung für die vollständige und für die unvollständige Verbrennung von Pentan, Pent-1-en und Pentin auf! Wie verändern sich die Reaktionen, wenn ein Isomer von Penten verbrannt wird!
10. Stellen Sie die Reaktions-Gleichung für die vollständige Verbrennung von But-2-en auf! Zeigen Sie mit Hilfe von Oxidationszahlen und ev. mit weiteren geeigneten Gleichungen, dass es sich bei der Verbrennung um eine Redox-Reaktion handelt!
11. Ethanol gehört zu den interessantesten Alkanolen.
   a) Geben Sie die Summen-, die verkürzte und die vollständige Struktur-Formel von Ethanol an!
   b) Gibt es Isomere des Ethanols? Wenn JA, dann zeigen Sie mindestens eines als Struktur-Formel auf! Wenn NEIN, dann begründen Sie Ihre Meinung!
   c) Stellen Sie drei Möglichkeiten zur Herstellung von Ethanol vor! Notieren Sie die zugehörigen chemischen Gleichungen!
   d) Ethanol kann mit Hilfe eines glühenden Cupfer-Drahtes zu Ethanal oxidiert werden. Stellen Sie die Stoff-Gleichung für diese Reaktion auf! Zeigen Sie, dass es sich wirklich um eine Oxidation im Sinne einer Redox-Reaktion handelt!
12. Alkanole haben einen deutlich höhreren Siedepunkt als Alkane gleicher Kettenlänge. Mit größerer Kettenlänge nimmt dieser Unterschied immer mehr ab.
a) Erklären Sie, warum Alkanole höhere Siede-Temperaturen besitzen!
b) Warum nimmt der Effekt mit steigender Kettenlänge ab? Begründen Sie Ihre Meinung!
c) Bei Destillieren von Ethanol-Wasser-Gemischen kommt man letztendlich immer auf ein Misch-Destillat mit 90% Ethanol. Man spricht von azeotroper Destillation. Wie könnte man z.B. 96%igen Alkohol herstellen? Erläutern Sie Ihren Lösungsweg!

13. Von einer unbekannten Substanz werden 0,138 g verbrannt. Dabei entstehen 0,328 g Cohlendioxid und 0,168 g Wasser. Verdampft man die gleiche Menge der Substanz, dann bildet sich ein Volumen von 46,25 ml (unter Normbedingungen).
   a) Ermitteln Sie die Verhältnis- und die Molekül-Formel der Substanz!
   b) Geben Sie die wahrscheinliche Summenformel der Substanz an! Erläutern Sie, wie Sie zu dieser kommen!
   c) Stellen Sie mögliche Struktur-Formeln auf!
   d) Wie nennt man die unter b) gefundenen Verbindungen gemeinsam? Begründen Sie Ihre Aussage!
14. Ethanol kann mit konzentrierter Schwefelsäure bei unterschiedlichen Bedingungen und bei Anwesenheit bestimmter Katalysatoren auf verschiedene Weise reagieren.
   a) Stellen Sie die Reaktions-Gleichung für die Bildung eines Alken, eines Ethers und eines Esters auf!
   b) Der Ether entsteht vorrangig bei 140°C, das Alken bei 170°C und bei rund 250°C bildet sich hauptsächlich der Ester. In der gleichen Rangfolge nimmt auch der exotherme Charakter der Reaktionen zu. Stellen Sie Energieniveau-Schemata für die drei Reaktionen auf! Interpretieren / Erläutern Sie die Diagramme!
   c) In einem isolierten System (Reaktions-Gefäß ohne Austausch-Möglichkeit für Stoffe und Energie) werden Ethanol und konzentrierte Schwefelsäure zusammengeführt und sich selbst überlassen. Alle nötigen Katalysatoren sind ebenfalls vorhanden. Welche Reaktionen laufen ab? Welche(s) Produkt(e) entsteht / entstehen vorrangig? Begründen Sie Ihren Standpunkt! Diskutieren Sie mit anderen Kursteilnehmern!
15. Durch Eintauchen eines glühenden Cupfer-Drahtes kann man Ethanol oxidieren.
   a) Stellen Sie die Reaktions-Gleichungen für die nächsten zwei höheren Oxidations-Produkte auf! Zeigen Sie mit Hilfe von Oxidations-Zahlen, dass hier wirklich eine Oxidation (Redox-Reaktion) abläuft!
   b) Durch Verbrennen kann Ethanol unvollständig und vollständig oxidiert werden! Geben Sie hierfür ebenfalls passende Reaktions-Gleichungen an!
   c) Sollten für die unvollständige und die vollständige Verbrennung mehrere Gleichungen möglich sein, DANN belegen Sie dass durch mindestens eine Reaktions-Gleichung! Sollte dies nicht möglich sein, DANN begründen Sie, warum dies nicht möglich ist!
16. Stellen Sie die Reaktions-Gleichung für die Veresterung von n-Pentansäure mit n-Butanol auf! Benennen Sie das Produkt! n-Butanol und n-Pentansäure sind oft mit ihren Isomeren verunreinigt. Wieviele verschiedene Ester kann man erwarten (Menge ist egal!)? Erläutern Sie Ihren Lösungsweg!

17. Buttersäureethylester ist ein Bestandteil des Grapefruit-Aromas.
   a) Stellen Sie die vollständige Struktur-Formel auf!
   b) Prüfen Sie die Struktur-Formel auf asymetrische C-Atome! Kennzeichnen Sie die asymetrischen C-Atome durch ein Sternchen!
   c) Stellen Sie eine chemische Gleichung auf, nach der oben genannter Ester hergestellt werden kann!
18. Verdorbene Fette können durch Hydrolyse in ihre Bestandteile zerlegt werden. Durch Zusatz von Kalium- oder Natriumhydroxid wird dieser Vorgang beschleunigt. Dabei entstehen die Kalium- bzw. Natrium-Salze der Säuren (Seifen genannt).
   a) Stellen Sie chemische Gleichungen für die schwach exotherme Hydrolyse von Fetten auf (Sie können mit einem konkreten Beispiel arbeiten oder allgemeine Reste in den Struktur-Formeln verwenden!)
   b) Wie könnte man die Ausbeute an Fettsäuren bzw. ihren Seifen erhöhen? Erläutern Sie Ihre Vorschläge!
19. Bei der Untersuchung einer unbekannten Substanz hat man folgende Beobachtungen gemacht bzw. Ergebnisse gewonnen:
   a) die Elementar-Analyse bestätigt: Cohlenstoff, Wasserstoff und Sauerstoff
   b) bei 20°C ist die Substanz flüssig; farblos, mit Wasser mischbar; riecht stechend (nach Senf(-Öl))
   c) die Substanz ist leicht entzündlich
   d) 0,2 g der Substanz ergeben bei der Dampfdichte-Bestimmung 77,1 ml Gas (unter Norm-Bedingungen)
   e) entfärbt Brom-Wasser
   d) Iodoform-Probe verläuft negativ
   f) Aldehyd-Gruppen wurden nicht festgestellt
   g) mit (elem.) Natrium reagiert die Substanz unter Bildung von Wasserstoff
   Um welche Substanz handelt es sich? Begründen Sie Ihre Meinung und zeigen Sie Ihren Entscheidungsweg auf! Für die positiven (funktionierenden) Nachweise und Reaktionen stellen Sie die Reaktionsgleichungen auf!
20. Nennen Sie je zwei Amino- und Nitro-Verbindungen! Geben Sie deren Struktur-Formel an!
21. Erklären Sie, warum sich Nitromethan gut in Natronlauge und Aminobenzo gut in Salzsäure löst!
22.

für die gehobene Anspruchsebene:

A. Bei der Chlor-Addition an But-2-en sind verschiedene Produkte möglich.

i) Gegen Sie die Struktur-Formeln und die IUPAC-Namen der Additions-Produkte an!

ii) Unter UV-Licht wird die radikalische Substitution durchgeführt. Mit wie-vielen verschiedenen Produkten kann man rechnen? Welche von diesen sind Isomere (irgendeiner Form)?

