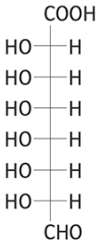
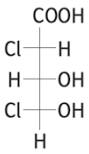
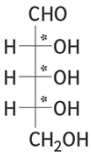
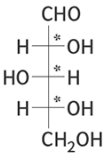
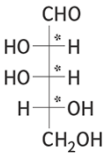
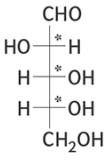
Fischer-Projektion

1 Individuelle Lösung

2

A	B	C
		

3

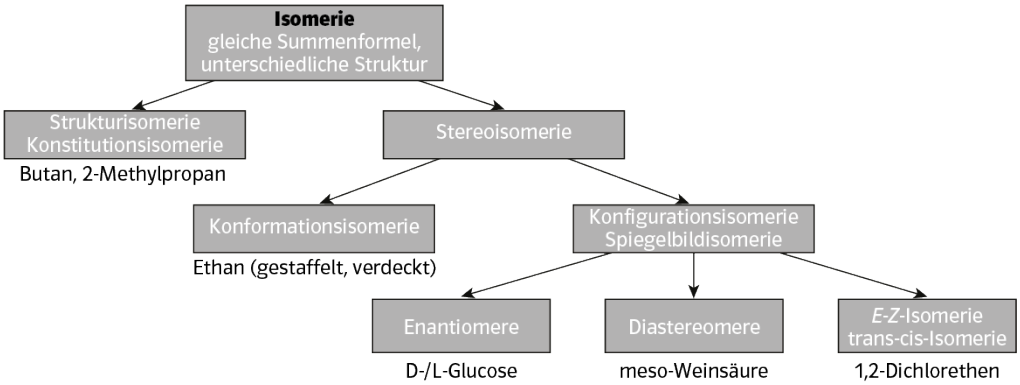
			
D-Ribose	D-Xylose	D-Lyxose	D-Arabinose

© Ernst Klett Verlag GmbH, Stuttgart 2021 | www.klett.de | Alle Rechte vorbehalten. Von dieser Druckvorlage ist die Vervielfältigung für den eigenen Unterrichtsgebrauch gestattet. Die Kopiergebühren sind abgegolten.

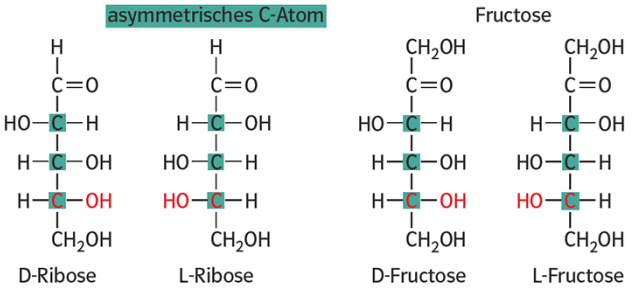
Autorin: Kerstin Hartmann
Abbildungen: Lumina Datamatics GmbH, München

D- und L- Saccharide: Wie kann man sie unterscheiden? GK

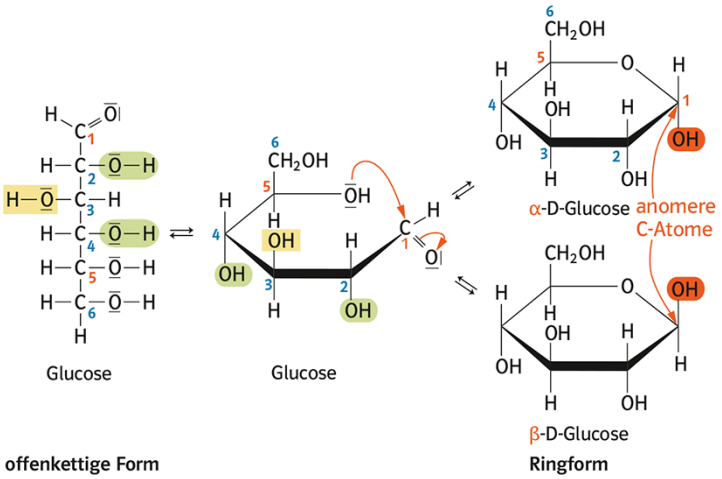
1 Wiederholungsaufgabe:



2 Strukturformeln



3 D-Glucose in der Fischerprojektion hat kein asymmetrisches C1-Atom. Sobald die Hydroxygruppe des C5-Atoms durch interne Umlagerung das Proton an das freie Elektronenpaar des Sauerstoff-Atoms der Carbonylgruppe abgibt, klappt das freie Elektronenpaar des Sauerstoff-Atoms der Hydroxygruppe an das C1-Atom und schließt damit den Ring. Damit bildet sich eine Hydroxygruppe am C1-Atom und somit dort ein Chiralitätszetrum. Je nach Position der Hydroxygruppe, entweder unten oder oben am C1-Atom angehängt, bezeichnet man es als α- oder β-Molekül.



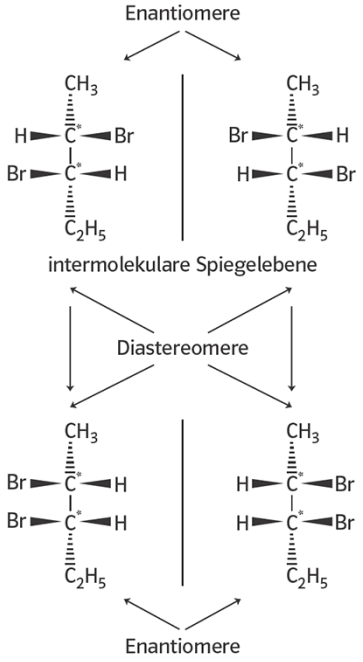
© Ernst Klett Verlag GmbH, Stuttgart 2021 | www.klett.de | Alle Rechte vorbehalten. Von dieser Druckvorlage ist die Vervielfältigung für den eigenen Unterrichtsgebrauch gestattet. Die Kopiergebühren sind abgegolten.

Autorin: Gila Wirth
Illustrator: 1, 2 Lumina Datamatics GmbH, München

Stereoisomerie am Beispiel der Glucose LK

1 Stereoisomere: Moleküle mit gleicher Summenformel und gleicher Verknüpfung der Atome, die sich aber in ihrer räumlichen Anordnung unterscheiden.
Enantiomere: Enantiomere sind Stereoisomere, die sich wie Bild und Spiegelbild zueinander verhalten. Bei solchen Molekülen treten immer Chiralitätszentren (asymmetrische Kohlenstoff-Atome) auf.
Diastereomere: Diastereomere sind Stereoisomere mit Chiralitätszentren, die sich nicht wie Bild und Spiegelbild zueinander verhalten.
Konstitutionsisomere: Moleküle gleicher Summenformel, die sich in der Abfolge der Atomverknüpfungen unterscheiden.

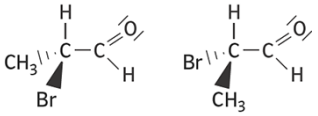
2 Stereoisomere des 1,2-Dibrompentans



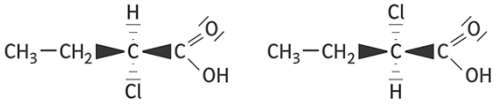
3 Das Glucose-Molekül besitzt vier asymmetrische Kohlenstoff-Atome, es können insgesamt 16 Stereoisomere gezeichnet werden. Beim 1,2-Dibrompentan-Molekül gibt es zwei asymmetrische Kohlenstoff-Atome, es gibt insgesamt vier Stereoisomere. Für ein Molekül mit *n* asymmetrischen C-Atomen ergibt sich eine maximale Anzahl von 2^n Stereoisomeren.

© Ernst Klett Verlag GmbH, Stuttgart 2021 | www.klett.de | Alle Rechte vorbehalten. Von dieser Druckvorlage ist die Vervielfältigung für den eigenen Unterrichtsgebrauch gestattet. Die Kopiergebühren sind abgegolten.
Autorin: Kerstin Hartmann
Illustrator: 2 Lumina Datamatics GmbH, München

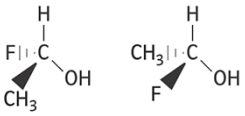
4 2-Brompropanal



2-Chlorbutansäure

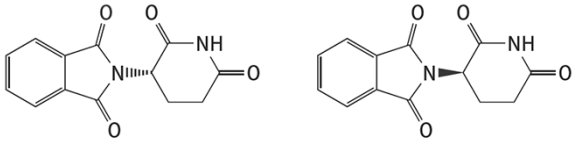


1-Fluorethanol



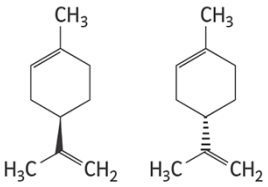
5 Individuelle Lösung möglich, z. B.:

z. B. Thalidomid



Nur das (S)-Thalidomid (links) hat fruchtschädigende Wirkung.

z. B. Limonen



Das (R)-Limonen (links) hat einen orangenartigen Geruch und ist z. B. in Zitronen und Orangen enthalten, das (S)-Limonen (rechts) riecht nach Terpentin und kommt in Edeltannen oder Pfefferminze vor.

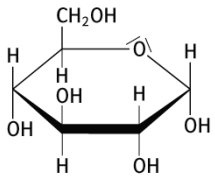
© Ernst Klett Verlag GmbH, Stuttgart 2021 | www.klett.de | Alle Rechte vorbehalten. Von dieser Druckvorlage ist die Vervielfältigung für den eigenen Unterrichtsgebrauch gestattet. Die Kopiergebühren sind abgegolten.

Autorin: Kerstin Hartmann
Illustrator: 4, 5 Lumina Datamatics GmbH, München

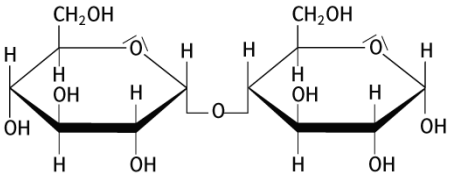
Die Milch macht's!

1 Haworth -Projektionsformeln:

α-D-Glucose:

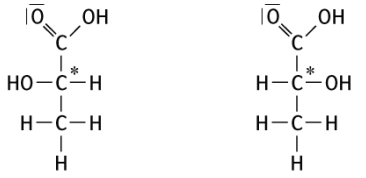


Maltose:



Verknüpfungsart: α-1,4-glycosidische Bindung

2 Fischer-Projektionsformeln:



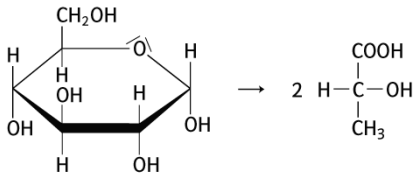
L-Milchsäure D-Milchsäure

Definitionen:

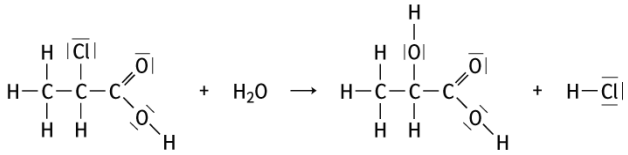
- Asymmetrisches C-Atom: Kohlenstoff-Atom mit vier verschiedenen Substituenten (Bindungspartnern)
- Stereoisomerie: Art der Isomerie, bei der die Moleküle die gleiche Molekülformel bzw. Sequenz gebundener Atome aufweisen, sich jedoch in der dreidimensionalen (räumlichen) Ausrichtung der Substituenten unterscheiden
- Racemat: Stoffgemisch im Verhältnis 1 : 1 aus Molekülen, die sich wie Bild und Spiegelbild verhalten (Enantiomere)

Asymmetrische C-Atome: siehe Abbildung oben

3 Reaktionsgleichung:



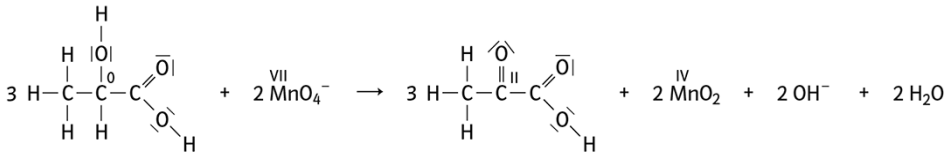
4 Reaktionsgleichung:



Reaktionstyp: Substitution

© Ernst Klett Verlag GmbH, Stuttgart 2021 | www.klett.de | Alle Rechte vorbehalten. Von dieser Druckvorlage ist die Vervielfältigung für den eigenen Unterrichtsgebrauch gestattet. Die Kopiergebühren sind abgegolten.

5 Reaktionsgleichung:



Es handelt sich um eine Redoxreaktion. Das C2-Atom der Milchsäure ändert die Oxidationszahl von 0 auf +II in der Brenztraubensäure. Dies ist die Oxidation, es werden 3 × 2, also sechs Elektronen abgegeben. Mangan ändert seine Oxidationszahl von +VII auf +IV. Es handelt sich um die Reduktion, es werden 2 × 3, also sechs Elektronen aufgenommen.

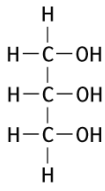
© Ernst Klett Verlag GmbH, Stuttgart 2021 | www.klett.de | Alle Rechte vorbehalten. Von dieser Druckvorlage ist die Vervielfältigung für den eigenen Unterrichtsgebrauch gestattet. Die Kopiergebühren sind abgegolten.

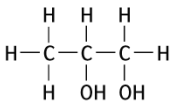
Zahncremes

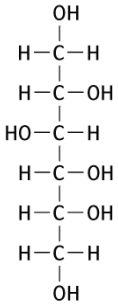
1 $m = n \cdot M = 1{,}3 \cdot 10^{-3}\,\text{mol} \cdot 100\,\text{g/mol}$
$= 0{,}13\,\text{g}$

In der Zahncreme-Portion sind 0,13 g Calciumcarbonat enthalten.

2 Strukturformeln:


Glycerin


Propylenglycol


Sorbit

Erläuterung: Mithilfe der OH-Gruppen werden Wasserstoffbrücken zwischen den Polyalkohol-Molekülen und den Wasser-Molekülen ausgebildet. Durch diese starken zwischenmolekularen Kräfte wird das Wasser in der Zahncreme „gehalten“.

3 Beschreibung der Molekül-Anordnung: Das Dodecyl-Anion besteht aus einem langen unpolaren und einem endständigen polaren Teil, der negativ geladen ist [B2]. Der polare Teil orientiert sich zum polaren Wasser hin (durch die Ausbildung von Wasserstoffbrücken), während der unpolare Teil vom Wasser weg in die Umgebung zeigt. Dadurch werden polare und unpolare Medien miteinander „verbunden“.

4 In einem ersten Schritt könnten die glycosidischen Bindungen im Xylan unter Anlagerung von Wasser gespalten werden, was zur Bildung von D-Xylose-Molekülen führt. Der zweite Schritt könnte eine Hydrierung sein, d. h. eine Anlagerung von Wasserstoff an die Xylose, wobei die Xylose zu Xylit reduziert wird.

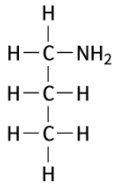
Einfaches Prozessdiagramm der Xylit-Synthese:

***Hinweis**: Bei der industriellen Herstellung stammt Xylan z.B. aus Birkenholz. Unter Zusatz von Schwefelsäure und Natronlauge bei Temperaturen bis zu 200 °C wird daraus Xylose gewonnen. Durch Einsatz eines Katalysators und bei hohem Druck wird schließlich aus Xylose Xylit gewonnen.*

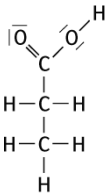
© Ernst Klett Verlag GmbH, Stuttgart 2021 | www.klett.de | Alle Rechte vorbehalten. Von dieser Druckvorlage ist die Vervielfältigung für den eigenen Unterrichtsgebrauch gestattet. Die Kopiergebühren sind abgegolten.

Aminosäuren – vielfältig und essentiell

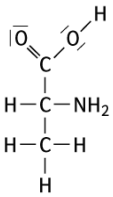
1 Strukturfomeln:



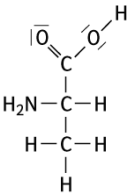
1-Aminopropan



Propansäure



D-Form



L-Form

Alanin (2-Aminopropansäure)

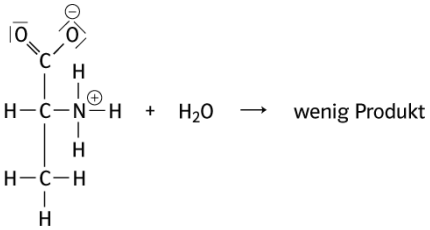
2 Zuordnung:

Eigenschaft	Propansäure	Alanin	1-Aminopropan
Aggregatzustand bei Zimmertemperatur	flüssig	fest (lässt sich nicht ohne Zersetzung schmelzen)	flüssig
Siedetemperaturen	141 °C	-----	49 °C
pH-Wert der wässrigen Lösungen bei vergleichbarer Konzentration	4 – 5	6 – 7	11 – 12

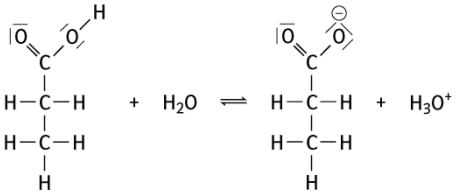
Begründung: Die Siedetemperaturen sind abhängig von den zwischenmolekularen Kräften.