B) Mit Kaliumpermanganat-Lösung im Milieu und bei Zimmer-Temperatur kann man Alkene zu Diolen oxidiert werden.

i) Stellen Sie das vollständige Redox-Gleichungs-System (mit den tei-Reaktionen) auf! Ausgangsstoff: Propen

ii) Verwendet man Ethin als Ausgangsstoff, dann entsteht Ethendiol. Diese Substanz zeigt Keto-Enol-Tautomerie. Was versteht man darunter und wie sehen passende Struktur-Formeln dazu aus?

5.4. Namen diverser Chemikalien in verschiedenen Sprachen usw.

regulärer Name IUPAC-Name	**engl. Benennung**	**Trivialname(n), *Bezeichnung im Bereich der Kosmetika, …***	**Formel**	**Bemerkungen**
Kalium-Natrium-Tartrat-Tetrahydrat	Tartarated soda, Salt of seignette	SEIGNETTE-Salz; *Tartarus natronatus*, *Natrokali tartaricum*, *Kalium tartaricum natronatum*	$KNaC_4H_4O_6 * 4 H_2O$	E 337

(c,p) 2009-2024 lern-soft-projekt: drews

5.7. Möglichkeiten zur Struktur-Aufklärung organischer Verbindungen

Reaktion mit Natrium

Enthält eine Summen-Formel Sauerstoff, dann kommen mehrere Klassen von Sauerstoff-Derivaten der Kohlenwasserstoffe in Frage.
Kommt in der ermittelten Summen-Formel nur ein Sauerstoff-Atom vor, dann könnte es sich um ein Alkohol (Akanol), Aldehyd (Alkanal), Keton (Alkanon) oder Ether handeln.
Zwei Sauerstoff-Atome können zum einen auf zwei-funktionale Stoffe der oberen Liste hindeuten oder bei einem Stoffen mit nur einer funktionellen Gruppe auf eine Alkansäure (Carbonsäure) oder ein Peroxid.
Ab drei Sauerstoff-Atomen müssen mehrere funktionelle Gruppen vorhanden sein.
Eine Möglichkeit bestimmte Klassen in die nähere Wahl zu ziehen, ist die Reaktion mit Natrium.

Ein Sauerstoff-Atom:
Reagiert Natrium mit dem Stoff unter Wasserstoff-Bildung, dann könnte es sich um ein Alkohol handeln. Ether reagieren nicht.

Zwei Sauerstoff-Atome:
Alkansäuren bilden mit Natrium ebenfalls Wasserstoff.

Alkane
Nachweis von Halogenwasserstoff (pH-Wert) bei Reaktion mit Brom

Alkene / Alkine
Entfärbung von Brom-Wasser oder Iod-Lösung
BAEYER's-Probe (Reaktion mit Kaliumpermanganat-Lösung)

Aromaten / Phenole
Reaktion mit Eisen(III)-chlorid

Halogen-Derivate / Halogenide
BEILSTEIN-Probe / Flammen-Färbung

Alkanole (Alkohole)
Iodoform-Probe
Reaktion mit Natrium
LUCAS-Probe (Reaktion mit Salzsäure und Zinkchlorid)

Alkanale (Aldehyde)
FEHLINGsche Probe
TOLLENS-Probe
Reaktion mit Fuchsinschwefliger Säure (SCHIFF's Reagenz)
Reaktion mit NYLANDERS Reagenz

(c,p) 2009-2024 lern-soft-projekt: drews

Ketone
Fällung mit 2,4-Dinitrophenyhydrazin

Alkansäure (Carbonsäure)
pH-Wert
Reaktion mit Alkoholen (Geruchs-Veränderung durch Ester-Bildung)
Reaktion / Veresterung mit Methanol (→ Butarat)
Reaktion mit Kaliumhydrogensulfat (→ Acetat)
Reaktion mit frisch gefälltem Cupfer(II)-hydroxid (→ Tartrat)

Kohlenhydrate
FEHLINGsche Probe (nur reduzierende Zucker)
SELIWANOW-Probe (nur Fructose)
GOD-Test (nur Glucose)
Reaktion mit Iod-Kaliumiodid-Lösung (nur Stärken)
Chlorzink-Iod-Probe (nur Cellulose)

Fette / Lipide
Fett-Fleck-Probe
Anfärben mit Sudan-III
Anfärben mit Carotinoiden

Aminosäuren / Peptide / Proteine / Eiweiße
Ninhydrin-Reaktion (→ Aminosäuren)
Biuret-Reaktion (→ Peptide)
Xanthoprotein-Reaktion (→ Proteine)

Exkurs:

5.6. Begriffe und Begriffsbestimmungen, Definitionen

ZIFFERN und ZEICHEN

2-Aminosäure	Aminosäure, bei der sich die / eine Amino-Gruppe am 2. Cohlenstoff-Atom – der von der Säure-Gruppe aus gezählten – Cohlenstoff-Kette befindet
α-Aminosäure	→ 2-Aminosäure; α (alpha) steht für die erste Nachfolge-Position in der Cohlenstoff-Kette vom höchstoxidierten C-Atom aus gezählt
π-Bindung (pi-Bindung)	Bindung zwischen zwei Atomen, an denen nicht-hybridisierte Elektronen beteiligt sind (nicht rotationssymmetrisch / drehbar)
σ-Bindung (sigma-Bindung)	Bindung zwischen zwei Atomen, an denen hybridisierte Elektronen beteiligt sind (immer rotationssymmetrisch / drehbar)

A

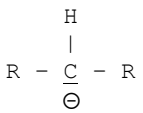
abgeschlossenes System	→ isoliertes System
Aldehyde	→ Alkanale; Stoffgruppe der Stoffe mit endständiger Carbonyl-Gruppe
Aldose	→ Monosaccharid (→ Einfachzucker) mit einer (endständigen) → Aldehyd-Gruppe im Molekül
Alkanale	→ Aldehyde; Stoffgruppe der Stoffe mit endständiger Carbonyl-Gruppe
Alkanone	→ Ketone; Stoffgruppe der Stoffe mit doppelt-gebundenem Sauerstoff-Atom an einem sekundärem C-Atom im Moleküle
Alkene	Cohlenwasserstoffe mit mindestens einer Doppel-Bindung im Molekül (außer → Aromate)
Aktiniden	sind die Elemente mit den Ordnungs-Zahlen ab 90. Ihre Atome sind durch Außen-Elektronen auf 5f-Orbitalen gekennzeichnet.
Aktivierungs-Energie	ist die Energie, welche die Teilchen (im aktivierten Zustand) besitzen müssen, um miteinander zu reagieren
Amine	Substitutions-Produkte des Ammoniaks, bei dem mindestens ein Wasserstoff-Atom durch einen Cohlenwasserstoff-Rest (od. dessen Derivat) ausgetauscht wurde

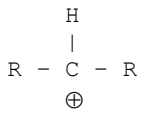
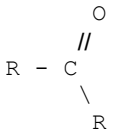
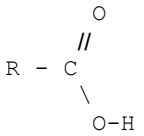
Aminosäure	Stoff, der mindestens eine Säure-Gruppe (→ Carboxyl-Gruppe und eine → Amino-Gruppe im Molekül besitzt
Anode	Elektrode, an der die Oxidation stattfindet häufig: die Elektrode, die negativ geladen ist
asymmetrisches Cohlenstoff-Atom	→ optisch aktives Cohlenstoff-Atom; C-Atom mit vier unterschiedlichen Resten
Atom-Bindung	Modell der Bindung zwischen Nicht-Metall-Atomen durch gemeinsame Nutzung von Elektronen-Paaren
Außen-Elektronen	Valenz-Elektronen; Elektronen auf der äußersten Schale (/ dem äußersten (Unter-Orbital)
Azo-Farbstoffe	Farbstoffe, die eine Azo-Gruppe (-N=N-) enthalten