– Die Aminosäure Alanin liegt als *Zwitterion* vor, daher existieren Anziehungskräfte zwischen den Ionen (Ionenbindungen). Da dies die stärkste chemische Bindung ist, liegt Alanin als Feststoff vor.
– Bei 1-Aminopropan gibt es Wasserstoffbrücken zwischen den NH_2-Gruppen.
– Propansäure bildet zusätzlich zu den Wasserstoffbrücken Dipol-Dipol-Kräfte und London-Kräfte aus, die Siedetemperatur ist demnach bei Propansäure höher als bei 1-Aminopropan.

Erklärung pH-Werte: Da Alanin überwiegend als Zwitterion vorliegt (mit annähernd gleicher Basenstärke der Carboxylatgruppe im Vergleich zur Säurenstärke der protonierten Aminogruppe), reagiert es kaum mit Wasser, der pH-Wert liegt daher bei 6 – 7:



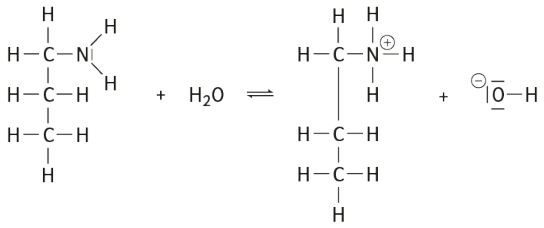
Propansäure reagiert mit Wasser unter Bildung von H_3O^+-Ionen, der pH-Wert ist daher kleiner als 7:



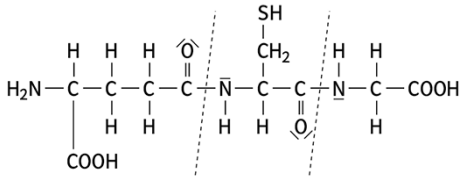
© Ernst Klett Verlag GmbH, Stuttgart 2021 | www.klett.de | Alle Rechte vorbehalten. Von dieser Druckvorlage ist die Vervielfältigung für den eigenen Unterrichtsgebrauch gestattet. Die Kopiergebühren sind abgegolten.

Autorin: Christina Gimbel

1-Aminopropan reagiert mit Wasser unter Bildung von OH^--Ionen, daher ist der pH-Wert größer als 7:



3 Glutathion ist aus den drei Aminosäuren Glutaminsäure, Cystein und Glycin aufgebaut (vgl. die Abbildung unten). Die Aminosäuren sind über Peptidbindungen verbunden, wobei die Glutaminsäure über die Carboxygruppe im Rest gebunden ist.

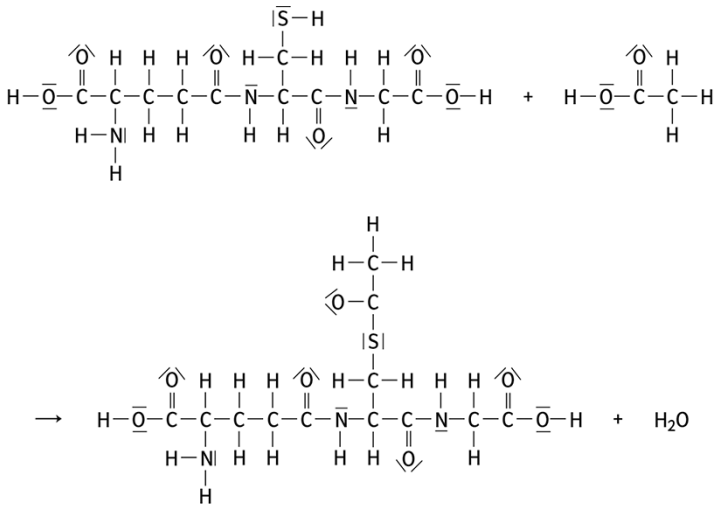


Glutaminsäure Cystein Glycin

Glutamyl-Cysteyl-Glycin

NH_2-Glu-Cys-Gly-COOH

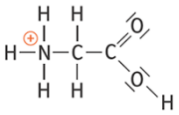
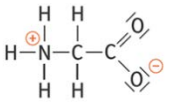
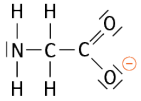
4 Reaktionsgleichung:



Isoelektrischer Punkt

1 Der isoelektrische Punkt ist der pH-Wert, bei dem Aminosäuren als Zwitterionen vorliegen.

2

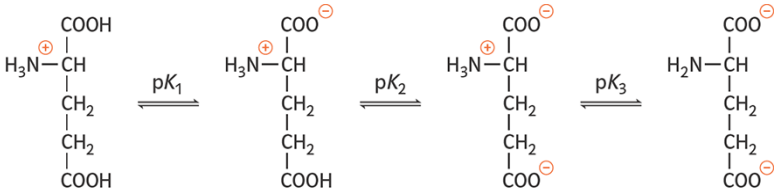
A	B	C
		
Kation	Zwitterion	Anion

3 Der pH-Wert von 6,07 entspricht dem isoelektrischen Punkt einer Glycin-Lösung. Bei diesem pH-Wert liegen die Glycin-Moleküle als Zwitterionen vor. Gleich viele Aminosäure-Moleküle sind an der Aminogruppe protoniert (positive Ladung) und an der Carboxygruppe deprotoniert (negative Ladung). In der Summe ist die elektrische Ladung pro Molekül somit null, das Molekül ist insgesamt neutral. Neutrale Moleküle wandern nicht im elektrischen Feld und deshalb ist auch keine elektrische Leitfähigkeit messbar.

4 Die Titrationskurve von Glycin zeigt den pH-Wert (*y*-Achse) in Abhängigkeit vom Volumen der zugegebenen Natronlauge (*x*-Achse). Bei einem pH-Wert von 1 sind durch die Salzsäure viele H_3O^+-Ionen vorhanden, die das Glycin-Molekül protonieren. Bei diesem pH-Wert liegen deshalb ausschließlich Glycin-Kationen vor. Durch Zugabe von etwas Natronlauge steigt der pH-Wert bis zum ersten Wendepunkt der Kurve bei pH = 2,35. Dies kann durch die zugegebenen OH^--Ionen erklärt werden. Diese führen zum Deprotonieren der Carboxygruppe der Aminosäure-Moleküle, wodurch Zwitterionen gebildet werden. Am ersten Wendepunkt bei pH = 2,35 liegen Glycin-Kationen und Zwitterionen im Verhältnis 1:1 vor. Durch weitere Zugabe von Natronlauge werden immer mehr Glycin-Kationen durch den Anstieg der OH^--Ionen-Konzentration deprotoniert, bis schließlich bei einem pH-Wert von 6,07 ausschließlich Zwitterionen vorliegen. Dies stellt den zweiten Wendepunkt der Kurve dar. Bis zum dritten Wendepunkt bei einem pH-Wert von 9,78 steigt die OH^--Ionen-Konzentration weiter an, wodurch weitere Carboxygruppen deprotoniert werden, bis Zwitter-Ionen und Glycin-Anionen am Wendepunkt im Verhältnis 1:1 vorliegen. Ein großer Überschuss an OH^--Ionen führt zur Deprotonierung aller Carboxy- und Ammoniumgruppen, sodass bei einem pH-Wert von 13 ausschließlich Glycin-Anionen in der Lösung zu finden sind. Die Wendepunkte 1 und 3 entsprechen den pK_S-Werten der Aminosäure für die Amino- bzw. die Carboxygruppe.

5 Aminosäure-Moleküle liegen entweder als Anionen, Kationen oder Zwitterionen vor, sodass die Darstellung ohne Ladung das Molekül nicht genau beschreibt.

6 Da das Glutaminsäure-Molekül über zwei Carboxygruppen verfügt, kann auch jeweils eine solche deprotoniert werden. Die Kurve zeigt deshalb einen Wendepunkt mehr als die Kurve der Titration von Glycin. Anhand der Kurve können also insgesamt drei pK_S-Werte abgelesen werden, einer für die Aminogruppe und einer je Carboxygruppe.
Der isoelektrische Punkt ist in den sauren pH-Bereich verschoben, da die Aminosäure Glutaminsäure über zwei Carboxygruppen verfügt und zu den sauren Aminosäuren zählt.

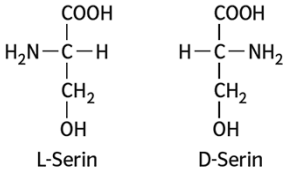


© Ernst Klett Verlag GmbH, Stuttgart 2021 | www.klett.de | Alle Rechte vorbehalten. Von dieser Druckvorlage ist die Vervielfältigung für den eigenen Unterrichtsgebrauch gestattet. Die Kopiergebühren sind abgegolten.

Autorin: Kerstin Hartmann
Illustrator: 2, 6 Lumina Datamatics GmbH, München

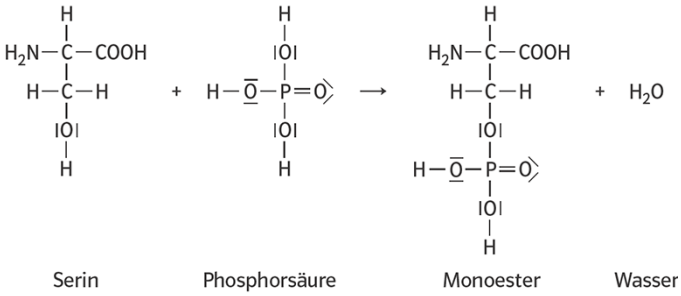
Ei – Eiklar – Eiweiß – Protein!?

1 Strukturformeln:

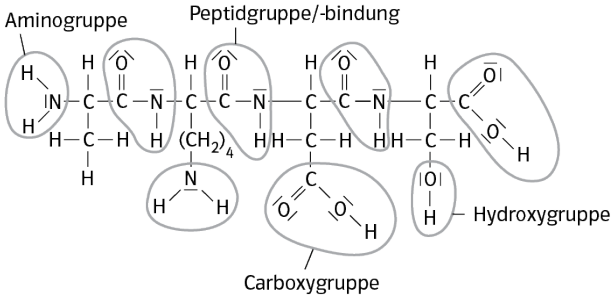


Begriffsdefinitionen: Als Enantiomere werden Moleküle bezeichnet, die wie Bild und Spiegelbild aufgebaut sind. Ein Racemat ist ein Stoffgemisch, in dem die D- und L-Form solcher Moleküle im gleichen Stoffmengenverhältnis vorhanden sind.

2 Reaktionsgleichung:



3



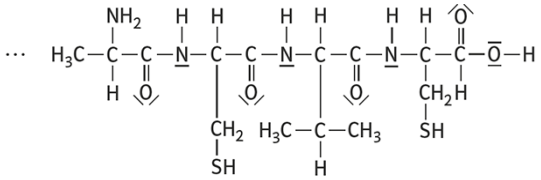
4 Beschreibung: Beim Serin liegt bei pH = 2,3 keine Trübung vor, diese erscheint erst schwach bei pH = 5,4 und ist bei pH = 5,7 am stärksten. Bei pH = 5,9 wird sie wieder schwächer und ist bei pH = 8,0 nicht mehr zu sehen. Beim Ovalbumin erscheint die schwache Trübung bei pH = 4,3 und ist bei pH = 4,5 am stärksten. Sie wird bei pH = 4,8 wieder schwächer und ist bei pH = 7,3 nicht mehr zu erkennen.
Erklärungen:
Serin: Der pH-Wert von 5,7 entspricht dem IEP von Serin, die Serin-Moleküle liegen größtenteils als Zwitterionen vor. Innermolekular kommt es zum Ladungsausgleich, das Molekül besitzt nach außen kaum wirksame Ladung. Daher gibt es kaum Wechselwirkungen zu den Molekülen des Lösungsmittels Wasser, weshalb keine Hydrathüllen ausgebildet werden. Es bildet sich ein Ionengitter zwischen den Molekülen. Dadurch ergibt sich ein fester Aggregatzustand des Stoffes, den man an der Trübung der Lösung erkennen kann.
Ovalbumin: Der pH-Wert von 2,3 liegt im stark sauren Bereich, weshalb fast alle funktionellen Gruppen des Polypeptids in protonierter Form vorliegen. Das Molekül liegt daher in seiner Kationenform vor (ist nach außen positiv geladen) und daher gut hydratisierbar. Es besitzt eine Hydrathülle, weshalb keine Trübung erkannt werden kann.

© Ernst Klett Verlag GmbH, Stuttgart 2021 | www.klett.de | Alle Rechte vorbehalten. Von dieser Druckvorlage ist die Vervielfältigung für den eigenen Unterrichtsgebrauch gestattet. Die Kopiergebühren sind abgegolten.

Autorin: Christina Gimbel
Illustrator: 1, 2, 3 Lumina Datamatics GmbH, München

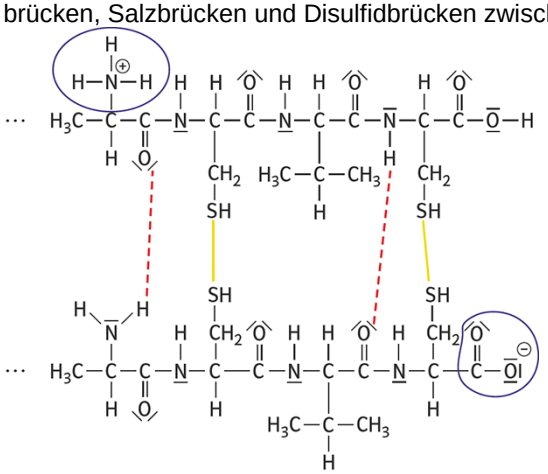
Glatte Haare oder Beach-Waves? Eine Frage der Proteinstruktur

1 Aminosäuren im Chemiebuch recherchieren, Anordnung laut Vorgabe, Peptidbindungen:



2 Entstehung der Beach-Waves:

Durch Wasser werden die Wasserstoffbrücken und Salzbrücken der Proteinfäden gelöst. Werden die Haare um eine Bürste gewickelt und gleichzeitig getrocknet, entstehen die Bindungen an anderer Stelle und verbinden die Proteinfäden unteinander neu. Damit werden die Mikro- und Makrofibrillen verschoben und es kommt zu einer Wellenoptik im Haar. Im Ausschnitt aus Aufgabe 1 können sich Wasserstoffbrücken, Salzbrücken und Disulfidbrücken zwischen diesem und dem (selben) Proteinfaden bilden.



3 Hypothese (Lösungsvorschlag):

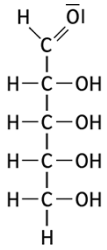
Durch zu starke Hitze können Proteine denaturieren und damit die Haare irreversibel schädigen. Um das zu verhindern, wird eine Schutzschicht aus beispielsweise schnell verdampfenden Stoffen um das Haar gelegt, damit das Keratin nicht überhitzen kann.

© Ernst Klett Verlag GmbH, Stuttgart 2021 | www.klett.de | Alle Rechte vorbehalten. Von dieser Druckvorlage ist die Vervielfältigung für den eigenen Unterrichtsgebrauch gestattet. Die Kopiergebühren sind abgegolten.

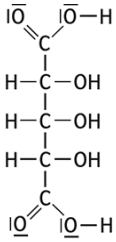
Autorin: Gila Wirth
Illustrator: 1, 2 Lumina Datamatics GmbH, München

Nucleinsäuren – Träger der genetischen Information

1 Fischer-Projektionsformel von D-Ribose:

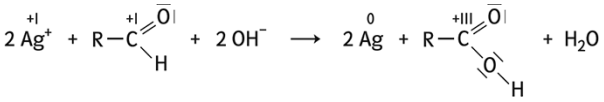


Fischer Projektionsformel von Ribarsäure:



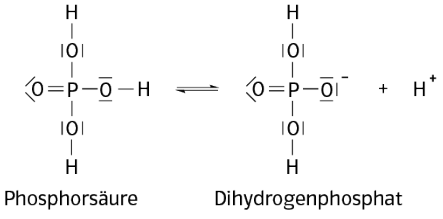
IUPAC-Name von Ribarsäure: 2,3,4-Trihydroxypentandisäure

2 Reaktionsgleichung:

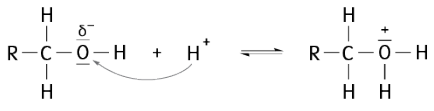


Es handelt sich um eine Redoxreaktion, was man anhand der Oxidationszahlen zeigen kann. Beim Silber sinkt die Oxidationszahl von +I im Silber-Ion auf 0 im Silber-Atom, es wird ein Elektron aufgenommen, weshalb es sich hier um die Reduktion handelt. Die Oxidation findet am C-Atom der Ribose statt, die Oxidationszahl steigt von +I auf +III, was einer Abgabe von zwei Elektronen entspricht.