B

Base (ARRHENIUS)	Stoff, der in wässriger Lösung Hydroxid-Ionen (OH^-) abgeben kann
Base (BROENSTED)	Protonen-Akzeptor; Stoff, der in wässriger Lösung Protonen aufnehmen / akzeptieren kann
Bindigkeit	beschreibt die Anzahl der Elektronen-Paare, die ein Atom mit Partner-Atomen bildet
Bindungs-Energie	ist die Energie, die benötigt wird, um zwei verbundene Atome zu trennen
Bindungs-Enthalpie	ist die Energie-Menge, die bei der Bildung eines Moleküls / Atom-Paares aus den Einzel-Atomen (benötigt oder) freigesetzt wird.
Bildungs-Wärme	älterer Ausdruck für die Bildungs-Enthalpie
BORN-HABER-Kreisprozess	Anwendung des → Satz von HESS zur Bestimmung der Gitter-Energie von Ionen-Gittern
Brennstoff-Zelle	Primär-Zelle, bei der die Reaktanten kontinuierlich an die Elektroden (mit Katalysator-Funktion) geführtwerden

C

Carbanium-Ion	ist ein sp^3-hybridisiertes C-Atom mit einer negativen Ladung. Es besitzt ein "überzähliges" Elektron.	

Carbenium-Ion	ist ein sp^2-hybridisiertes C-Atom mit einer positiven Ladung. Es fehlt gewissermaßen das Bindungs-Elektron für die 4. Bindung.	
Carbonyl-Gruppe	Atom-Gruppe mit einem doppelt gebundenem Sauerstoff-Atom an einem Cohlenstoff-Atom (R kann Wasserstoff-Atom oder Cohenwasserstoff-Rest bzw. Derivat sein)	
Carboxyl-Gruppe	Säure-Gruppe; → funktionelle Gruppe der → Alkansäuren; -COOH	
chemische Energie	Teil der Energie eines Objektes, die in Bindungen und zwischenmolekularen Beziehungen steckt / gespeichert ist	
chemisches Gleichgewicht	bei einer chemischen Reaktion verlaufen Hin- und Rück-Reaktion (in einem geschlossenem System unter konstanten Bedingungen) gleich stark	
chirale Moleküle	zwei Moleküle / → Isomere, die sich wie Bild und Spiegelbild verhalten	
cis-trans-Isomerie	Form der Isomerie an Doppel-Bindungen	
Chiralität	→ Stero-Isomerie Fähigkeit, räumlich spiegelbildliche (händische) Isomere zu bilden	
Chromophore	(Atome od.) Atom-Gruppen, die (durch vorhandene π-Elektronen-Systeme) in einer Verbindung die Farbigkeit verursachen / den Stoff zur Absorption bestimmter Licht-Anteile befähigen	

D

delokalisierte Elektronen	p-Elektronen, die sich nicht eindeutig (nur formal) zwei Atomen zuordnen lassen; es gibt mehrere (theoretisch denkbare) (mesomere) Zustände der Atom-Gruppe
Denaturierung	Gerinnung; Veränderung od. Zerstörung der natürlichen Funktion eines Stoffes durch äußere Faktoren (meist Eiweiß (Protein) gemeint)
Derivat	Abkömmling; durch Austausch von Atomen oder Atom-Gruppen erhaltene (veränderte) Verbindung
Deuterium	ist ein Isotop des (Elementes) Wasserstoff(s). Es besitzt im Atom-Kern neben dem Proton noch ein Neutron Das Symbol lautet: D, was ^2H entspricht.

Dipol	Molekül mit räumlich getrennten Ladungs-Zentren; ist ein Molekül (od. vergleichbares chemisches Objekt), das zwei entgegengesetzt geladene Laduungs-Schwerpunkte enthält, die nicht deckungsgleich sind.
Dipol-Dipol-Wechselwirkung	Beziehung (Anziehung bzw. Abstoßung) zwischen (permanenten / dauerhaften) Dipolen; sind polare Anziehungskräfte, die zwischen Dipolen wirken
Disaccharide	→ Zweifachzucker; Kohlenhydrate, die aus zwei → Monosaccharid-Bausteinen zusammengesetzt sind
Disproportionierung	chemische Reaktion, bei der gleiche Stoff einmal oxidiert und reduziert wird
Dissoziation-Enthalpie	ist die Energie-Menge, die benötigt wird, um Moleküle / Atom-Paare in einzelne Atome aufzuspalten
Donator	Stoff, der Elementar-Teilchen, Atome oder Atom-Gruppen abgibt
Donator-Akzeptor-Konzept	chemisches Leitlinie, bei der immer eine abgebende Teil-Reaktion mit einer aufnehmenden Teil-Reaktion (direkt ursächlich) verknüpft sind
Duroplast	Makromoleküle mit dreidimensionaler Verknüpfung der Moleküle

E

Edelgas-Regel	Atome sind durch Aufnahme oder Abgabe von Elekronen bestrebt die Elektronen-Konfiguration des am dichtesten benachbarten Edelgases zu erreichen; gilt für alle Hauptgruppen-Elemente → Oktett-Regel
Einfachzucker	→ Monosaccharid
Elastomere	Stoffe, die nach Zug- oder Druck-Belastung wieder in ihre Ausgangsform zurückkehren
Elektrolyse	durch Gleichstrom erzwungene Redox-Reaktion (in einer GALVANI-Zelle)
Elektrolyt	flüssiges, elektrisch leitfähiges Medium (Lösung oder Schmelze, selten Feststoff)
Elektronegativität (allgemein)	ist das Maß für die effektive Kern-Ladung eines Atoms.
Elektronegativität (nach PAULING)	ist ein Modell-Maß für die Fähigkeit eines Atoms Elektronen zu sich zu ziehen (willkürliche Grenzen: max.: EN [Fluor] = 4,0; kleinste: EN [Cäsium] = 0,7)

Elektronenaffinität	ist ein Maß für Fähigkeit eines freien Atoms oder eines Moleküls Elektronen an sich zu binden / zu sich zu ziehen
Elektronen-Akzeptor	→ Oxidations-Mittel; Stoff, der Elektronen aufnehmen (akzeptieren) kann
Elektronen-Donator	→ Reduktions-Mittel; Stoff, der Elektronen abgeben kann
Elektronen-Konfiguration	Anordnung der Elektronen eines Atom auf den Schalen bzw. Orbitalen und Unterorbitalen
Elektronenpaar-Abstoßungs-Theorie	ist die Theorie, die sich mit der räumlichen Anordnung von bindenden und nicht-bindenden Elektronen-Paaren beschäftigt und damit Aussagen über die Teilchen-Geometrie macht
elektrophil	ist die Eigenschaft von Teilchen atomarer Größe, die Elektronen im Mangel haben und deshalb Elektronen-liebend (Wort-Sinn) sind bzw. Elektronen-anziehend wirken Elektronen-Akzeptor; Gegenteil heißt nucleophil
Elektrophil	Teilchen (/Stoff), das (/der) wegen eines Mangels an Elektronen ein (/einen) Elektronen-reiches(/n) Teilchen (/Stoff) (dieses(/r) ist nukleophil) angreift Gegenteil: → Nukleophil
Element	ist ein Stoff, der ausschließlich aus Atomen mit der gleichen Protonen-Anzahl besteht Die Protonen-Zahl definiert die Ordnungs-Zahl eines Elementes. Elemente lassen sich chemisch nicht weiter zerlegen.
Enantiomere	sind Spiegelbild-Isomere eines Stoffes, die nicht durch Drehung ineinander überführt werden können
Energie E	Fähigkeit eines Systems, (physikalische) Arbeit zu verrichten
Energie-Prinzip	Jedes System (z.B. auch ein Elektron) strebt immer den Energie-ärmsten Zustand an. In diesem Zustand ist das System am stabilsten.
energonische Reaktion	Reaktion mit positiver freier Enthalpie (~Energie); nicht freiwillig ablaufende Reaktion; kann nur durch äußere Faktoren (z.B. Temperatur-Erhöhung) erzwungen werden
endotherme Reaktion	Reaktion benötigt zum Ablauf (äußere) Energie
Enthalpie H	Summe, der in Wärme umgerechnete Energie-Veränderung bei chemischen Vorgängen
Entropie S	Maß für die Unordnung eines (chemischen) Systems; (neben der Reaktions-Enthalpie) Triebkraft einer chemischen Reaktion Wahrscheinlichkeit für das Auftreten eines bestimmten Zustandes

essentielle Aminosäuren	bestimmte (protenogene) → Aminosäuren, die der Mensch nicht selbst herstellen kann und deshalb mit der nahrung augenommen werden müssen
essentielle Fettsäure	Fettsäuren mit mindestens zwei Doppel-Bindungen im Molekül; müssen vom Menschen aufgenommen (gegessen) werden müssen, d diese sie nicht selbst herstellen können
exergonische Reaktion	Reaktion mit negativer freier Enthalpie (~Energie); freiwillig ablaufende Reaktion
exotherme Reaktion	Reaktion läuft unter Freisetzung von Energie (Wärme) ab

F

Farbmittel Farb-Mittel	Farbe-gebender Stoff
Farbstoff	im Anwendungs-Medium lösliches oder verarbeites Farb-Mittel
Formal-Ladung	für ein Atom: AnzahlValenzElektronen – FreieElektronen – ½ BindungsElektronen
freie Elektronen-Paare	nicht an einer Bindung beteiligte Außen-Elektronen
freie Enthalpie	GIBBS'sche Energie; nutzbare oder notwendige Energie einer chemischen Reaktion
freie Energie	
Funktions-Isomerie	bei gleicher Summen-Formel sind Stoffe mit unterschiedlichen funktionellen Gruppen möglich

G

GALVANI-Zelle galvanisches Element	elektrische Energie liefernde Anordnung von zwei verschiedenen Elektroden in einem Elektrolyt oder die elektrisch verbundene Anordnung von zwei Halb-Zellen
GALVANI-sieren galvanisieren	Überziehen einer elektrisch leitenden Oberfläche mit einem Metall mittels Elektrolyse
geschlossenes System	Teilbereich der Realität (/ Welt), der mit seiner Umgebung keine Materie aber Energie austauschen kann
Gleichgewichts-Konstante	

Geschwindigkeits-Konstante

GIBBS-HELMHOLTZ-Gleichung — Berechnung der Änderung der freien Enthalpie (ΔG) aus der Änderung der Enthalpie (ΔH) und der Entropie (ΔS) sowie der Temperatur (T)
$\Delta G = \Delta H - T\Delta S$; $\Delta G > 0$ … Reak. → endergonisch; $\Delta G < 0$ … Reak. → exergonisch

Gitter-Energie — Energie, die beim Bilden eines Gitters aus den Ionen frei wird

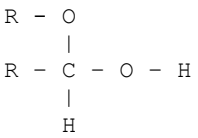
glycosidische Bindung — Bindung (- O -) zwischen zwei Monosaccharid-Bausteinen durch Reaktion von einer → glycosidischen OH-Gruppe mit einer weiteren OH-Gruppe entstandene Bindung

glycosidische Hydroxyl-Gruppe
glycosidische OH-Gruppe

Glycosid

H

Halbacetal — durch Reaktion einer → Aldehyd-Gruppe mit einer → Hydroxyl-Gruppe entstandene Struktur mit einer (neuen) → glycosidischen OH-Gruppe



Hauptgruppen-Elemente — sind die Elemente, die ihre Außen-Elektronen nur auf s- oder p-Orbitalen haben.

Haupt-Quanten-Zahl n — gibt die Größe eines Orbitals an

heterogene Katalyse — Ausgangs-Stoffe und Katalysator liegen in unterschiedlichen Phasen vor

heterolytische Spaltung
Homolyse — ist der ungleichmäßige Bruch einer Bindung unter Bildung von Ionen

$$A - B \longrightarrow A^+ + B^-$$

Hexose — Monosaccharid mit 6 Cohlenstoff-Atomen
Formel: $C_6H_{12}O_6$

homogene Katalyse — Ausgangs-Stoffe und Katalysator liegen in der gleichen Phase vor

homolytische Spaltung
Heterolyse — ist der gleichmäßige Bruch einer Bindung unter Bildung von Radikalen

$$A - B \longrightarrow A\bullet + \bullet B$$

HUNDsche Regel	Bei der Besetzung Energie-gleicher Orbitale werden diese zuerst einzeln (und parallel) belegt. Erst wenn alle energetisch gleichen orbitale einfach besetzt sind kommt es zur Paarung mit Elektronen (, die den entgegengesetzten Spin haben müssen).
Hybridisierung	verschmelzen von energetisch äquivalenten → Orbitalen (meist einer → Haupt-Quanten-Zahl) zu gleichartigen (Energie und Form) → (Hybrid-)Orbitalen
Hybrid-Orbital	durch → Hybridisierung entstandenes Misch-Orbital
Hydrat-Hülle	einfach oder mehrfache Hülle / Schicht von Wasser-Molekülen um ein Ion
Hydratations-Enthalpie	ist die Energie-Menge, die bei der Bildung einer Hydrat-Hülle (benötigt oder) freigesetzt wird.
Hydroxid-Ion	negativ geladenes Ion aus Sauerstoff und einmal Wasserstoff; entsteht bei der Autoprotolyse des Wassers und bei der Dissoziation von Basen $^{\ominus}O - H$ OH^-
Hydroxyl-Gruppe	(ungeladene) Atom-Gruppe aus einem Sauerstoff- und einem Wasserstoff-Atom; funktionelle Gruppe der Alkonole / Alkohole $- O - H$ $-OH$

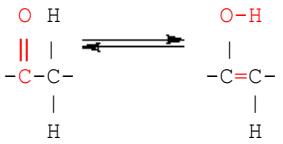
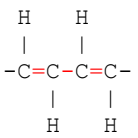
I

I-Effekt	→ Induktions-Effekt
Indikator	Stoff, der eine bestimmte Eigenschaft (meist durch Farb-Veränderung) anzeigt (z.B. Wasserstoff-Ionen / Protonen am häfigsten verwendet: → Universal-Indikator
Induktions-Effekt induktiver Effekt	Beeinflussung der Reaktivität einer (funktionellen) Gruppe, durch benachbarte Atome od. Atom-Gruppen -I-Effekt: +I-Effekt:
Ionen-Bindung Ionen-Beziehung	chemische Bindung zwischen verschieden geladenen Ionen; Ursache sind die polaren / COLOUMBschen Kräfte
Ionisierungs-Energie	ist die Energie, die notwendig ist um ein bestimmtes bzw. soundsoviele Elektronen aus der Elektronen –Hülle zu entfernen. 1. Ionisierungs-Energie: ist die Energie, die notwendig ist um ein äußerstes Elektron (Außen-Elektron) aus der Atom-Hülle zu entfernen.
isolierte Doppel-Bindung	eine Doppel-Bindung, die erst nach mindestens 2 Einfach-Bindungen wieder eine Doppel-Bindung als (entfernten) Nachbarn hat

isoliertes System abgeschlossenes System	Teilbereich der Realität (/ Welt), der mit seiner Umgebung weder Materie oder Energie austauschen kann
Isomerie	zu einer Summen-Formel existieren mindestens zwei unterschiedliche Struktur-Formeln Formen: → Konformations-Isomerie, → Keto-Enol-Tautomerie
Isoptope	sind (vollständige) Atome eines Elementes, die sich von anderen Atomen des gleichen Elementes durch die Anzahl der Neutronen im Atom-Kern unterscheiden