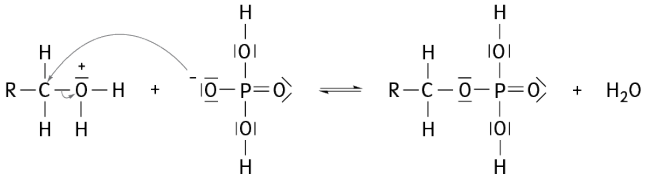
3 Reaktionsschritte:



Phosphorsäure Dihydrogenphosphat



Ribose Oxonium-Ion

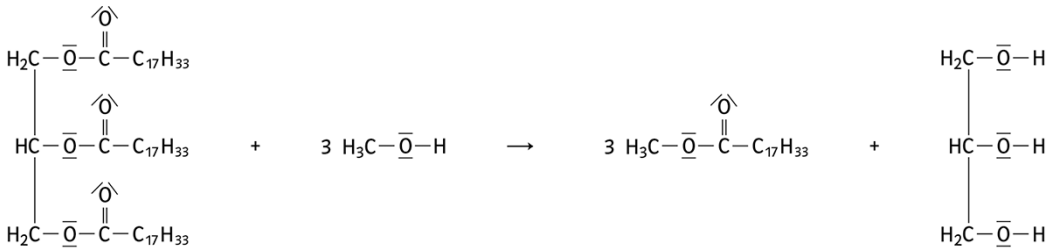


© Ernst Klett Verlag GmbH, Stuttgart 2021 | www.klett.de | Alle Rechte vorbehalten. Von dieser Druckvorlage ist die Vervielfältigung für den eigenen Unterrichtsgebrauch gestattet. Die Kopiergebühren sind abgegolten.

Autorin: Christina Gimbel
Illustrator: 1, 2, 3 Lumina Datamatics GmbH, München

Biodiesel aus Pflanzenöl

1



Triglycerid/Triacylglycerin
Glycerin (Propantriol)
ist hier mit Ölsäure verestert

Methanol

Fettsäuremethylester (FAME)
Ölsäuremethylester

Glycerin

2 **Kurve A**: Dies ist die Kurve der *Ausgangsstoffe* (Edukte), also der Triglyceride. Ihre Konzentration beginnt hoch und sinkt im Verlauf der Reaktion ab.
Kurve B: Diese Kurve stellt die Konzentration der *Zwischenprodukte*, also der Teil-Glyceride, dar. Während des Reaktionsverlaufs werden schrittweise die Fettsäure-Moleküle aus den Triglyceriden freigesetzt, so dass die Konzentration an Di- und Monoglyceriden zunächst bis zu einem maximalen Wert ansteigt, um im Laufe der weiteren Reaktion (der Entstehung des Methylesters) wieder abzufallen.
Kurve C: Hier wird die Konzentration des Endprodukts FAME (Methylester) dargestellt. Die Konzentration beginnt bei 0 und steigt im Verlauf der Reaktion kontinuierlich an, da immer mehr FAME gebildet wird.

3 Die Viskosität eines Stoffes wird durch zwischenmolekulare Wechselwirkungen hervorgerufen.
- Den niedrigsten Wert hat Dieselkraftstoff. Dieser besteht aus einem Gemisch von Kohlenwasserstoffen, deren Moleküle zwischen 9 und 22 Kohlenstoff-Atome aufweisen. Zwischen den unpolaren Molekülen wirken lediglich London-Kräfte. Diese sind die schwächsten zwischenmolekularen Kräfte und bedingen die niedrige Viskosität.
- Rapsöl und FAME bilden als Ester zusätzlich die etwas stärkeren Dipol-Dipol-Kräfte aus, was zu einem Anstieg der Viskosität führt.
- Die wesentlich höhere Viskosität des Rapsöls im Vergleich zum FAME lässt sich durch die etwa dreimal so große Moleküloberfläche der Fett-Moleküle begründen.

Hinweis:

Nach heutigem Verständnis werden die Van-der-Waals-Kräfte in drei Teilbereiche aufgeteilt:

- *die Dipol-Dipol-Kräfte (Keesom-Kräfte genannt, nach WILLEM KEESOM, 1876 - 1956)*
- *die Dipol-induzierter-Dipol-Kräfte (Debye-Kräfte genannt, nach PETER DEBYE, 1884 – 1966)*
- *die Induzierter-Dipol-induzierter-Dipol-Kräfte (London-Kräfte, nach FRITZ LONDON, 1900 – 1954)*

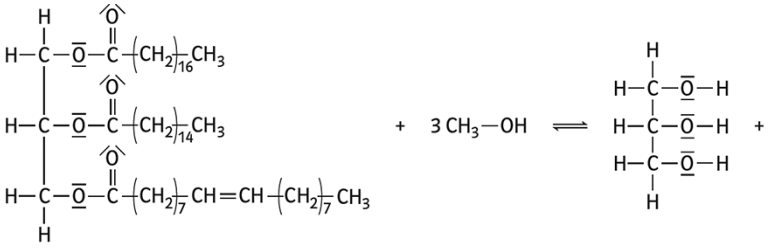
Die London-Kräfte werden oft auch als Van-der-Waals-Kräfte im engeren Sinne bezeichnet.

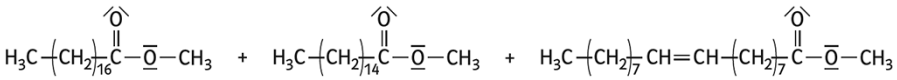
© Ernst Klett Verlag GmbH, Stuttgart 2021 | www.klett.de | Alle Rechte vorbehalten. Von dieser Druckvorlage ist die Vervielfältigung für den eigenen Unterrichtsgebrauch gestattet. Die Kopiergebühren sind abgegolten.

Fettersatzstoffe

1 Das Triglycerid in B4 besteht (wie alle Lipide) aus einem Molekül Glycerin (Propantriol), das mit drei Molekülen Fettsäuren verestert ist. In diesem Beispiel handelt es sich um die Fettsäuren Stearinsäure, Palmitinsäure und Ölsäure.

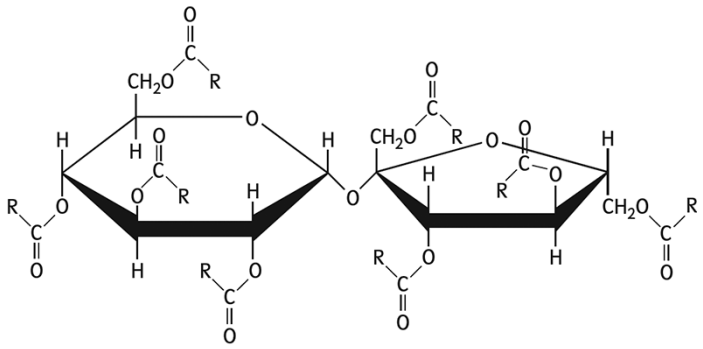
2 Reaktionsgleichung:





3

Fettsäure wird abgekürzt als :



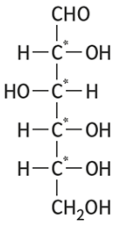
© Ernst Klett Verlag GmbH, Stuttgart 2021 | www.klett.de | Alle Rechte vorbehalten. Von dieser Druckvorlage ist die Vervielfältigung für den eigenen Unterrichtsgebrauch gestattet. Die Kopiergebühren sind abgegolten.

Autorin: Christina Gimbel
Illustrator: 2, 3 Lumina Datamatics GmbH, München

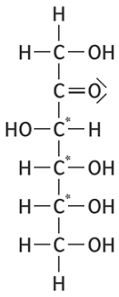
Medikamente aus Pflanzen

1 Benennen der Monosaccharide: α-D-Glucose, β-D-Fructose; Verknüpfung: α,β-1,2-glycosidische Bindung

Fischer-Projektionsformeln: Glucose:

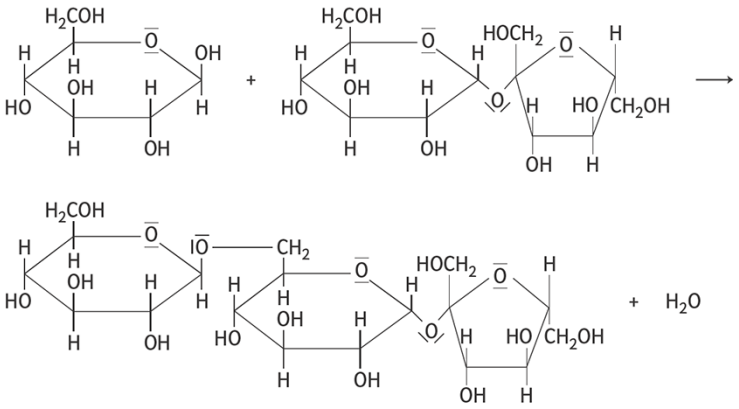


Fructose:

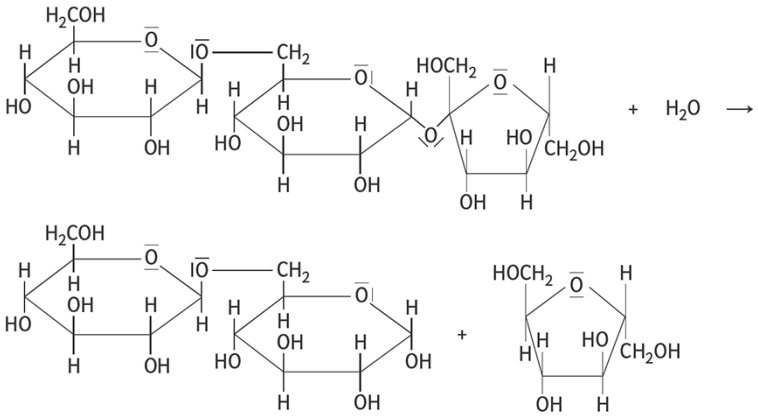


Stoffklassen: Glucose ist eine Aldose (Aldehyd), Fructose eine Ketose (Keton); beides sind Hexosen.

2 Reaktionsgleichung:



3 Reaktionsgleichung:



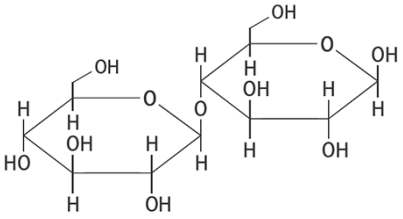
4 Begründung: Saccharose ist nicht reduzierend, da beide anomere Kohlenstoff-Atome durch die 1,2-gylcosidische Bindung gebunden sind. Eine Ringöffnung zur Bildung einer Aldehydgruppe ist nicht möglich. Gentiobiose wirkt reduzierend, da in einer der beiden Glucose-Einheiten ein nicht gebundenes anomeres Kohlenstoff-Atom vorliegt, hier ist eine Ringöffnung möglich.

© Ernst Klett Verlag GmbH, Stuttgart 2021 | www.klett.de | Alle Rechte vorbehalten. Von dieser Druckvorlage ist die Vervielfältigung für den eigenen Unterrichtsgebrauch gestattet. Die Kopiergebühren sind abgegolten.

Autorin: Christina Gimbel
Illustrator: 1, 2, 3 Lumina Datamatics GmbH, München

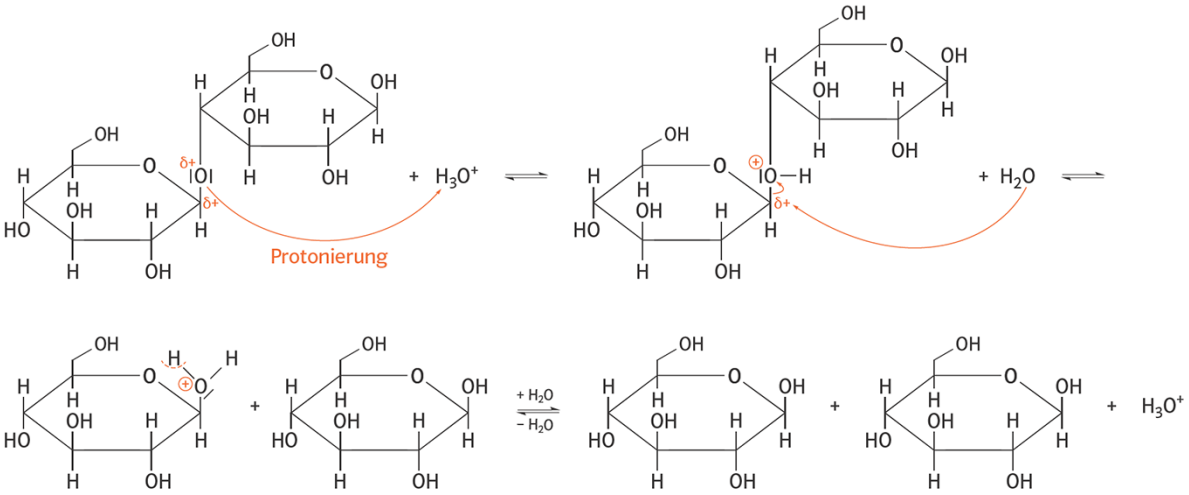
Cellulose

1 Haworth-Projektion der Cellobiose:

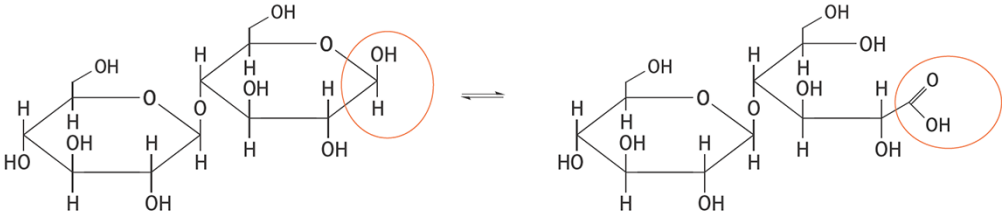


Zwischen den beiden Glucose-Einheiten wird eine β-1,4-glycosidische Bindung ausgebildet.

2



3 Beim Nachweis der Cellobiose mit der Fehling-Probe wird ein roter Niederschlag sichtbar. Das rote Kupfer(I)-oxid entsteht, wenn die Moleküle des überprüften Stoffes eine Aldehyd-Gruppe enthalten. Diese ist aus der Strukturformel des Cellobiose-Moleküls zwar nicht direkt ersichtlich, kann aber im alkalischen Milieu (Fehling-II-Lösung enthält Natronlauge) gebildet werden. Eine Glucose-Untereinheit der Cellobiose kann in die offenkettige Form umgewandelt werden und bildet so eine Aldehydgruppe, die während der Fehling-Probe oxidiert wird. Bei der Cellobiose handelt es sich also um einen reduzierenden Zucker.

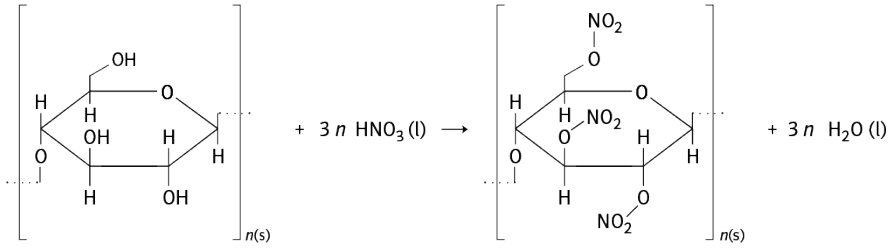


© Ernst Klett Verlag GmbH, Stuttgart 2021 | www.klett.de | Alle Rechte vorbehalten. Von dieser Druckvorlage ist die Vervielfältigung für den eigenen Unterrichtsgebrauch gestattet. Die Kopiergebühren sind abgegolten.

Autorin: Kerstin Hartmann
Illustrator: 1, 2, 3 Lumina Datamatics GmbH, München

4 Aufgrund der vorliegenden α-1,4-Verknüpfung im Cellulose-Molekül bildet die Cellulose ein langgestrecktes Molekül, da die Glucose-Einheiten jeweils um 180° gedreht miteinander verbunden sind.
Durch außen liegende Hydroxygruppen können zwischen zwei nebeneinander liegenden Cellulose-Molekülen Wasserstoffbrücken ausgebildet werden, wodurch die Nanofibrillen gebildet werden.

5



Oder: $[C_6H_{10}O_5]_n(s) + 3\ n\ HNO_3(l) \rightarrow [C_6H_7O_2(O\text{-}NO_2)_3]_n(s) + 3\ n\ H_2O(l)$

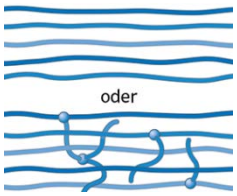
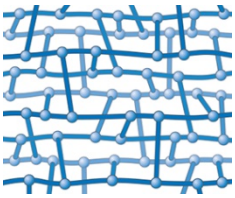
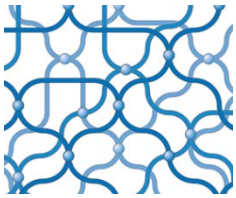
Es handet sich um einen Salpetersäurester der Cellulose.

(Anmerkung: Die Schwefelsäure protoniert die Salpetersäure, die dann zu Wasser und einem Nitronium-Ion dissoziiert. Vereinfacht kann die Schwefelsäure als Katalysator betrachtet und muss in der Reaktionsgleichung nicht berücksichtigt werden.)

© Ernst Klett Verlag GmbH, Stuttgart 2021 | www.klett.de | Alle Rechte vorbehalten. Von dieser Druckvorlage ist die Vervielfältigung für den eigenen Unterrichtsgebrauch gestattet. Die Kopiergebühren sind abgegolten.

Autorin: Kerstin Hartmann
Illustrator: 5 Lumina Datamatics GmbH, München

Kunststofftypen GK

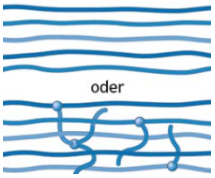
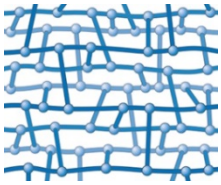
Kunststofftyp (Name)	Thermoplast	Duromer	Elastomer
Strukturausschnitt (schematisch)			
Eigenschaften (Stoff)	schmelzbar bei Erwärmung, daher dauerhaft verformbar	nicht schmelzbar (zersetzen sich bei starker Erhitzung), spröde, relativ hart	gummielastisch (rückstellend), nicht dauerhaft verformbar
Beschreibung Aufbau (auf molekularer Ebene)	lineare bzw. wenig verzweigte Moleküle, nicht bzw. sehr wenig miteinander verknüpfte Polymerketten, teilweise kristallin oder amorph	stark verknüpftes, dreidimensionales Polymernetz	punktuell miteinander verknüpfte Polymerketten, weitmaschig, dreidimensional vernetzt
Beispiele	PVC (Polyvinylchlorid), PE (Polyethylen), PTFE (Polytetrafluorethen), PP (Polypropen), ABS (Acrylnitril-Butadien-Styrol), PET (Polyethylentereph-thalat), Polycarbonate, Polyamide	Epoxidharze, Polyesterharze, synthetischer Kautschuk	Silikonkautschuke, PUR (Polyurethan)
Beispiel Anwendungsbereich bzw. Produkt	Verpackungsmaterialien (Folien), Beläge, Gehäuse von Geräten	Reifen, Dichtstoffe	Lichtschalter, Schutzmanschetten

© Ernst Klett Verlag GmbH, Stuttgart 2021 | www.klett.de | Alle Rechte vorbehalten. Von dieser Druckvorlage ist die Vervielfältigung für den eigenen Unterrichtsgebrauch gestattet. Die Kopiergebühren sind abgegolten.

Autorin: Christina Gimbel
Illustrator: Alfred Marzell, Schwäbisch Gmünd

Eigenschaften und Struktur der Kunststoffe LK

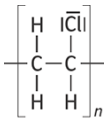
1

Kunststofftyp (Name)	Thermoplast	Duromer	Elastomer
Strukturausschnitt (schematisch)			
Struktureigenschaften	• lineare oder wenig verzweigte Moleküle • teilweise kristallin oder amorph	• dreidimensional vernetzte Moleküle	weitmaschig dreidimensional vernetzte Moleküle
Stoffeigenschaften	Thermoplaste schmelzen beim Erwärmen	Duromere sind spröde, aber relativ hart	Elastomere sind gummielastisch (rückstellend)

2 a) Zwischen den linearen oder wenig verzweigten Polymerketten können London-Kräfte, Dipol-Dipol-Kräfte, Wasserstoffbrücken (und Ionenbindungen) wirken.

b) Da in den teilkristallinen Kunststoffen Polymerketten parallel ausgerichtet vorliegen, können die zwischenmolekularen Kräfte besser wirksam werden als in amorphen Kunststoffen, in denen die Polymerketten verknäult vorliegen.

3 Bei der äußeren Weichmachung liegen große Moleküle zwischen den linearen oder wenig verzweigten Polymerketten vor. Bei der inneren Weichmachung sind größere Monomere Bestandteile der Polymerketten. Beide Formen der Weichmachung bewirken, dass die zwischenmolekularen Kräfte weniger gut wirksam, also geschwächt werden. Dieses führt dazu, dass die Härte eines Kunststoffes verringert wird, er also weicher wird.

4 

Kettenausschnitt Polyvinylchlorid (PVC)

Die Molekülketten des Polyvinylchlorids besitzen an jedem zweiten Kohlenstoff-Atom ein Chlor-Atom. Da Cl-Atome deutlich elektronegativer als C-Atome sind, ist die C-Cl-Bindung polar. Dies bewirkt eine größere Anziehung zwischen den einzelnen Ketten. Außerdem ist ein Chlor-Atom sehr groß. Die langen Polymerketten sind damit sperriger und gleiten nicht so leicht aneinander vorbei. Dies bewirkt insgesamt eine hohe Festigkeit des Kunststoffs.

© Ernst Klett Verlag GmbH, Stuttgart 2021 | www.klett.de | Alle Rechte vorbehalten. Von dieser Druckvorlage ist die Vervielfältigung für den eigenen Unterrichtsgebrauch gestattet. Die Kopiergebühren sind abgegolten.

Autor: Paul Gietz
Illustratoren: 1 Alfred Marzell, Schwäbisch Gmünd; 4 Lumina Datamatics GmbH, München

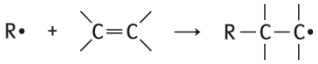
Polyethen – aus dem Alltag kaum wegzudenken

1 Erzeugung von Startradikalen

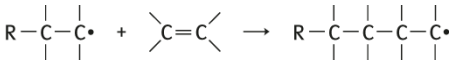
bzw. $R-R \longrightarrow R\cdot + \cdot R$

$R\cdot = C_6H_5-COO\cdot$
Benzoylradikal

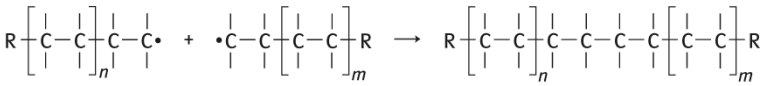
1. Kettenstart (Erzeugung von Monomer-Radikalen):



2. Kettenwachstum (Verlängerung der „Radikalkette“):

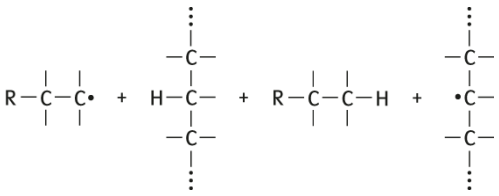


3. Kettenabbruch (Zusammenschluss von Radikalen):



2 *individuelle Lösung:* Beispiel:

Kettenverzweigung (Nebenreaktion)



Das gebildete Radikal kann wie im Schritt 2 Kettenwachstum (vgl. Aufgabe 1) mit einem Monomer reagieren und auf diese Weise verzweigte Molekülketten bilden.

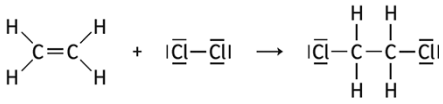
3 Bei Polyethen muss es sich um einen Thermoplast handeln. Das Monomer besitzt nur eine Doppelbindung, welche bei der Verknüpfung zum Polymer aufgebrochen wird. Somit steht im Polymer keine funktionelle Gruppe mehr zur Verfügung, über die eine Quervernetzung zwischen mehreren Polymer-Molekülen erfolgen könnte. Diese wären allerdings zur Bildung von Elastomeren und Duromeren notwendig. Nur Thermoplaste bestehen aus nicht quervernetzten Molekülen.

© Ernst Klett Verlag GmbH, Stuttgart 2020 | www.klett.de | Alle Rechte vorbehalten. Von dieser Druckvorlage ist die Vervielfältigung für den eigenen Unterrichtsgebrauch gestattet. Die Kopiergebühren sind abgegolten.

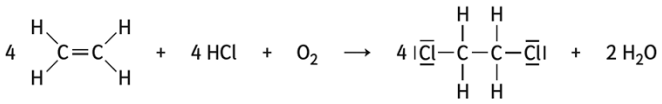
Autorin: Christina Gimbel

PVC – ein Produkt der Großtechnik

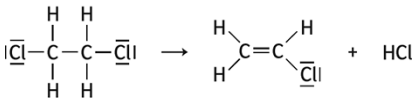
1 Direktchlorierung:



Oxychlorierung:

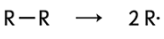


Vinylchlorid aus Dichlorethan:

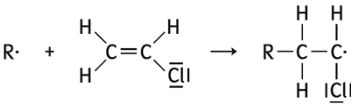


2 PVC kann durch eine radikalische Polymerisation gewonnen werden.
Reaktionsschritte:

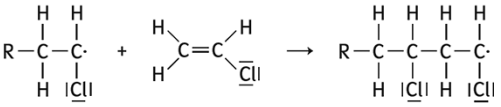
Erzeugung von Startradikalen:



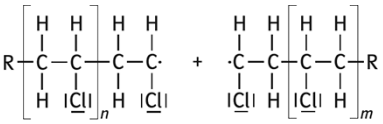
1. Kettenstart (Erzeugung von Monomer-Radikalen):

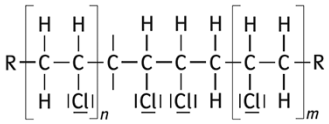


2. Kettenwachstum (Verlängerung der „Radikalkette“):

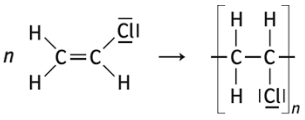


3. Kettenabbruch (Reaktion von Radikalen untereinander):





Vom Monomer zum Polymer:



© Ernst Klett Verlag GmbH, Stuttgart 2021 | www.klett.de | Alle Rechte vorbehalten. Von dieser Druckvorlage ist die Vervielfältigung für den eigenen Unterrichtsgebrauch gestattet. Die Kopiergebühren sind abgegolten.

Autor: Paul Gietz
Illustrator: Lumina Datamatics GmbH, München

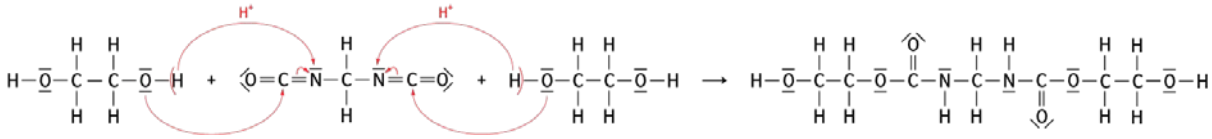
Der Reaktionsmechanismus der Polymerisation verläuft über Radikale und ist eine Kettenreaktion. Darunter versteht man eine sich vielfach wiederholende gleichschrittige Reaktionsfolge. Die Reaktion wird durch Start-Radikale in Gang gesetzt. Anschließend erfolgt die Kettenreaktion: Im ersten Schritt *(Kettenstart)* spaltet ein Radikal die Doppelbindung eines Monomer-Moleküls auf und bindet an dieser Stelle, wobei ein verlängertes Radikal entsteht. Dieses Radikal reagiert mit einem weiteren Monomer-Molekül unter Kettenverlängerung *(Kettenwachstum)*. Die Reaktion setzt sich so lange fort, bis zwei Radikale aufeinandertreffen und aus ihren beiden ungepaarten Elektronen eine Elektronenpaarbindung bilden. Dabei entsteht ein Teilchen, das kein Radikal und somit nicht mehr reaktiv ist, d. h., es kommt zum *Kettenabbruch*. Durch die Zufälligkeit der Abbruchreaktionen entstehen Ketten unterschiedlicher Länge. Daher kann nur eine mittlere Molekülmasse des Polymerisats angegeben werden. Diese ist von der Häufigkeit der Abbruchreaktion abhängig. Über die Menge an Starter, die Temperatur und durch Zusatzstoffe kann der Polymerisationsgrad gesteuert werden.

3 Der Ausgangsstoff Vinylchlorid ist als krebserzeugend der Kategorie K1A eingestuft.
K1A: Stoffe, die auf den Menschen bekanntermaßen karzinogen wirken. Der Kausalzusammenhang zwischen der Exposition eines Menschen gegenüber dem Stoff und der Entstehung von Krebs ist ausreichend nachgewiesen.
Im Bereich der PVC-Herstellung traten in den 1970er Jahren bei Beschäftigten krankhafte Veränderungen an Haut, Knochen, Gefäßen, Leber und Blutbild auf. Ursächlich waren schlechte Arbeitsschutzbedingungen. Mit Hilfe apparativer und individueller Sicherheitsmaßnahmen ist heute eine erhöhte Arbeitsplatzkonzentration an Vinylchlorid und seinen Metaboliten in den Industrieländern unwahrscheinlich und das Erscheinungsbild der Vinylchloridkrankheit ist in den Hintergrund gerückt. Da die PVC-Herstellung in Schwellenländern an Bedeutung gewinnt, in welchen Arbeitsschutz und -hygiene nicht immer den (arbeitsmedizinischen) notwendigen Standards entsprechen, werden Vinylchloriderkrankungen auch in Zukunft weiterhin präsent sein.
Weich-PVC enthält häufig gesundheitsschädliche Weichmacher, die es langsam an die Umwelt abgeben kann. Das Recycling von PVC ist durch die Vielzahl der Zusatzstoffe problematisch, bei der Verbrennung können giftige Dioxine entstehen.

© Ernst Klett Verlag GmbH, Stuttgart 2021 | www.klett.de | Alle Rechte vorbehalten. Von dieser Druckvorlage ist die Vervielfältigung für den eigenen Unterrichtsgebrauch gestattet. Die Kopiergebühren sind abgegolten.

Bequeme Mausunterlage dank Polyurethanschaumstoff

1



2

	Polyaddition	Polymerisation	Polykondensation
Reaktionstyp (Prinzip)	*Additionsreaktion von Monomeren mit mindestens 2 verschiedenen funktionellen Gruppen inkl. Doppelbindungen zu Polymeren*	*Additionsreaktion bei C-C-Doppelbindung durch Radikalbildung*	*Kondensationsreaktion zur Bildung großer Moleküle durch Abspaltung von kleinen Molekülen*
Mechanismus	*Protonenübertragung innerhalb der Moleküle zu Makromolekül ohne Abspaltung von kleineren Molekülen*	– *Kettenstart durch Monomerradikal Erzeugung:* – *Kettenwachstum: Radikal reagiert mit Alken* – *Kettenabbruch: 2 Radikale treffen aufeinander*	*Abspaltung von Proton und OH^--Gruppe zu Wasser ergibt großes Molekül* *oder* *Abspaltung von Proton und Chlorid-Anion zu Chlorwasserstoff ergibt großes Molekül*
Beispiele Monomere – Polymer	*2 Diole + Diisocyanat → Polyurethan*	*Ethen → Polyethen (PE)* *Vinylchlorid → Polyvinylchloird (PVC)*	*Ethandiol + Terephthalsäure → Polyethylenterephthalat (PET)* *Diamin + Dicarbonsäure → Polyamid, z. B. Perlon (R)*

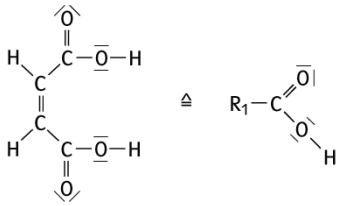
© Ernst Klett Verlag GmbH, Stuttgart 2021 | www.klett.de | Alle Rechte vorbehalten. Von dieser Druckvorlage ist die Vervielfältigung für den eigenen Unterrichtsgebrauch gestattet. Die Kopiergebühren sind abgegolten.