J

K

Katalysator	Stoff, der den Verlauf einer chemischen Reaktion verändert (beschleunigt od. verlagsamt), an ihr zwar teilnimmt, aber nicht verbraucht wird (und somit nach der Reaktion wieder vorliegt)
Kathode	Elektrode, an der die Reduktion stattfindet häufig: die Elektrode, die positiv geladen ist
Keto-Enol-Tautomerie	Form der Isomerie, die durch ein im Molekül wanderndes Wasserstoff-Atom entsteht; es bilden sich abwechselnd eine Keton- und eine kombinierte Doppelbindung- (-en) und Alkohol-Struktur 
Ketone	→ Alkanone; Stoffgruppe der Stoffe mit doppelt-gebundenem Sauerstoff-Atom an einem sekundärem C-Atom im Moleküle
Ketose	→ Monosaccharid mit einer Keto-Gruppe (üblich am 2. C-Atom)
Kohlenhydrate	→ Monosaccharid mit der Formel $C_nH_{2n}O_n$ (= $C_n(H_2O)_n$) oder deren Kondensations-Produkte (Formel dann: $C_n(H_2O)_m$, $m<n$)
Konformations-Isomerie	Isomerie-Form, die durch Drehung von Molekül-Resten um eine C-C-Einfach-Bindung entsteht
konjugierte Doppel-Bindungen	zwischen zwei Doppel-Bindungen befindet sich exakt eine Einfach-Bindung; alternierende Anordnung von Einfach- und Doppel-Bindungen; es sind verschiedene mesomere Zustände möglich; führt zur Verschiebung der Licht-Absorption 

Konstitutions-Isomerie	Isomerie-Form, die auf den unerschiedlichen möglichen Atom-Positionen (und Bindungs-Strukturen) entsteht
korrespondierendes Säure-Base-Paar	zusammengehörende Stoffe (Säure und Base), die sich durch ein Proton unterscheiden $S \rightleftharpoons B^- + H^+$ $S^+ \rightleftharpoons B + H^+$
korrespondierendes Redox-Paar	zusammengehörende Stoffe (Reduktions- und Oxidations-Mittel), die sich durch ein Elektron unterscheiden $RM \rightleftharpoons OM^+ + e^-$ $RM^- \rightleftharpoons OM + e^-$
kumulierte Doppel-Bindung	zwei Doppel-Bindungen folgen unmittelbar aufeinander H | -C=C=C- | H

L

Lanthaniden	sind die Elemente mit den Ordnungs-Zahlen 58 bis 71. Ihre Atome sind durch Außen-Elektronen auf 4f-Orbitalen gekennzeichnet.
LEWIS-Formel	→ Valenzstrich-Formel; Struktur-Formel, in der die Außen-Elektronen (Valenz-Elektronen) als Punkte bzw. anliegende Striche (für 2 Elektronen = 1 Elektronen-Paar) und die Bindungen als verbindende Stiche dargestellt werden •C• • |Cl• |O - H | H
Lokal-Element	Anode und Kathode sind praktisch räumlich nicht getrennt bzw. liegen unmittelbar nebeneinander (und berühren sich); Zelle ist praktisch kurz-geschlossen
Lösungs-Enthalpie	ist die Energie-Menge, die beim Lösen eines Stoffes in einem bestimmten Lösungsmittel benötigt oder freigesetzt wird.

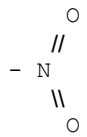
M

Magnet-Quanten-Zahl m	bestimmt die Ausrichtung eines (Unter-)Orbitals im Raum
Massen-Wirkungs-Gesetz (MWG)	Gleichung / Term, die / der aussagt, das (in einem homogenen, geschlossenen System) der Quotient aus den Produkten der Konzentrationen der Reaktions-Produkte sowie den Produkten der Konzentrationen der Ausgangstoffe eine Konstante (k) ist $a\,A + b\,B \rightleftharpoons c\,C + d\,D$ $k = \frac{c_C^c \cdot c_D^d}{c_A^a \cdot c_B^b}$

mesomere Zustände	mögliche idealisierte (grenzwertige) Struktur-Formeln nach LEWIS für ein Molekül
Mesomerie	Modell zur Umschreibung von Übergangs-Zuständen von Bindungen und Elektronen-Paaren durch idealisierte Zwischen- bzw. Grenz-Situationen
Mesomerie-Pfeil	besonderes Zeichen in chemischen Gleichungen / Gleichungs-Systemen: einzelner Doppelpfeil ⟷; kennzeichnet keine Stoff-Umwandlung bzw. chemische Reaktion, sondern nur denkbare Bindungs- und Ladugs-Verteilungs-Situationen
Mesomerie-Energie	Energie-Differenz zwischen den idealisierten mesomeren Grenz-Zuständen und der real beobachteten Bindungs-Energie
Mesomerie-stabilisiert(e) Struktur	durch bewegliche / wandernde Elektronen-Paare / Ladungen ist das Molekül gegenüber äußeren Einflussen unempfindlicher und wandlungsfähiger
Molekül	räumlich begrenztes Objekt aus mehreren (Nicht-Metall-)Atomen, die mittels Atom-Bindung verbunden sind; einzelne, abgeschlossene und stabile Teilchen, die aus mindestens zwei Atomen bestehen; die Atome werden durch Atom-Bindung und/oder durch polare Atom-Bindung zusammengehalten
Molekül-Orbitale	sind die verschmolzenen / sich überlappenden und gemeinsam genutzter Atom-Orbitale von zwei Atomen
Monomere	elementare Bausteine / Grund-Bausteine eines Polymers / Makromoleküls
Monosaccharid	→ Einfachzucker; Kohlenhydrat mit der Formel $C_nH_{2n}O_n$, wobei n üblicherweise zwischen 3 und 7 liegt (am häufigsten: 5,6); Bau-Element von Oligo- und Poly-Sacchariden
Mutarotation	bei optisch aktiven Isomeren auftretender Effekt, der Einstellung eines bestimmten (Gleichgewichts-)Drehwinkels

N

Nebengruppen-Elemente	sind solche Elemente, deren Außen-Elektronen auf d-Orbitalen liegen
Neben-Quanten-Zahl n	bestimmt die Form und Anzahl der Unter-Orbitale (eines Haupt-Orbital / einer Schale)
NERNST-Gleichung	Berechnungs-Formel zur Ermittlung des Elektroden-Potentials aus der Elektrolyt-Konzentration; $U = U^{\ominus} + \frac{R \cdot T}{z_e \cdot F} \ln \frac{c[OM]}{c[RM]}$

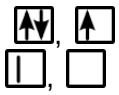
	Berechnung des Redox-Potentials aus der Stoff-Konzentration
Nitro-Verbindungen	organische Stoffe mit einer od. mehrerer Nitro-Gruppen (als funktionelle Gruppe) 
Nuklid	ist eine (Atom-)Kern-Art, die durch eine bestimmte Anzahl an Protonen und Neutronen charakterisiert ist
Nukleonen-Zahl	ist die Summe der Anzahlen von Protonen und Neutronen in einem Atom-Kern
nucleophil nukleophil	ist die Eigenschaft von Teilchen atomarer Größe, die Elektronen im Überschuß besitzen und deshalb Kern-liebend (Wort-Sinn) sind bzw. Kern-anziehend wirken Elektronen-Donatoren; Gegenteil heißt elektrophil
Nukleophil	Teilchen (/Stoff), das (/der) wegen eines Überschusses an Elektronen ein / einen Elektronen-armes/n Teilchen (/Stoff) (dieses(/r) ist elektrophil) angreift Gegenteil: → Elektrophil