Autorin: Gila Wirth
Illustrator: 1 Lumina Datamatics GmbH, München

Ungesättigte Polyesterharze – UP-Gießharze

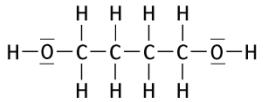
1 Fumarsäure: (*E*)-But-2-endisäure; Maleinsäure: (*Z*)-But-2-endisäure

2

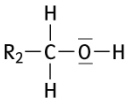


≙

Maleinsäure

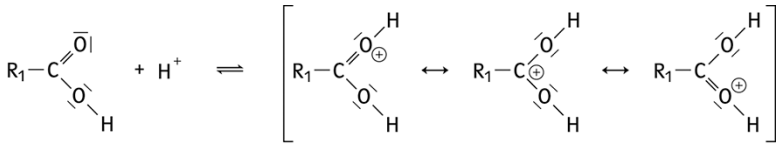


≙

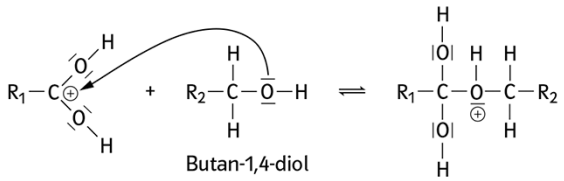


Butan-1,4-diol

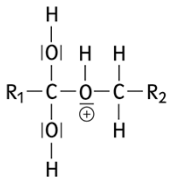
Reaktionsmechanismus:



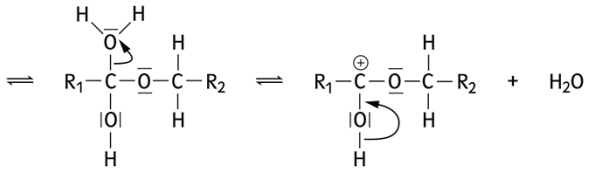
Maleinsäure Proton Carbo-Kation



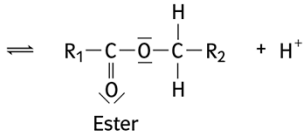
Butan-1,4-diol



Oxonium-Ion



Carbo-Kation

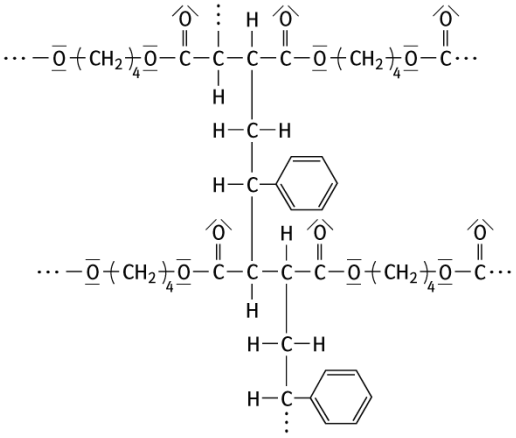


Ester

© Ernst Klett Verlag GmbH, Stuttgart 2021 | www.klett.de | Alle Rechte vorbehalten. Von dieser Druckvorlage ist die Vervielfältigung für den eigenen Unterrichtsgebrauch gestattet. Die Kopiergebühren sind abgegolten.

Autorin: Christina Gimbel

3 Vorgang des Aushärtens: radikalische Polymerisation
Strukturformel-Ausschnitt:

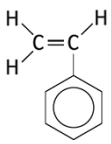


4 Der im ersten Schritt entstehende Polyester besteht aus linearen Molekülen. Diese Molekülketten werden lediglich durch zwischenmolekulare Kräfte zusammengehalten. Es handelt sich dementsprechend um einen Thermoplast, der sich beim Erwärmen verformen lässt. Beim Aushärten werden die Molekülketten über die Styrol-Moleküle untereinander quervernetzt. Es entsteht ein Duromer, das sich beim starken Erwärmen zersetzt, ohne vorher weich bzw. verformbar zu werden.

© Ernst Klett Verlag GmbH, Stuttgart 2021 | www.klett.de | Alle Rechte vorbehalten. Von dieser Druckvorlage ist die Vervielfältigung für den eigenen Unterrichtsgebrauch gestattet. Die Kopiergebühren sind abgegolten.

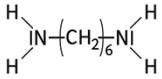
Polymerisat oder Polykondensat?

1 a)

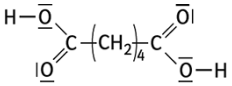


Styrol
(Styren, Phenylethen)

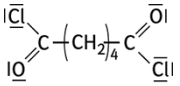
b)



1,6-Diaminohexan
(Hexamethylendiamin)

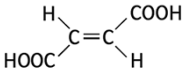


Hexandisäure
(Adipinsäure)

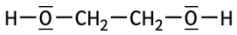


Hexandisäuredichlorid
(Adipinsäuredichlorid)

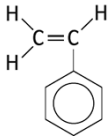
c)



(*E*)-Butendisäure
(trans-Butendisäure)
(Fumarsäure)

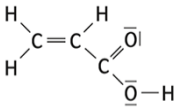


Ethandiol
(Ethylenglycol)

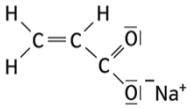


Styrol
(Styren, Phenylethen)

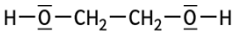
d)



Acrylsäure

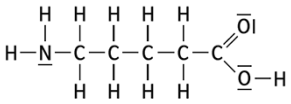


Natriumacrylat



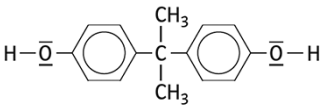
Ethandiol (Ethylenglycol)

e)

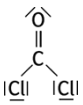


5-Aminopentansäure

f)



Bisphenol A



Phosgen
(Kohlensäuredichlorid, Carbonylchlorid)

© Ernst Klett Verlag GmbH, Stuttgart 2021 | www.klett.de | Alle Rechte vorbehalten. Von dieser Druckvorlage ist die Vervielfältigung für den eigenen Unterrichtsgebrauch gestattet. Die Kopiergebühren sind abgegolten.

Autor: Paul Gietz
Illustrator: 1a, 1b, 1c, 1d rechts, 1e, 1f Lumina Datamatics GmbH, München

1 a) Styrol-Moleküle weisen eine C=C-Doppelbindung auf, Polystyrol lässt sich durch eine Polymerisation gewinnen.

b) 1,6-Diaminohexan weist zwei Aminogruppen als funktionelle Gruppen auf, Hexandisäure (Hexandisäuredichlorid) weist zwei Carboxygruppen (Carboxychloridgruppen) auf. Die beiden Molekülsorten reagieren in einer Polykondensation miteinander zu einem Polyamid.

c) (*E*)-Butendisäure und Ethandiol können über ihre Carboxy- bzw. Hydroxygruppen miteinander zu einem Polyester reagieren. Die (*E*)-Butendisäure weist noch eine C=C-Doppelbindung auf, sodass in einer Polymerisationsreaktion die Polyesterketten miteinander vernetzt werden können.

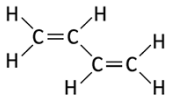
d) Das Acrylsäure-Molekül und das Acrylat-Anion weisen jeweils eine C=C-Doppelbindung auf. Diese Teilchen bilden in einer Polymerisationsreaktion Polymerketten, die über der Carboxygruppe der Acrylsäure mit Ethandiol-Molekülen in einer Kondensationsreaktion miteinander vernetzt werden können.

e) Die Aminopentansäure-Moleküle können untereinander in einer Polykondensationsreaktion kettenförmige Polyamide bilden.

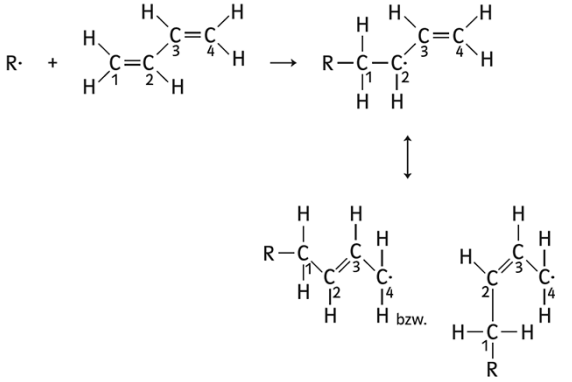
f) Das Bisphenol A ist ein Diol, das mit Phosgen in einer Polykondensationsreaktion Polycarbonate bilden kann.

2 Die Kunststoffe a, b, e und f, die aus langkettigen Makromolekülen bestehen, sind Thermoplaste. Zwischen den Makromolekülen herrschen im Wesentlichen London-Kräfte bei a) Polystyrol. Bei b) und e) herrschen zwischen den Ketten der Polyamide London-Kräfte, Dipol-Dipol-Wechselwirkungen und Wasserstoffbrücken. Bei f) wirken London-Kräfte und Dipol-Dipol-Wechselwirkungen.
Bei c) und d) liegen vernetzte Makromoleküle vor. Je nach dem Vernetzungsgrad handelt es sich um Duromere oder Elastomere.

3 a) Bei dem Monomer, aus dem die vier unterschiedlichen Makromoleküle gebildet werden, handelt es sich um Buta-1,3-dien.



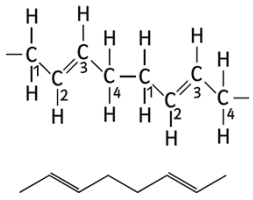
b) Das Buta-1,3-dien-Molekül weist zwei C=C-Doppelbindungen auf. Die Moleküle können in einer Polymerisationsreaktion miteinander Makromoleküle bilden. Buta-1,3-dien kann unter C1-C4- oder C1-C2-Bindungsknüpfung zu 1,4- bzw. 1,2-Polybutadien polymerisiert werden. Verläuft die Polymerisation stereospezifisch, bildet sich entweder (*Z*)- bzw. cis- oder (*E*)- bzw. trans-1,4-Polybutadien bzw. iso- oder syndiotaktisches 1,2-Polybutadien:



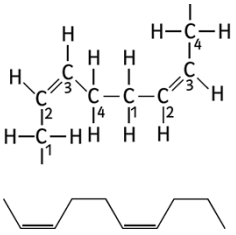
© Ernst Klett Verlag GmbH, Stuttgart 2021 | www.klett.de | Alle Rechte vorbehalten. Von dieser Druckvorlage ist die Vervielfältigung für den eigenen Unterrichtsgebrauch gestattet. Die Kopiergebühren sind abgegolten.

Autor: Paul Gietz
Illustrator: 3a, 3b Lumina Datamatics GmbH, München

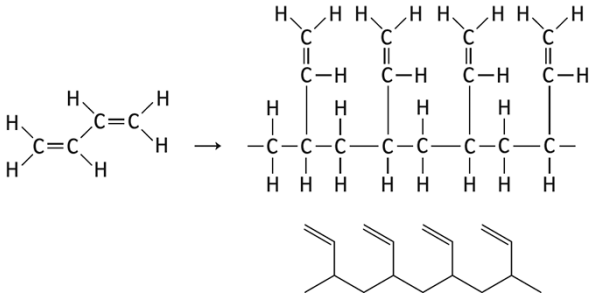
3 b) Bei einer radikalischen Polymerisation kann das radikalische Zentrum von C2 nach C4 wandern, dieses führt bei der Polymerisation zu zwei unterschiedlichen Polymeren. (Bei einer kationischen Polymerisation wandert entsprechend die positive Ladung von C2 nach C4.)



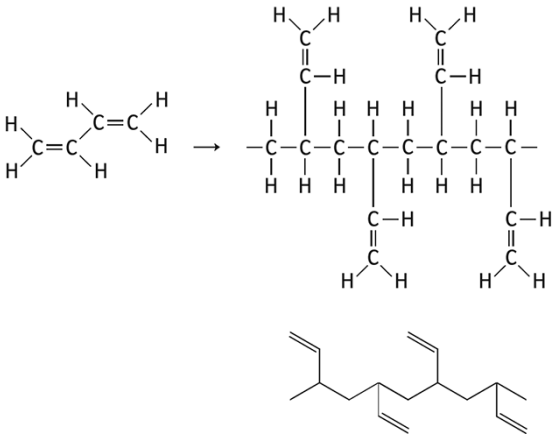
(*E*)- bzw. trans-1,4-Polybutadien



(*Z*)- bzw. cis-1,4-Polybutadien



Isotaktisches 1,2-Polybutadien



syndiotaktisches 1,2-Polybutadien

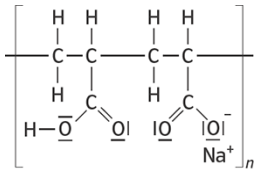
© Ernst Klett Verlag GmbH, Stuttgart 2021 | www.klett.de | Alle Rechte vorbehalten. Von dieser Druckvorlage ist die Vervielfältigung für den eigenen Unterrichtsgebrauch gestattet. Die Kopiergebühren sind abgegolten.

Autor: Paul Gietz
Illustrator: 3b Lumina Datamatics GmbH, München

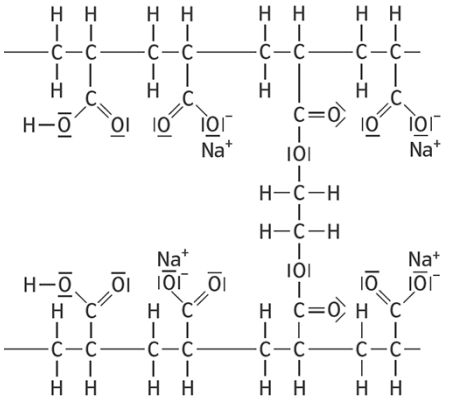
Superabsorber

1 a) Acrylsäure und Natriumacrylat weisen jeweils eine C=C-Doppelbindung auf. Diese Teilchen können in einer Polymerisationsreaktion Polymerketten bilden.

b)

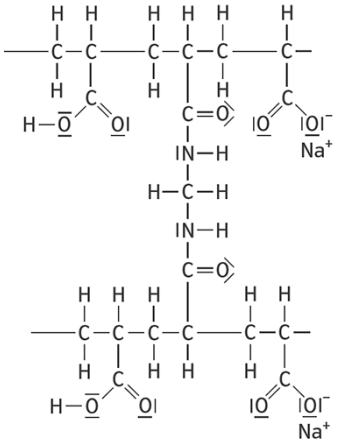


2



Die Vernetzung der linearen Polyacrylat-Ketten erfolgt mit Ethandiol über eine Polykondensation, über die Carboxygruppen des Polyacrylats und Hydroxygruppen des Ethandiols werden Esterbindungen gebildet.

3



Das MBA-Molekül weist zwei C=C-Doppelbindungen auf. Über diese kann mit den Acrylsäure-Molekülen und den Acrylat-Ionen eine Polymerisation erfolgen.

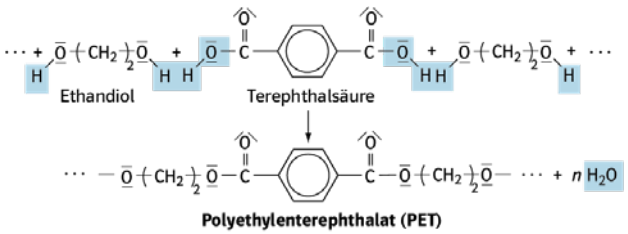
4 Das Polyacrylat weist negativ geladene Carboxylat-Gruppen und positiv geladene Natrium-Ionen auf. Kommt das Polyacrylat mit Wasser in Berührung, werden die Carboxylat-Gruppen und die Natrium-Ionen von Wasser-Molekülen umhüllt (hydratisiert), dabei spreizt sich auch das Polyacrylatnetz. Das hydratisierte Polyacrylat nimmt einen größeren Raum ein als das eingesetzte unhydratisierte Polyacrylat.

© Ernst Klett Verlag GmbH, Stuttgart 2021 | www.klett.de | Alle Rechte vorbehalten. Von dieser Druckvorlage ist die Vervielfältigung für den eigenen Unterrichtsgebrauch gestattet. Die Kopiergebühren sind abgegolten.

Autor: Paul Gietz
Illustrator: Lumina Datamatics GmbH, München

Kunststoffflaschen und Kunstfasern aus PET

1 a)



Terephthalsäure und Ethandiol reagieren zu einem Polyester, dabei entsteht als Nebenprodukt Wasser (Kondensationsreaktion). Das Strukturmerkmal des Reaktionsproduktes ist die Estergruppe.

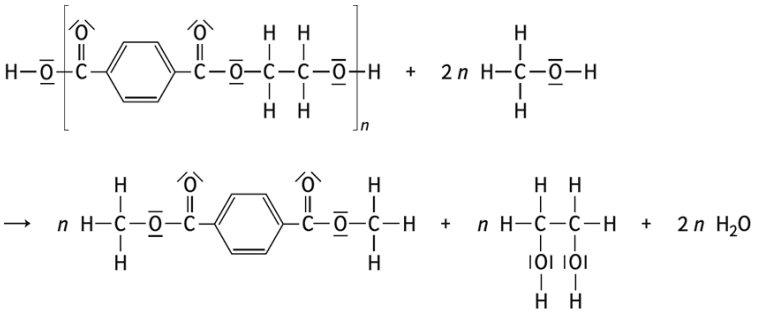
b) Zur Bildung eines Polyesters müssen die Ausgangsmoleküle der Carbonsäure mindestens zwei Carboxygruppen und die Ausgangsmoleküle des Alkohols mindestens zwei Hydroxygruppen aufweisen. Es kann auch ein Carbonsäurederivat (z. B. Carbonsäurechlorid) anstelle einer Carbonsäure eingesetzt werden. Die Moleküle dieses Derivates müssen aber ebenfalls mindestens zwei entsprechende funktionelle Gruppen aufweisen. Es ist auch möglich, Monomere einzusetzen, die über eine Carboxygruppe (bzw. Derivat) und eine Hydroxygruppe verfügen.

2 Polyethylenterephthalat besteht aus langen, unverzweigten und nicht vernetzten Molekülketten; es gehört damit zu den Thermoplasten. Zwischen den Molekülketten des Polyesters wirken im Wesentlichen London-Kräfte und Dipol-Dipol-Kräfte. Ein solcher Kunststoff lässt sich durch Wärmezufuhr aufschmelzen und thermisch verformen, ohne dass er sich zersetzt. Diese Vorteile machen Polyethylenterephthalat zur Herstellung der Preforms mithilfe des Extruders geeignet.

3 a)

Verwertungs-verfahren	**Werkstoffliche Verwertung (Einschmelzen)**	**Rohstoffliche Verwertung**	**Energetische Verwertung (Verbrennen)**
Vorteile	Ausgangsstoff für neue Kunststoffe (z. B. Fasern, Folien, Flaschen), Einsparung von Rohstoffen	vollständige Verwertbarkeit (auch im Lebensmittelbereich)	hoher Brennwert, kann ohne weitere Bearbeitung direkt verbrannt werden, ersetzt andere Brennstoffe, keine Schadstoffe (Ausnahme Kohlenstoffdioxid)
Nachteile	aufwendig: Zerkleinern, Reinigen, Einschmelzen	hoher energetischer und technischer Aufwand; Methanol wird z. Zt. aus fossilen Rohstoffen gewonnen	Vernichtung wertvoller Werk- und Rohstoffe, Belastung der Atmosphäre durch Kohlenstoffdioxid

b)



Bei der Methanolyse des Polyethylenterephthalats werden Terephthalsäuredimetylester und Ethandiol gebildet. Die Diester (oder nach der Hydrolyse des Diesters die Terephthalsäure und das Ethandiol) können als Ausgangsstoffe zur Gewinnung von Polyethylenterephthalat eingesetzt werden.

© Ernst Klett Verlag GmbH, Stuttgart 2021 | www.klett.de | Alle Rechte vorbehalten. Von dieser Druckvorlage ist die Vervielfältigung für den eigenen Unterrichtsgebrauch gestattet. Die Kopiergebühren sind abgegolten.

Autor: Paul Gietz
Illustrator: 3b Lumina Datamatics GmbH, München

4 Thermoplaste können in zwei Hauptgruppen unterteilt werden: amorph und teilkristallin. Bei den teilkristallinen Thermoplasten liegen die Molekülketten in weiten Bereichen parallel und dicht nebeneinander vor. Die zwischenmolekularen Kräfte können besonders gut wirksam werden. In einem amorphen Kunststoff liegen die Molekülketten verknäult vor. Die zwischenmolekularen Kräfte können weniger gut wirksam werden. Die Dichte von teilkristallinen Kunststoffen ist höher als die von amorphen Kunststoffen, weil die Molekülketten in teilkristallinen Kunststoffen durch ihre parallele Ausrichtung weniger Raum einnehmen, dadurch ist der Quotient aus der Masse und dem Volumen der Molekülketten größer. Durch die stärkeren zwischenmolekularen Kräfte zwischen den Molekülketten der teilkristallinen Kunststoffe wird mehr Wärme benötigt, um die Kunststoffe zu erweichen und zu schmelzen; deshalb sind teilkristalline Kunststoffe formbeständiger als amorphe Kunststoffe. Durch die parallele Ausrichtung der Molekülketten in weiten Bereichen eines teilkristallinen Kunststoffes sind diese Kunststoffe härter als amorphe Kunststoffe.

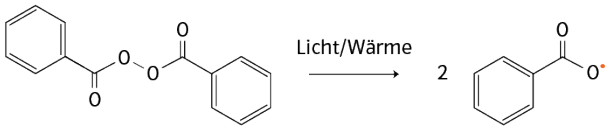
(Generell sind teilkristalline Kunststoffe undurchsichtig oder bei geringer Schichtdicke opak (durchscheinend), amorphe Kunststoffe sind durchsichtig.)

© Ernst Klett Verlag GmbH, Stuttgart 2021 | www.klett.de | Alle Rechte vorbehalten. Von dieser Druckvorlage ist die Vervielfältigung für den eigenen Unterrichtsgebrauch gestattet. Die Kopiergebühren sind abgegolten.

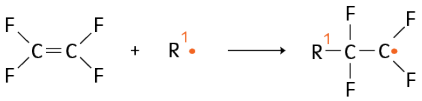
Autor: Paul Gietz

Kunststoffe für Funktionsjacken

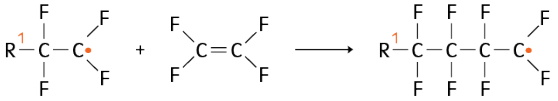
1 Erzeugung von Startradikalen:



Kettenstart:

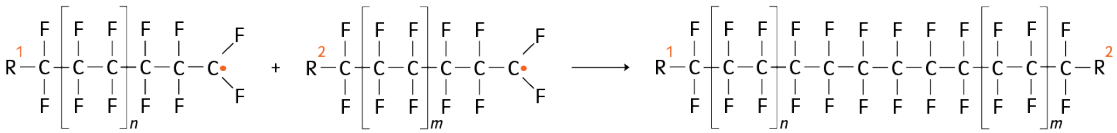


Kettenwachstum:



Kettenabbruch:

z. B.



Bei PTFE handelt es sich um einen Thermoplasten, da die Polymer-Moleküle lineare unvernetzte Ketten bilden.

2 Silikone bestehen auf molekularer Ebene aus unpolaren Alkylresten und der Si-O-Si-Gruppe. Die unpolaren Alkylreste befinden sich um das Grundgerüst aus Sauerstoff- und Silicium-Atomen. Mit den polaren Wasser-Molekülen kann daher keine Wechselwirkung stattfinden. Das Silikon ist wasserabweisend (hydrophob).

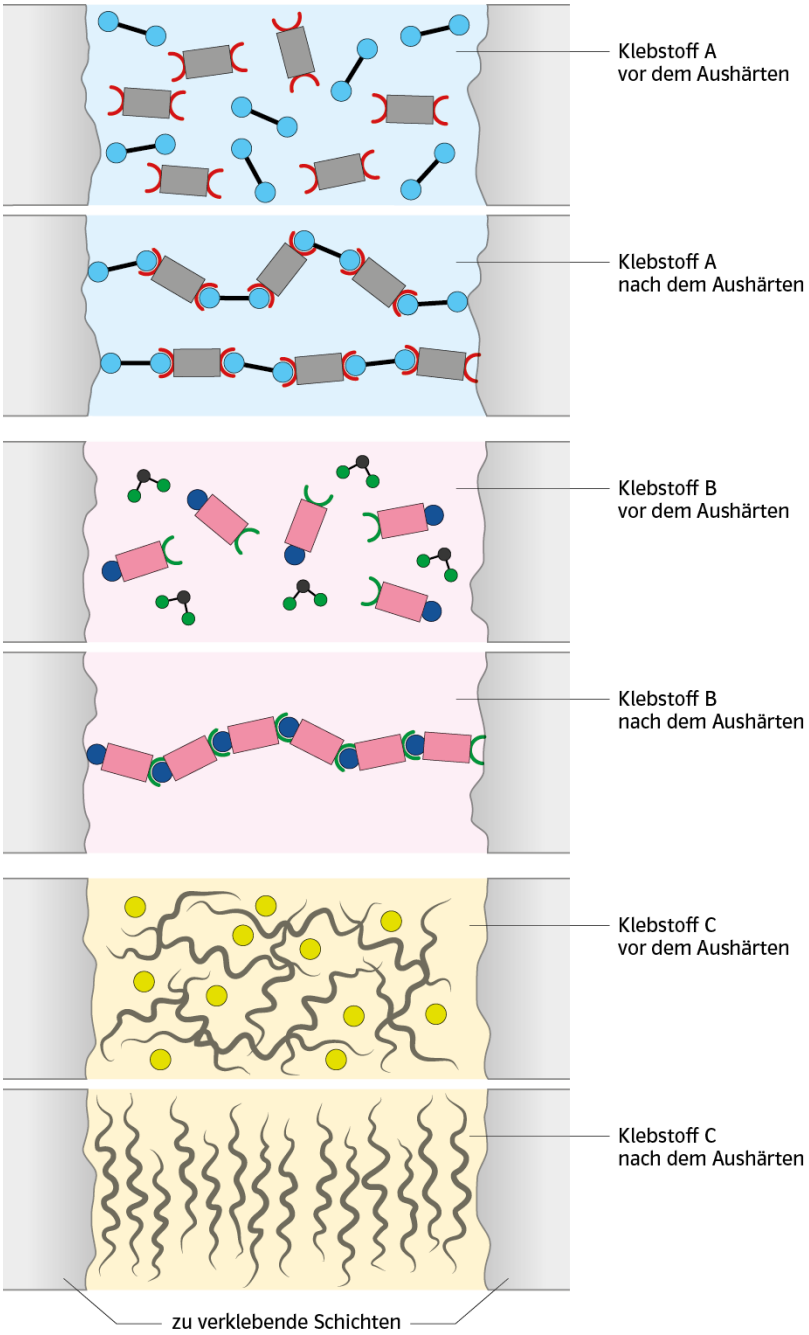
3 *offene Aufgabe, individuelle Lösungen möglich*
Wesentliche Kritikpunkte an per- und polyfluorierten Verbindungen sind die schlechte biologische Abbaubarkeit und die bioakkumulierenden Eigenschaften (die Stoffe reichern sich in tierischen und menschlichen Geweben an).

© Ernst Klett Verlag GmbH, Stuttgart 2021 | www.klett.de | Alle Rechte vorbehalten. Von dieser Druckvorlage ist die Vervielfältigung für den eigenen Unterrichtsgebrauch gestattet. Die Kopiergebühren sind abgegolten.

Autor: Peter Nelle
Illustrator: Lumina Datamatics GmbH, München

Klebstoffe

1



2 Klebstoff A: Zweikomponentenkleber, da zwei verschiedene Ausgangsmoleküle eingesetzt werden.
Klebstoff B: Einkomponentenkleber, da nur ein Ausgangsmolekül an der Aushärtung beteiligt ist.
Klebstoff C: Lösungsmittelklebstoff, da das Lösungsmittel nach dem Aushärten nicht mehr vorhanden ist.

© Ernst Klett Verlag GmbH, Stuttgart 2021 | www.klett.de | Alle Rechte vorbehalten. Von dieser Druckvorlage ist die Vervielfältigung für den eigenen Unterrichtsgebrauch gestattet. Die Kopiergebühren sind abgegolten.

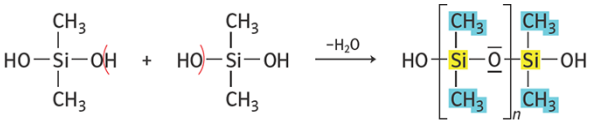
Autorin: Christina Gimbel
Illustrator: Otto Nehren, Achern

3 Klebstoff A: Diamin und Epoxidkomponente. Die Aushärtung erfolgt durch eine chemische Reaktion (Verknüpfung) der beiden Moleküle miteinander.
Klebstoff B: Cyanacrylat (mit Spuren von Wasser). Die Aushärtung erfolgt durch Verknüpfung der Moleküle miteinander. Dies kann geschehen, da die Ausgangsmoleküle über zwei verschiedene funktionelle Gruppen verfügen. Das Wasser ist für die Reaktion erforderlich.
Klebstoff C: Polyvinylacetat, Lösungsmittel: Aceton. Da das Lösungsmittel schnell verdunstet, können die unverzweigten Klebstoff-Moleküle sich geordnet aneinander lagern und die beiden zu verklebenden Schichten über intermolekulare Bindungen miteinander verkleben.

© Ernst Klett Verlag GmbH, Stuttgart 2021 | www.klett.de | Alle Rechte vorbehalten. Von dieser Druckvorlage ist die Vervielfältigung für den eigenen Unterrichtsgebrauch gestattet. Die Kopiergebühren sind abgegolten.

Smartphonehüllen und Implantate, Dichtmasse und Muffinformen

1



Polydimethylsiloxan

2 Elasitizität und wasserabweisende Wirkung sind abhängig von *n*-mal gebundenen Alkylgruppen:
⟶ $-CH_3 \cdot n$

Die Temperaturbeständigkeit wird durch die Silicium-Atome hervorgerufen.

3 Silikone sind weder der anorganischen noch der organischen Stoffgruppe genau zuzuordnen, da sie sich zwar vom Quarz (Siliciumdioxid) ableiten lassen und Silicium-Atome besitzen, die auf eine anorganische Zugehörigkeit hindeuten, allerdings auch organische Reste (Alkylgruppen) besitzen. Deshalb kann man sie auch nicht eindeutig organischen Kunstoffen zuordnen.

Beachte: Es besteht Verwechslungsgefahr zwischen dem deutschen Trivialbegriff „*Silikon*“, womit Polysiloxane gemeint sind, und dem englischen Begriff „*silicon*“, welcher nur das Element Silicium bezeichnet. Es kommt hier oft zu Übersetzungsfehlern. Der englische Begriff für Silikon ist „*silicone*“.

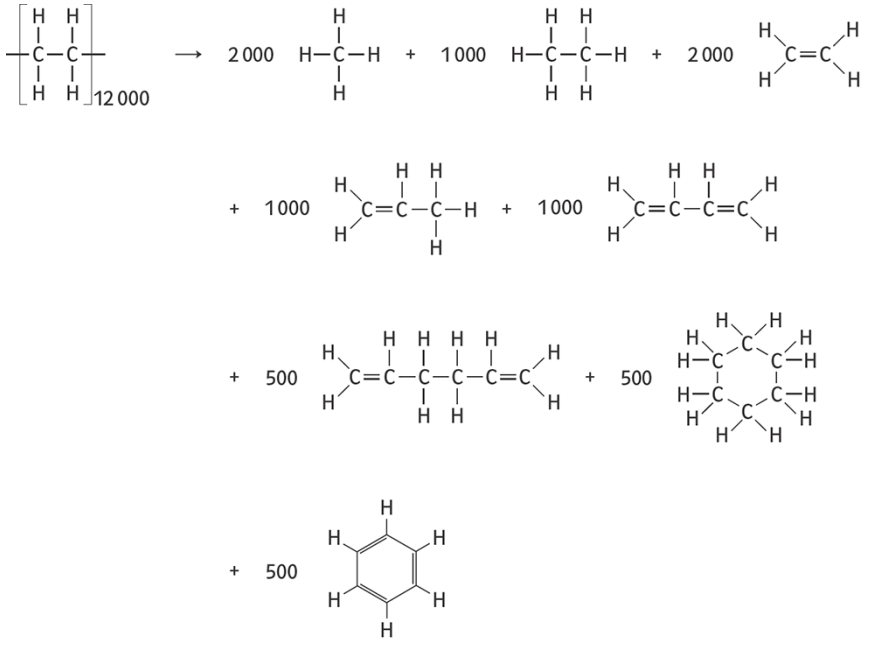
© Ernst Klett Verlag GmbH, Stuttgart 2021 | www.klett.de | Alle Rechte vorbehalten. Von dieser Druckvorlage ist die Vervielfältigung für den eigenen Unterrichtsgebrauch gestattet. Die Kopiergebühren sind abgegolten.

Autorin: Gila Wirth
Illustrator: 1 Lumina Datamatics GmbH, München

Verwertung von Kunststoffabfällen

1 Bei der stofflichen Verwertung unterscheidet man die werkstoffliche und die rohstoffliche Verwertung. Bei der werkstofflichen Verwertung werden sortenreine, nicht oder nur gering verschmutzte Abfälle von Thermoplasten zerkleinert und wieder aufgeschmolzen. Durch diese Regranulierung, der auch Neuware beigemischt werden kann, entstehen neue Kunststoffe. Allerdings sind bei gebrauchten Kunststoffen die Makromoleküle meist so geschädigt, dass das Produkt nicht mehr die gleichen Eigenschaften hat wie ein Produkt, das aus reiner Neuware hergestellt wurde. Duromere lassen sich nur im „Partikelrecycling" werkstofflich wiederverwerten. Sie werden dazu zerkleinert oder gemahlen und Neuprodukten als Füllstoff zugesetzt. Vermischte Altkunststoffe lassen sich nur schlecht werkstofflich verwerten. Sie können besser rohstofflich verwertet werden. Darunter wird die Umwandlung der makromolekularen Stoffe in niedermolekulare, d. h. in ihre Monomere oder in Stoffgemische aus Alkanen, Alkenen oder Aromaten, verstanden. Diese Verwertungsprodukte können entweder wieder zur Erzeugung von Monomeren dienen oder in anderen Syntheseprozessen eingesetzt werden. Dabei werden im Wesentlichen zwei Verfahrenswege unterschieden: die petrochemischen Verfahren wie die Pyrolyse oder die Hydrierung, die zu erdölartigen Produkten führen, jedoch sehr energieintensiv sind, und die solvolytischen Verfahren, in denen vorwiegend Polykondensate und Polyaddukte in ihre Monomere gespalten werden.
Energetische Verwertung: Kunststoffabfall kann auch zur Energiegewinnung eingesetzt werden. Da die meisten Kunststoffe einen ähnlich hohen Heizwert wie Erdgas, Heizöl oder Kohle haben, kann die bei der Verbrennung abgegebene Energie zum Betrieb von Heizkraftwerken eingesetzt oder zur elektrischen Energieerzeugung genutzt werden. In Hausmüllverbrennungsanlagen (MVA) erhöht die Zugabe von Kunststoffabfall den Heizwert des Brennmaterials. Da bei der Verbrennung von Kunststoffen auch Schadstoffe freigesetzt werden, muss bei der energetischen Nutzung die Absorption der Schadstoffe aus den Verbrennungsgasen sichergestellt werden.