O

offenes System	Teilbereich der Realität (/ Welt), der mit seiner Umgebung sowohl Materie als auch Energie austauschen kann
Oktett-Regel (Acht-Elektronen-Regel)	Zuordnung von 4 Elektronen-Päarchen zu einem Atom (außer H und He; hier nur 1 Päarchen) in einer → LEWIS-Formel, um die optimale Situation von 8 Außen-Elektronen (→ Valenz-Elektronen) zu erreichen; gilt für alle Hauptgruppen-Elemente angestrebt: Edelgas-Konfiguration (→ Edelgas-Regel) bzw. voll-besetzte (Unter-)Orbitale
Oligopeptide	Peptide, die aus 2 bis rund 20 Aminosäure bestehen bzw. 1 bis rund 19 Peptid-Gruppen enthalten
Oligosaccharide	Kohelnhydrate (→ Saccharide), die aus 2 bis rund 20 Monosaccharid-Bausteinen aufgebaut sind
Orbital	ist der Aufenthalts-Bereich (eines Elektrons) innerhalb der Elektronen-Hülle (negative Ladungs-Wolke), in dem sich das Elektron mit einer bestimmten Wahrscheinlichkeit aufhält
Oxidation	Teilreaktion der Redox-Reaktionen, bei der ein od. mehrere Elektron(en) abgegeben werden bzw. sich die → Oxidation-Zahl für ein Atom erhöht
Oxidations-Mittel (OM, OxM, OxidM)	Stoff, der in einer Redox-Reaktion einen anderen Stoff oxidiert bzw. selbst reduziert wird

Oxidations-Zahl	Modell, bei dem einem Atom eine formale Ladung zugeordnet wird, so als wäre es ein Ion innerhalb des Moleküls bzw. des Stoffes fiktive Ladung eines Atom innerhalb einer Bindung bzw. des Elementes
Oxydation	Reaktion eines Stoffes mit Sauerstoff (Verbrennung)/ Bildung eines Oxides

P

Partial-Ladung (partielle Ladung)	→ Teil-Ladung
Passivierung	Bildung einer chemisch kaum angreifbaren Deckschicht z.B. Oxid-Schicht auf elemtarem Aluminium
PAULING-Schreibweise	Schreibweise der Elektronen-Konfiguration oder der Orbital-Besetzung mittels / in Quadraten; Elektronen werden mit ihrem Spin (als Pfeil) dargestellt (wenn für ein ungepaartes Elektron der Spin egal ist, wird häufig nur ein Strich gezeichnet)  bzw.
PAULI-Prinzip	alle Elektronen eines Atom müssen sich in mindestens einer Quanten-Zahl (Haupt-, Neben-, Magnet- od. Spin-Quanten-Zahl) unterscheiden
PAULI-Verbot	in der Atom-Hülle eines Atoms dürfen zwei Elektronen niemals in allen vier Quanten-Zahlen übereinstimmen. Sie müssen sich immer in mindestens einer Quanten-Zahl unterscheiden.
Pentose	→ Monosaccharid mit 5 C-Atomen im Molekül; Summen-Formel: $C_5H_{10}O_5$
pH-Wert	Kenngröße der Konzentartion der Wasserstoff-Ionen / Protonen / Hydronium-Ionen in einer Lösung $\boldsymbol{pH = -\lg c[H_3O^+]}$ negativer dekadischer Logarithmus der Konzentration der Hydronium-Ionen / Wasserstoff-Ionen / Protonen
Pigmente	Farbstoff, die im Anwendungs-Medium unlöslich sind (häufig Feststoffe)
Polarisierbarkeit	ist ein Maß für Veränderung der Elektronen-Hülle eines Atoms durch ein äußeres elektrisches Feld
Polarität	ist die ungleichmäßig Verteilung der Elektronen-Dichte um ein Objekt (atomarer Größe)
Poly-Addition	Bildungs-Reaktionen von Makromolekülen ohne Neben-Produkte; vielfache Verknüpfung von bifunktionalen Molekülen mittels Additions-Reaktionen

Poly-Kondensation	Bildungs-Reaktionen von Makromolekülen unter Abspaltung kleiner Moleküle vielfache Verknüpfung von bifunktionalen Molekülen mittels Substitutionen unter Abspaltung kleiner / einfacher Moleküle
Polymerisation	Bildungs-Reaktionen von Makromolekülen durch Aufbrechen von Doppel-Bindungen und Verknüpfen der → Monomere
Polypeptid	Makromolekül mit mehr als 20 Aminosäure-Bausteinen bzw. 19 Peptid-Gruppen im Molekül
Polysaccharid	Kohlenhydrat, der aus sehr vielen (20 – 1'000'000; mehr als 20) Monosaccharid-Grundbausteinen zusammengesetzt ist
primärer Alkohol	Alkohol, dessen Hydroxyl-Gruppe am Ende einer C-Kette gebunden ist Alkohol, dessen Hydroxyl-Gruppen-tragendes C-Atom nur 1 Nachbar-C-Atom hat
Primär-Struktur (von Proteinen)	(genetisch bedingte) Aufeinanderfolge von Aminosäuren in einer Polypeptid-Kette
Primär-Zelle	GALVANI-Zelle mit gerichteter (nicht-umkehrbarer) Reaktion (Zelle kann nur entladen werden)
Promotion	Anhebung des Energie-Niveaus eines Elektrons in der Atom-Hülle
Proteine	= Eiweiße Polypeptide in einer speziellen Struktur (→ Tertiär- od. Quartiär-Struktur) ev. mit einem Nicht-Protein-Teil (zur Erfüllung einer biologischen Funktion)
Puffer	Gemisch aus Säuren bzw. Basen und schwachen Salzen derselbigen, die trotz Verdünnung od. dem Zusatz von Säure od. Base ihren → pH-Wert lange konstant halten

Q

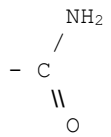
Quanten-Zahl	Eigenschaft- bzw. Zustand-Größe eines Elektrons n .. → Haupt-Quanten-Zahl; l .. → Neben-Quanten-Zahl; m .. → Magnet-Quanten-Zahl; s .. → Spin-Quanten-Zahl;
Quartiär-Struktur (eines Proteins)	räumliche Struktur eines Proteins; meist aus mehreren Tertiär-Strukturen (→ Polypeptid-Ketten) zusammengesetzt; natürliche (optimal funktionierende) Eiweiß-Struktur

R

Reagenz	das kleinere oder das bewegliche von zwei an einer Reaktion beteiligten Stoffe (größere oder feste werden → Substrat genannt)
Reaktions-Energie $\Delta_R E$, $\Delta_R U$	Veränderung der Energie im Verlauf einer chemischen Reaktion; Wärme-Aufnahme oder –Abgabe im Verlauf einer chemischen Reaktion bei konstantem Volumen
Reaktions-Enthalpie $\Delta_R H$	Wärme-Aufnahme oder –Abgabe im Verlauf einer chemischen Reaktion bei konstantem Druck
Redox-Paar, korrespondierendes	→ Korrespondierendes Redox-Paar
Redox-Reaktion	→ Reaktion mit Elektronen-Übergang; Reaktions-System aus einer → Oxidation (Elektronen-Abgabe) und einer → Reduktion (Elektronen-Aufnahme)
Reduktion	Teilreaktion der Redox-Reaktionen, bei der ein od. mehrere Elektron(en) aufgenommen werden bzw. sich die → Oxidation-Zahl für ein Atom verringert
Reduktions-Mittel (RM, RedM)	Stoff, der in einer Redox-Reaktion einen anderen Stoff reduziert bzw. selbst oxidiert wird
Regel von KOSSEL KOSSEL-Regel	Die Reaktions-Fähig eines Atoms beruht auf seiner Fähigkeit, Elektronen aufzunehmen od. abzugeben, um eine Edelgas-Konfiguration zu erreichen.
RGT-Regel Reaktionsgeschwindigkeits-Temperatur-Regel	= → VANT HOFFsche Regel Erhöht man die Temperatur um 10 grd (= 10 K), dann erhöht sich die Reaktions-Geschwindigkeit durchschnittlich um das zwei- bis dreifache (selten bis zum Zehnfachen) Ausnahme: Foto-chemische Reaktionen