2 Beispiel:



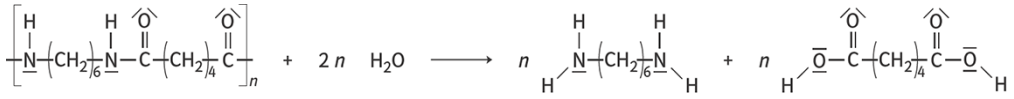
© Ernst Klett Verlag GmbH, Stuttgart 2021 | www.klett.de | Alle Rechte vorbehalten. Von dieser Druckvorlage ist die Vervielfältigung für den eigenen Unterrichtsgebrauch gestattet. Die Kopiergebühren sind abgegolten.

Autor: Paul Gietz
Illustrator: 2 Lumina Datamatics GmbH, München

3 Altkunststoffe werden als Reduktionsmittel im Hochofen eingesetzt, um den Verbrauch von Koks und Schweröl zu vermindern. Aus den Kunststoffen bildet sich als eigentliches Reduktionsmittel Kohlenstoffmonooxid, das die Eisenoxide reduziert.

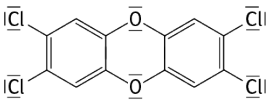
4 Im beheizten Zylinder dreht sich eine Schnecke, welche die geschmolzene Kunststoffmasse bis zum plastischen Fließen erhitzt, nach vorne befördert und verdichtet. In diesem plastischen Zustand wird die Masse in das formgebende Gerät gespritzt und härtet dort durch Kühlen aus. Duromere und Elastomere würden beim Erhitzen nicht schmelzen, sondern sich zersetzen.

5

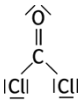


1,6-Diaminohexan Hexandisäure

6 Bei Bränden von PVC-Kunststoffen entstehen neben Kohlenstoffdioxid und Wasser Chlorwasserstoff sowie Dioxine und auch Aromaten und Phosgen, darüberhinaus können hochgiftige Schwermetalle freigesetzt werden.



2,3,7,8-Tetrachlordibenzo-*p*-dioxin, kurz 2,3,7,8-TCDD



Phosgen, Kohlenstoffoxiddichlorid

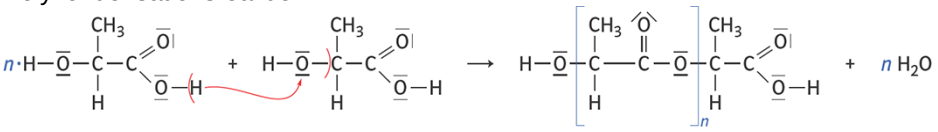
Dioxine liegen immer als Gemische von Einzelverbindungen (Kongenere) mit unterschiedlicher Zusammensetzung vor. Das toxischste Dioxin ist das 2,3,7,8-Tetrachlordibenzo-*p*-dioxin (2,3,7,8-TCDD), das auch, nachdem es bei einem Chemieunfall in Seveso (Italien) im Juli 1976 die Umwelt kontaminierte, als „Seveso-Gift" bezeichnet wird.
Dioxine entstehen unerwünscht bei allen Verbrennungsprozessen in Anwesenheit von Chlor und organischen Kohlenstoffverbindungen unter bestimmten Bedingungen, zum Beispiel bei bestimmten Temperaturen. Dioxin entsteht bei 300 °C und mehr und wird bei 900 °C und höher zerstört. Dioxine können auch bei Waldbränden und Vulkanausbrüchen entstehen.

© Ernst Klett Verlag GmbH, Stuttgart 2021 | www.klett.de | Alle Rechte vorbehalten. Von dieser Druckvorlage ist die Vervielfältigung für den eigenen Unterrichtsgebrauch gestattet. Die Kopiergebühren sind abgegolten.

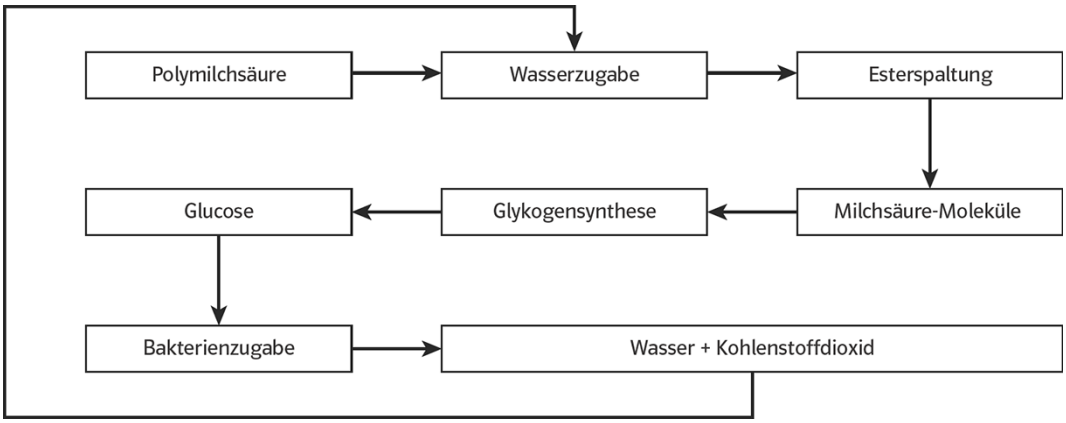
Autor: Paul Gietz
Illustrator: 5, 6 Lumina Datamatics GmbH, München

Gelbe Tonne oder Biomüll – wohin mit der Bioplastikverpackung?

1 Systematischer Name: 2-Hydroxypropansäure
Polykondensationsreaktion:



2 Abbauprozess von PLA:



3 Das Umweltbundesamt hat zu Recht Vorbehalte, da durch den Abbauprozess Kohlenstoffdioxid entsteht. Dieses Treibhausgas soll eigentlich vermieden werden, um Klimaneutralität anzustreben und um nachteilige Änderungen des Klimas aufzuhalten. Damit ist absolut gesehen die Verwendung dieser Verpackungen eher kontraproduktiv hinsichtlich nachhaltigem Umwelt- und Klimaschutz. Zusätzlich problematisch bei Biokunststoffen ist der Abbauprozess an sich: Die Kompostierbarkeit ist zwar gegeben, jedoch ist der Prozess der Umwandlung von PLA zu Wasser und Kohlenstoffdioxid langwierig und in der freien Natur meist nicht möglich bzw. nur sehr langsam, für den Abbau in Biomüll-Verwertungsanlagen daher meist zu langsam.

4 Produktverpackungen: Kaffee-to-go-Becher aus Bambus (abbaubar, ohne Deckel), Strohhalme aus Glas (teilweise abbaubar), Papiertüten für Obst (abbaubar), Kunststoffboxen beim Metzger (nicht abbaubar, aber wiederverwendbar), Holzzahnbürste (teilweise abbaubar) usw.

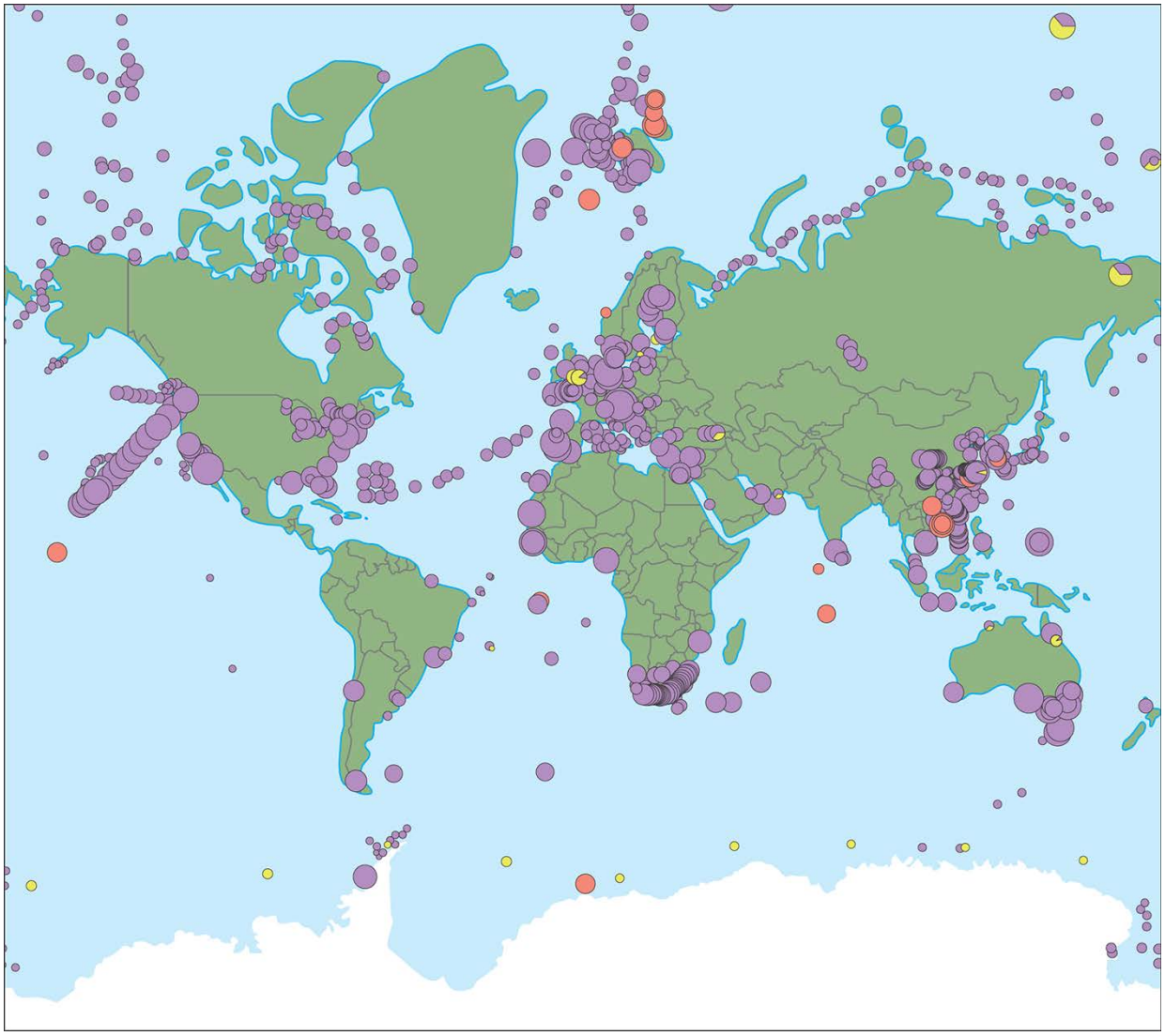
© Ernst Klett Verlag GmbH, Stuttgart 2021 | www.klett.de | Alle Rechte vorbehalten. Von dieser Druckvorlage ist die Vervielfältigung für den eigenen Unterrichtsgebrauch gestattet. Die Kopiergebühren sind abgegolten.

Autorin: Gila Wirth
Illustrator: 1, 2 Lumina Datamatics GmbH, München

Mikroplastik überall

1 Tüte wird für einen Einkauf erworben → durch falsche Entsorgung gelangt die Tüte in ein Fließgewässer → über Fließgewässer gelangt die Tüte ins Meer, dabei erfolgt eine erste mechanische Zerkleinerung → im Meer wird die Tüte durch die Sonne, das Salzwasser und die Wellenbewegung immer mehr zerteilt, sodass Mikroplastik entsteht → die Mikroplastikstückchen gelangen durch Wellen und Wind an den Strand und vermischen sich mit den Sandkörnern

2 Besonders viele Mikroplastikpartikel finden sich an den Küsten vor Ballungsräumen. Sehr auffällig ist dies an den nordamerikanischen Küsten, den europäischen Küsten und in Südost-Asien. Besonders hohe Konzentrationen gibt es an Flussmündungen.



© Ernst Klett Verlag GmbH, Stuttgart 2021 | www.klett.de | Alle Rechte vorbehalten. Von dieser Druckvorlage ist die Vervielfältigung für den eigenen Unterrichtsgebrauch gestattet. Die Kopiergebühren sind abgegolten.

Autor: Peter Nelle
Illustrator: 2 Lumina Datamatics GmbH, München

3 *Offene Aufgabenstellung, individuelle Lösungen möglich*

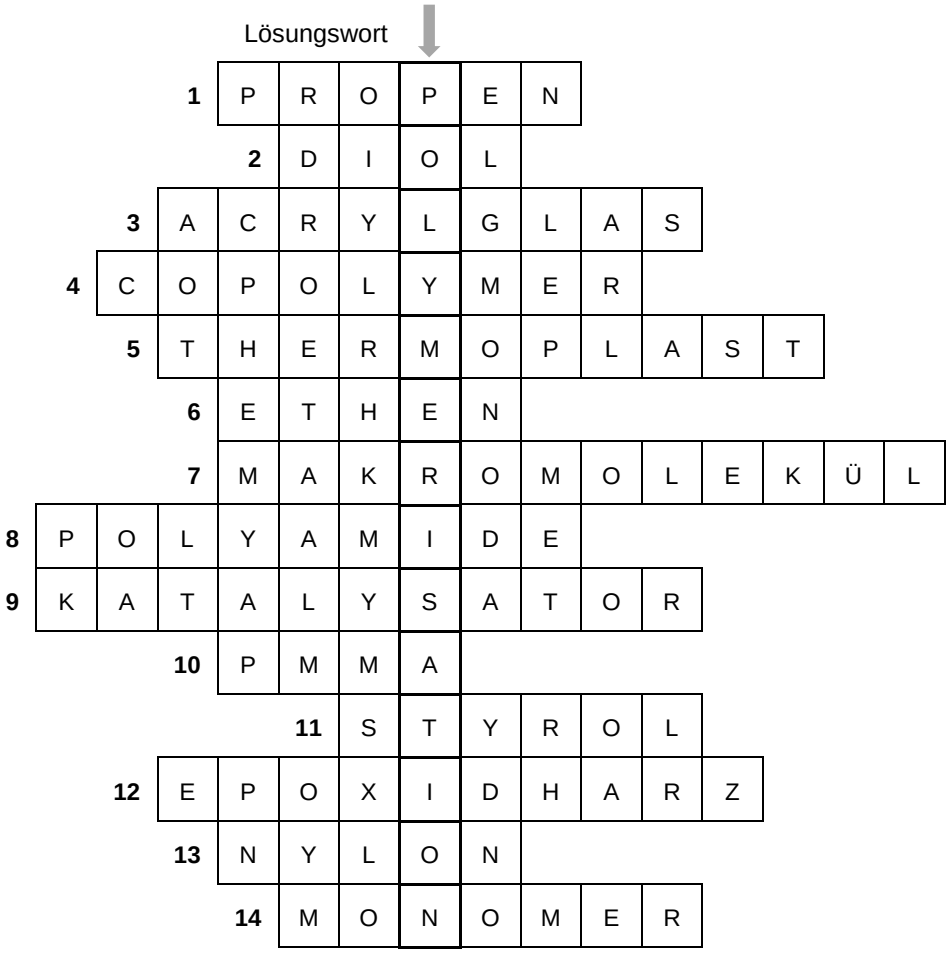
Das Mikroplastik aus der Natur zu entfernen, ist nur sehr schwer möglich. Außerdem würde eine mechanische Entfernung des Mikroplastiks im Meer auch das Plankton mit entfernen, das die Nahrungsgrundlage vieler Tiere ist. Daher setzten die meisten Projekte darauf, den Eintrag in die Natur zu verringern. Kläranlagen könnten eine vierte Reinigungsstufe bekommen, die auch die Mikroplastikpartikel entfernen kann.

Zur Vermeidung der Entstehung von Mikroplastik gibt es verschiedene Ansätze, von denen ein bekanntes das *Ocean Cleanup Projekt* ist. Mithilfe von Barrieren und autonomen Booten, die Plastikmüll aus Flüssen sieben, bevor ein Fluss das Meer erreicht, soll das Mikroplastik reduziert werden. Im Meer soll Plastik durch große Barrieren gesammelt und dann entfernt werden.

© Ernst Klett Verlag GmbH, Stuttgart 2021 | www.klett.de | Alle Rechte vorbehalten. Von dieser Druckvorlage ist die Vervielfältigung für den eigenen Unterrichtsgebrauch gestattet. Die Kopiergebühren sind abgegolten.

Rätsel zum Thema „Kunststoffe“

1



Lösungswort: Polymerisation

© Ernst Klett Verlag GmbH, Stuttgart 2021 | www.klett.de | Alle Rechte vorbehalten. Von dieser Druckvorlage ist die Vervielfältigung für den eigenen Unterrichtsgebrauch gestattet. Die Kopiergebühren sind abgegolten.