S

Salz-artige Stoffe	→ Ionen-Verbindungen; Stoffe, die auf Ionen-Beziehung basieren; Stoffe, die in Form von Ionen-Gittern aufgebaut sind
Salze	sind Feststoff, die aus Ionen aufgebaut sind.
Satz von HESS	die Reaktions-Energie für eine chemische Reaktion ist immer gleich, unabhängig vom Weg der Reaktion
Säure (ARRHENIUS)	Stoff, der in wässriger Lösung Wasserstoff-Ionen (Protonen)

	abgeben kann
Säure (BROENSTED)	Protonen-Donator; Stoff, der in wässriger Lösung Protonen abgeben / donieren kann
Säureamid	Derivate der → Alkansäuren, bei denen die Hydroxyl-Gruppe durch eine Amino-Gruppe ersetzt ist 
sekundärer Alkohol	Alkohol, dessen Hydroxyl-Gruppen-tragendes C-Atom genau 2 Nachbar-C-Atome hat
Sekundär-Struktur (eines Proteins)	regelmäßige / geordnete Anordnungen (Faltblatt od. Helix) der Aminosäuren einer Polypeptid-Kette, die durch die Eigenschaften der Reste und Wasserstoff-Brücken-Bindungen stabilisiert werden
Sekundär-Zelle	GALVANI-Zelle mit umkehrbarer Reaktion; (Zelle kann (mehrfach) entladen und geladen werden)
Spannungs-Reihe, elektrochemische	Zusammenstellung der Redox-Paare, nach ihren Standard-Potentialen (Redox-Verhalten / Redox-Stärke) geordnet
Spin-Quanten-Zahl s	Eigenschaft eines Elektron, die seinen Spin (~ (Eigen-)Rotation) beschreibt
Standard-Bildungs-Enthalpie $\Delta_f E_m^{\ominus}$, molare	Enthalpie, die bei der Bildung eines Mol eines Stoffes aus seinen Elementen aufgenommen od. freigesetzt wird; Enthalpie-Änderung bei der Bildung einer Verbindung aus seinen Elementen → *tabellierte Werte*
Standard-Bildungs-Entropie $\Delta_B S_m^{\ominus}$, $\Delta S_m^{\ominus}$, molare	Entropie-Änderung, die bei der Bildung eines Mol eines Stoffes aus seinen Elementen beobachtet wird → *tabellierte Werte*
Standard-Bindungs-Enthalpie $\Delta_B E_m^{\ominus}$, molare	Enthalpie, die bei der Bildung eines Mol Bindungen zwischen zwei Atomen aufgenommen od. freigesetzt wird; Enthalpie-Änderung bei der Bildung eines Mol Atom-Bindungen → *tabellierte Werte*
Standard-Elektroden-Potential	Potential einer Halb-Zelle unter Standard-Bedingungen gegenüber einer Standard-Wasserstoff-Elektrode
Standard-Reaktions-Enthalpie $\Delta_R E_m^{\ominus}$, molare	Enthalpie pro Formel-Umsatz, die im Verlauf einer Reaktion bei Standard-Bedingungen aufgenommen oder abgegeben wird Wärme pro Formel-Umsatz, die im Verlauf einer Reaktion bei konstanten Druck und bei 298 K aufgenommen oder abgegeben wird
Standard-Bildungs-Entropie $\Delta_R S_m^{\ominus}$, molare	Veränderung der Entropie pro Formel-Umsatz einer Reaktion, bezogen auf alle Produkte und Edukte

Stellungs-Isomerie	Isomerie, die aus der unterschiedlichen Positionierung von Gruppen entsteht (bei Beibehaltung der Gruppen-Kombination)
Substitution	Typ chemischer Reaktionen, bei denen Atome od. Atom-Gruppen ausgetauscht werden
Substrat	das größere von zwei oder mehreren an einer Reaktion beteiligten Stoffe (andere (kleinere) werden → Reagenz genannt) bei Enzym-Reaktionen ist das Substrat der zu bearbeitende Stoff
Synproportionierung Komproportionierung	Reaktion von Verbindungen eines Elementes einer höheren und einer niedrigeren Oxidations-Stufe zu einer gemeinsamen mittleren
System	(real od. künstlich) abgegrenzter Teil der Realität (/ Welt), der in Beziehung zu seiner Umgebung (dem Nicht-System) steht Modell
System, abgeschlossenes	→ isoliertes System
System, geschlossenes	→ geschlossenes System
System, isoliertes	→ isoliertes System
System, offenes	→ offenes System

T

Teil-Ladung (→ Partial-Ladung)	sind nur Anteile einer vollständigen Ladung. Sie werden mit dem Zeichen σ (griech.: s .. sigma) und der Ladungs-Richtung (plus oder minus) gekennzeichnet
tertiärer Alkohol	Alkohol, dessen Hydroxyl-Gruppen-tragendes C-Atom genau 3 Nachbar-C-Atome hat
Tertiär-Struktur eines Proteins	räumliche Struktur eines fertig gefalteten und ev. intern verknüpften monomeren, funktionsfähigen Proteins (→ Polypeptid-Kette); verbinden sich häufig zu Oligomeren (selten Polymeren) bei rein monomeren Proteinen ist die Tertiär-Struktur auch gleich die Quartiär-Struktur
Thermoplaste	Makromoleküle (mit linearen und / oder wenig verzweigten Strukuren), die sich bei mäßiger Temperatur-Erhöhung (wiederholt) verformen lassen
Titration	Maß-analytisches Verfahren zur Bestimmung der Stoffmenge bzw. der Konzentration einer Lösung mittels des Verbrauches einer definierten Maß-Lösung; vielfach an Farb-

Veränderungen od. mittels Indikatoren verfolgt
z.B. Säure-Base-Titration, Redox-Titration

U

Überspannung
Differenz zwischen dem gemessenen und der theoretisch berechneten / erwarteten Potential einer Halb-Zelle / Elektrode
durch Oberflächen-Effekte bzw. Elektroden-Material-Effekte verändertes Potential einer Halb-Zelle

Universal-Indikator
häufig verwendete → Farbstoff- bzw. → Indikatoren-Kombination (auf Papier fixiert od. als Lösung), die den Gehalt an Protonen / Wasserstoff-Ionen (→ pH-Wert) durch bestimmte Farben anzeigt (sauer .. rot; neutral .. grün; basisch .. blau)

V

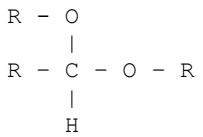
Valenz-Elektronen
Außen-Elektronen; Elektronen auf der äußersten Schale (/ dem äußersten (Unter-Orbital)

VAN-DER-WAALS-Kräfte
VDW-Kräfte
als unpolar beschriebene schwache Kräfte / Wechselwirkungen zwischen Teilchen / Molekülen, die auf temporären, induzierten Dipolen beruhen

Veresterung
Reaktion einer Säure mit einem Alkohol unter Bildung eines Esters und Wasser
spezielle Form der Substitution, bei der eine Säure mit einem Alkohol reagiert

Verseifung
alkalische Hydrolyse von Fetten (Triglyceriden) zu Glycerol und Fettsäure-Salzen (= Seifen)
Rück-Reaktion der Veresterung von Glycerol und Fettsäuren

Vollacetal
durch Reaktion einer → glycosidischen OH-Gruppe mit einer weiteren OH-Gruppe entstandene Gruppierung



vollsynthetische Kunststoffe
Kunststoffe / Makromoleküle, die aus chemisch (künstlich) hergestellten oder veränderten → Monomeren hergestellt wurden

W

Wärme(-Energie)
Energie-Form, die die Bewegungs-Energie von Teilchen innerhalb eines Stoffes darstellt
gemessen als: Temperatur

Wärme-Menge
Energie-Menge, die zwischen System od. dem System und

	seiner Umgebung ausgetauscht wird
Wasserstoff-Brücken-Bindung (WBB)	relativ starke Wechselwirkungen zwischen Teilchen / Molekülen durch gemeinsam beanspruchte / benutzte Wasserstoff-Atome (meistens unmittelbar an N, F und O gebunden und diesen gegenüberliegend); beruhen auf Dipol-Dipol-Wechselwirkungen zwischen polarisierten Wasserstoff-Atomen und anderen polarisierten Atomen. Zumeist treten WBB zwischen intermolekular auf
Wärmetönung	ist der historisch / umgangssprachliche Ausdruck für die Reaktions-Enthalpie

X

Y

Z

Zell-Spannung	Potential einer Halb-Zelle / GALVANIschen Zelle
Zersetzungs-Spannung	Spannung, die benötigt wird um eine Lösung zu elektrolysieren Elekrolyse-Spannung zur Zersetzung einer Lösung (unter Abscheidung reduzierter und oxidierter Stoffe)
Zweifachzucker	→ Disaccharide; Kohlenhydrate, die aus zwei → Monosaccharid-Bausteinen zusammengesetzt sind
zwischen-molekulare Kräfte, zwischen-molekulare Wechselwirkungen	elektrostatische Kräfte zwischen Teilchen / Molekülen od. isolierten Atomen / Ionen (unpolare) VAN-DER-WAALS-Kräfte od. polare (Dipol-Dipol-) Wechselwirkungen / Kräfte

Ä - Ü

Literatur und Quellen:

/1/ WÜNSCH, Prof. Dr. Karl-Heinz; MIETCHEN, Doz. Dr. Ralf; EHLERS, Dr. Dieter:
Organische Chemie – Grundkurs.- Berlin: Dt. Verl. d. Wissenschaften; 1986; 5. bericht. Aufl.
ISSN 0233-0806

/2/ FITTKAU, Dr. Siegfried:
Organische Chemie.-Jena: G. Fischer Verl.; 1984; 5., überarb. Aufl.

/3/ BOTSCH, Walter; HÖFLING, Erich; MAUCH, Jürgen:
Chemie ind Versuch, Theorie und Übung.- Frankfurt am Main: Verl. M. Diesterweg; Aarau, Frankfurt am Main, Salzburg: Verl. Sauerländer; 1984; 2., neubearb. Aufl.
ISBN 3-425-95421-0
ISBN 3-7941-2522-3

/4/ HÄUSLER, Karl:
Chemie kompakt – Formeln, Regeln, Gesetze.-München: R. Oldenburg Verl.; 1994; 1. Aufl.
ISBN 3-486-88567-7

/5/ SCHLEIP, Alfred; KÖHLER, Georg:
Fundamentum CHEMIE – Sekundarstufe I – Lehr- und Arbeitsbuch.-Bonn: Ferd. Dümmlers Verl.; 1994
ISBN 3-427-43101-0

/6/ LÜTHJE – GALL - REUBER:
Verf:: THOMAS, Dr. Wolfgang; QUANTE, Marion; QUANTE, Uwe; HEFELE, Gerd:
Lehrbuch der Chemie – Organische Chemie.-Frankfurt am Main: Verl. M. Diesterweg; 1983
ISBN 3-425-050496-6

/7/ WHITE, Emil H.:
Grundlagen der Chemie für Biologen und Mediziner.-Stuttgart: Kosmos – Gesell. d. Naturfreunde; Franckh'sche Verlagshandlung; 1973.- 3. verbesserte Aufl.
ISBN 3-440-03981-1

/8/ Chemie – Lehrbuch für Klasse 9
(TEICHMANN, Jochen; OBST, Heinz; ARNDT, Barbara); Hrsg.: TEICHMANN;
Berlin: Volk u. Wissen Verl.; 1980; 11. Aufl.

/9/ Chemie – Lehrbuch für Klasse 8
(ARNDT, Barbara; LANGE, Peter; OBST, Heinz; TEICHMANN, Jochen);
Berlin: Volk u. Wissen Verl.; 1985; 6. Aufl.

/10/ Organische Chemie – Lehrbuch für die Oberschule 9. und 10. Klasse
(HRADETZKY, Albert; WOLFFGRAMM, Horst; RENNEBERG, Werner);
Berlin: Volk u. Wissen Verl.; 1967

/11/ Schüler-DUDEN: Die Chemie
Mannheim: Bibliogr. Inst. & F. A. Brockhaus; überarb. Aufl.
ISBN

/12/ HAFNER, Lutz:
Biochemie – Materialien für den Sekundarbereich II – Chemie.-Hannover: Schroedel Schulbuchverl.; 1993
ISBN 3-507-10604-3

/13/ HAFNER, Lutz:
Einführung in die Organische Chemie – Unter besonderer Berücksichtigung der Biochemie – Materialien für den Sekundarbereich II – Chemie.-Hannover: Schroedel Schulbuchverl.; 1976; 2. Aufl.
ISBN 3-507-10600-0

/14/ OEHMICHEN, Jobst:
Chemie für Landwirte.-Alfeld-Hannover: Verl. M. & H. Schaper; 1989.-2. überarb. u. erw. Aufl.
ISBN 3-7944-0147-6

/15/ ANDERS, A.; DEIBNER, H.; PAAR, F.; SCHWARZER, J.; SINDEL, G.:
Chemie – Fachschule Technik.-Troisdorf: Bildungsverl. EINS (Stam); 1994.-2. Aufl.
ISBN 3-8237-0039-1

/16/ HACKL, Manfred; VOLKMANN, Hans; …:
Chemie für Fachoberschulen – Ausgabe B.-Stuttgart, Dresden: Klett Verl. f. Wissen u. Bildung; 1993.-1. Aufl.
ISBN 3-12-804300-0

/17/ JÄCKL, Manfred; RISCH, Karl (Hrsg.):
Chemie heute – Sekundarbereich II.-Hannover: Schroedel Schulbuchverl.; 1991
ISBN 3-507-10618-3

/18/ KIRSCH, Wolfgang; MANGOLD, Marietta; SCHLACHTER, Brigitte; TSCHIEDEL, Martina:
Abitur clever vorbereitet – Chemie (Schülerhilfe).-Potsdam: tandem Verl.
ISBN 978-3-8427-0361-2
(für Schüler sehr zu empfehlen; die Chemie kurz gefasst; Kosten-günstig)

/1/ :

ISBN

/1/ :

ISBN

/A/ Wikipedia
http://de.wikipedia.org

Die originalen sowie detailliertere bibliographische Angaben zu den meisten Literaturquellen sind im Internet unter http://dnb.ddb.de zu finden.

Abbildungen und Skizzen entstammen den folgende ClipArt-Sammlungen:

/A/ 29.000 Mega ClipArts; NBG EDV Handels- und Verlags AG; 1997

/B/

andere Quellen sind direkt angegeben.

Alle anderen Abbildungen sind geistiges Eigentum:

/I/ lern-soft-projekt: drews (c,p) 2006 – 2024 lsp: dre
für die Verwendung außerhalb dieses Skriptes gilt für sie die Lizenz:

CC-BY-NC-SA

Lizenz-Erklärungen und –Bedingungen: http://de.creativecommons.org/was-ist-cc/
andere Verwendungen nur mit schriftlicher Vereinbarung!!!

verwendete freie Software:

Programm	Hersteller:
Inkscape	inkscape.org (www.inkscape.org)
CmapTools	Institute for Human and Maschine Cognition (www.ihmc.us)
ChemSketch	ACD Labs (Advanced Chemistry Development, Inc.) (www.acdlabs.com)

⊞- (c,p)1998 - 2024 lern-soft-projekt: drews -⊟
⊞- drews@lern-soft-projekt.de -⊟
⊞- http://www.lern-soft-projekt.de -⊟
⊞- 18069 Rostock; Luise-Otto-Peters-Ring 25 -⊟
⊞- Tel/AB (0381) 760 12 18 FAX 760 12 11 -⊟