Autor: Paul Gietz

Komplexverbindungen – Liganden und Zentralteilchen

1 und **2**

Abbildung	Name des Zentralteilchens	Ligandenname	Name der Komplexverbindung
B1	Kupfer(II)-Ion	aqua	Tetraaquakupfer(II)-sulfat-Monohydrat
B2	Kupfer(II)-Ion	ammin	Tetraamminkupfer(II)-sulfat-Monohydrat
B3	Eisen(III)-Ion	cyanido	Kalium-hexacyanidoeisen(III)
B4	Cobalt(III)-Ion	ammin chlorido	links: *Z*-Tetraammindichloridocobalt(III)-chlorid rechts: *E*-Tetraammindichloridocobalt(III)-chlorid

3 B1: Es liegt eine quadratisch planare Anordnung der Aqua-Liganden vor.
B2: Es liegt eine quadratisch planare Anordnung der Ammin-Liganden vor.
B3: Es liegt eine oktaedrische Anordnung der Cyanido-Liganden vor.

4 Tropft man zu einer hellblauen Kupfer(II)-sulfat-Lösung konzentrierte Ammoniak-Lösung, so werden die Aqua-Liganden durch Ammin-Liganden ersetzt. Der Ammin-Komplex ist stabiler als der Aqua-Komplex und dunkelblau.

5 Durch die Zugabe des Natriumchlorids zu der wässrigen Lösung von Cobalt(II)-chlorid wird die Konzentration der Chlorid-Ionen erhöht, der Aquakomplex geht in den Chlorido-Komplex über. Die Zugabe von Wasser verschiebt das Gleichgewicht wieder zum Aquakomplex (Prinzip von LE CHATELIER, Prinzip vom kleinsten Zwang).

© Ernst Klett Verlag GmbH, Stuttgart 2021 | www.klett.de | Alle Rechte vorbehalten. Von dieser Druckvorlage ist die Vervielfältigung für den eigenen Unterrichtsgebrauch gestattet. Die Kopiergebühren sind abgegolten.
Autor: Paul Gietz

Komplexverbindungen und Gleichgewichtsreaktionen

1 $[Cu(H_2O)_4]^{2+} + 4\ Cl^- \rightleftharpoons [CuCl_4]^{2-} + 4\ H_2O$
$[Cu(H_2O)_4]^{2+} + 4\ NH_3 \rightleftharpoons [Cu(NH_3)_4]^{2+} + 4\ H_2O$

2 a) Bei dieser Reaktion werden die Liganden des Aqua-Komplexes durch Chlorid-Ionen ausgetauscht. Durch die Zugabe von Wasser werden Chlorid-Liganden wieder durch Wasser-Moleküle ersetzt, der Austausch wird rückgängig gemacht. Die Umkehrbarkeit der Ligandenaustausch-Reaktion ist mit dem Prinzip von LE CHATELIER und BRAUN (Prinzip von der Minimierung des Zwangs) erklärbar. Durch die Konzentrationserhöhung des Wassers verschiebt sich das Gleichgewicht zur linken Seite, also in Richtung des Tetraaquakupfer(II)-Komplexes.

b) Bei dieser Reaktion werden die Liganden des Aqua-Komplexes durch Ammoniak-Moleküle ausgetauscht. Die Ammoniak-Moleküle haben also die Wasser-Moleküle als Liganden ersetzt. Diese Reaktion lässt sich durch Wasserzugabe nicht wieder in Richtung zum Aqua-Komplex verschieben. Der Amin-Komplex ist deutlich stabiler als der Aqua-Komplex.

c) Beim Erwärmen der ganz leicht grünlichen Lösung bildet sich vermehrt der Tetrachloridokupfer(II)-Komplex.
Beim Abkühlen bildet sich wieder vermehrt der Tetraaquakupfer(II)-Komplex. Der Zwang durch die Temperaturerhöhung bzw. Wärmezufuhr verschiebt das Gleichgewicht nach rechts zum Tetrachloridokupfer(II)-Komplex in Richtung der endothermen Reaktion. Beim Abkühlen wird die exotherme Reaktionsrichtung begünstigt, es entsteht wieder der Aqua-Komplex.

d) $[Fe(H_2O)_6]^{3+} + SCN^- \rightarrow [Fe\ SCN\ (H_2O)_5]^{2+} + H_2O$
$[Fe\ SCN\ (H_2O)_5]^{2+} + F^- \rightarrow [Fe\ F\ (H_2O)_5]^{2+} + SCN^-$
Eisen(III)-Ionen bilden mit Fluorid-Ionen einen sehr stabilen Fluorido-Komplex. Der Fluorido-Komplex ist deulich stabiler als der Thiocyanato-Komplex.

3 Die sehr hohe Giftigkeit des Kaliumcyanids beruht auf den Cyanid-Ionen. Bei oraler Aufnahme des Kaliumcyanids zerfällt dieses Salz in Kalium- und Cyanid-Ionen. Kaliumhexacyanidoferrat(III) zerfällt aber nur in Kalium- und Hexacyanidoferrat(III)-Ionen. Die Cyanidoferrat(III)-Ionen sind außerordentlich stabil ($K_D = 1 \times 10^{-44}\ mol^6 \times l^{-6}$), sodass bei oraler Aufnahme, was allerdings zu unterlassen ist, keine Cyanid-Ionen abgegeben werden.

© Ernst Klett Verlag GmbH, Stuttgart 2021 | www.klett.de | Alle Rechte vorbehalten. Von dieser Druckvorlage ist die Vervielfältigung für den eigenen Unterrichtsgebrauch gestattet. Die Kopiergebühren sind abgegolten.
Autor: Paul Gietz

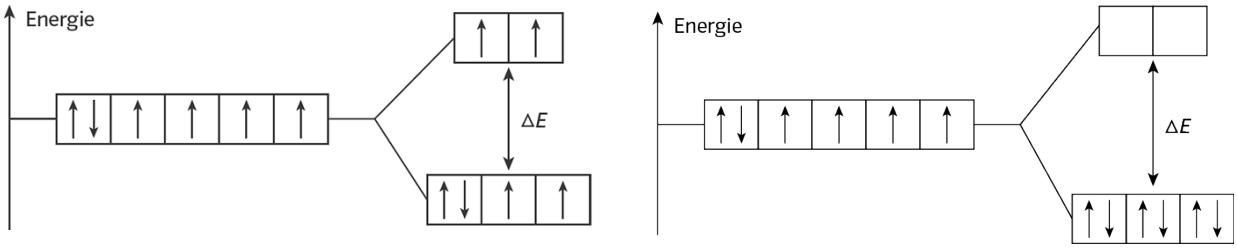
Die Farbe von Komplexen

1 a) Die Wellenlänge des höchsten Absorptionsgrades der ammoniakalischen Kupfer(II)-sulfat-Lösung liegt bei etwa 590 nm. Es wird also gelbes Licht absorbiert. Die Komplementärfarbe ist blauviolett. Die Lösung zeigt also je nach Konzentration eine hellere oder dunklere blauviolette Färbung.

b) Wässrige Kupfer(II)-salz-Lösungen sind blau (hell- bis dunkelblau), die Farbe beruht auf dem Aqua-Komplex des Kupfer(II)-Ions. Die Komplementärfarbe zu Blau ist Orange; der Wellenlängenbereich des Orange reicht von 595 nm bis 605 nm. Die Wellenlänge des absorbierten Lichts ist also höher.

Alternativ: H_2O-Liganden bewirken eine kleinere Aufspaltung der d-Elektronen des Zentral-Ions als NH_3-Liganden. Damit wird auch weniger energiereiches Licht bzw. Licht höherer Wellenlänge von dem Aqua-Komplex absorbiert als von dem Ammin-Komplex.

2 a) Die beiden möglichen Anordnungen von 6 d-Elektronen im oktaedrischen Ligandenfeld des Cobalt(III)-Ions:



b) Die Fluorido-Liganden sind schwache Liganden, die eine kleine Aufspaltung der d-Orbitale bewirken. In der linken Anordnung ist die Energiedifferenz zwischen den Orbitalen höherer und niedrigerer Energie kleiner.

Die Ammin-Liganden sind starke Liganden, die eine größere Aufspaltung der d-Orbitale bewirken. In der rechten Anordnung ist die Energiedifferenz zwischen den Orbitalen höherer und niedrigerer Energie größer.

© Ernst Klett Verlag GmbH, Stuttgart 2021 | www.klett.de | Alle Rechte vorbehalten. Von dieser Druckvorlage ist die Vervielfältigung für den eigenen Unterrichtsgebrauch gestattet. Die Kopiergebühren sind abgegolten.

Autor: Paul Gietz
Illustrator: 2 Lumina Datamatics GmbH, München

Citrate können Komplexe bilden

1 Reaktionen von Citronensäure mit Kalk:
H_3Citr: Vereinfachte Darstellung der Formel für die Citronensäure

$$H_3Citr + CaCO_3 \rightarrow H_2Citr^- + Ca^{2+} + HCO_3^-$$

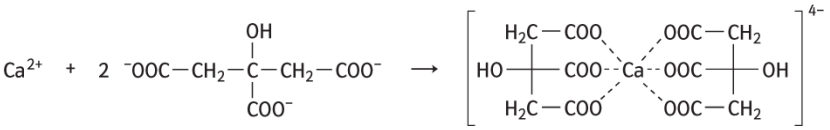
und

$$H_2Citr^- + CaCO_3 \rightarrow HCitr^{2-} + Ca^{2+} + HCO_3^-$$

und

$$HCitr^{2-} + CaCO_3 \rightarrow Citr^{3-} + Ca^{2+} + HCO_3^-$$

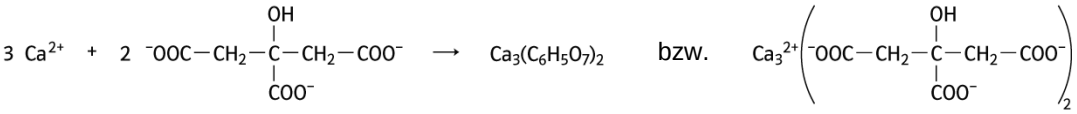
Komplexierung der Calcium Ionen:



Ein Beispiel für die Bildung von Kalkseife:

$$2\ H_3C(-CH_2)_{15} - COO^- + 2\ Na^+ + Ca^{2+} \rightarrow Ca^{2+}(H_3C(-CH_2)_{15} - COO^-)_2 + 2\ Na^+$$

Bildung des Calciumcitrats:



2 Chelatkomplexe bestehen aus einem Zentralteilchen und Liganden, in denen mehrere Atome ein freies Elektronenpaar besitzen und damit zur Koordination in der Lage sind. Beim Zentralteilchen handelt es sich meistens um ein zweifach positiv geladenes Metall-Ion. Liganden und Zentralteilchen sind über koordinative Bindungen miteinander verbunden. Das bedeutet, dass bindende Elektronenpaare allein von den Liganden bereitgestellt werden.

3 Das Citrat-Ion weist drei negativ geladene Carboxylatgruppen auf. Diese stellen die Elektronenpaare für die Bindung zum Zentralteilchen zur Verfügung.

4 Die Suspension von Natrium-Zeolith mit Wasser ergibt eine alkalische Lösung. Das Zeolith-Anion reagiert als Base.

$$Na^+Zeolith^- + 2\ H_2O \rightleftharpoons Na^+ + Zeolith^-H_3O^+ + OH^-$$

Der Überschuss an Natrium-Kationen verschiebt das Gleichgewicht auf die Seite der Edukte. Die Oxonium-Ionen werden wieder gegen Natrium-Ionen ausgetauscht, die Oxonium-Ionen reagieren mit den Hydroxid-Ionen zu Wasser-Molekülen, die Lösung bzw. Suspension ist wieder neutral oder nahezu neutral.

© Ernst Klett Verlag GmbH, Stuttgart 2021 | www.klett.de | Alle Rechte vorbehalten. Von dieser Druckvorlage ist die Vervielfältigung für den eigenen Unterrichtsgebrauch gestattet. Die Kopiergebühren sind abgegolten.

Wasserhärte

1 $Ca^{2+}(aq) + 2\ HCO_3^-(aq) \rightarrow CaCO_3(s) + H_2O(l/g) + CO_2(aq/g)$

2 $CaCO_3(s) + 2\ CH_3COOH(l) \rightarrow Ca^{2+}(aq) + 2\ CH_3COO^-(aq) + CO_2(aq/g) + H_2O(l)$

$CH_3COOH + CO_3^{2-} \rightarrow CH_3COO^- + HCO_3^-$

$CH_3COOH + HCO_3^- \rightarrow CH_3COO^- + H_2CO_3$

$H_2CO_3 \rightarrow H_2O + CO_2$

Die Essigsäure reagiert als schwache Säure mit dem Carbonat-Ion, das eine starke Base ist, zum Acetat-Ion, der korrespondierenden Base zur Essigsäure, und zum Hydrogencarbonat-Ion, der korrespondierenden Säure zum Carbonat-Ion. Die schwache Säure Essigsäure reagiert mit dem Hydrogencarbonat-Ion als Base zum Acetat-Ion und zur Kohlensäure, der korrespondierenden Säure zum Hydrogencarbonat-Ion. Die Kohlensäure zerfällt in Kohlenstoffdioxid und Wasser.

3 $CaCO_3(s) + 2\ CH_3COOH(l) \rightarrow Ca^{2+}(aq) + 2\ CH_3COO^-(aq) + CO_2(aq/g) + H_2O(l)$

$\frac{n(CaCO_3)}{n(CH_3COOH)} = \frac{1}{2}$

$n(CaCO_3) = \frac{m(CaCO_3)}{M(CaCO_3)} = \frac{5\,g}{100\,g \cdot mol^{-1}} = 0{,}05\,mol$

$n(CH_3COOH) = 2 \cdot n(CaCO_3) = 2 \cdot 0{,}05\,mol = 0{,}1\,mol$

Um 5 g Kalk zu entfernen, ist 0,1 mol Essigsäure erforderlich.

$m(\text{Essigsäure}) = 0{,}1\,mol \cdot 60\,g \cdot mol^{-1} = 6\,g$

100 g Essigessenz enthalten 25 g Essigsäure.

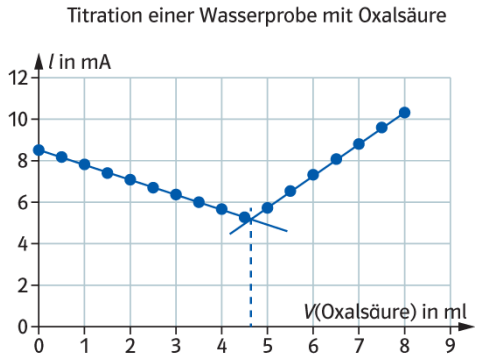
$m(\text{Essigessenz, die 6 g Essigsäure enthält}) = \frac{100\,g \cdot 6\,g}{25\,g} = 24\,g$

$\rho(\text{Essigessenz}) = 1{,}031\,g/ml$

$V = \frac{m}{\rho} = \frac{24\,g}{1{,}031\,g/ml} = 23{,}3\,ml$

Man benötigt 23,3 ml Essigessenz, um 5 g Kalk zu entfernen.

4 a)



Die elektrische Leitfähigkeit nimmt zuerst ab und steigt im weiteren Verlauf wieder an.
Die Abnahme der Leitfähigkeit beruht auf der Fällung der Calcium-Ionen durch die Oxalat-Ionen, wodurch der Lösung die Calcium-Ionen als Ladungsträger entzogen werden und deren Konzentration sinkt.

© Ernst Klett Verlag GmbH, Stuttgart 2021 | www.klett.de | Alle Rechte vorbehalten. Von dieser Druckvorlage ist die Vervielfältigung für den eigenen Unterrichtsgebrauch gestattet. Die Kopiergebühren sind abgegolten.

Autor: Paul Gietz
Illustrator: Lumina Datamatics GmbH, München

$Ca^{2+}(aq) + C_2O_4^{2-}(aq) \rightarrow CaC_2O_4(s)$

(Die Protonen der Oxalsäure reagieren gleichzeitig mit den Hydrogencarbonat-Ionen der Wasserprobe zu Kohlensäure, die in Kohlenstoffdioxid und Wasser zerfällt.)
Am Äquivalenzpunkt, dem Schnittpunkt der beiden Geraden, haben alle Calcium-Ionen reagiert.
Die weitere Zugabe der Oxalsäure führt zur Bildung von Oxonium-Ionen und Oxalat-Ionen. Die sehr beweglichen Oxonium-Ionen führen zu einem steileren Anstieg der Leitfähigkeit der Lösung.

$HOOC–COOH + 2\,H_2O \rightarrow {}^-OOC–COO^- + 2\,H_3O^+$

b) $V(\text{Wasserprobe}) = 200\,\text{ml},\ c(H_2C_2O_4) = 0{,}1\,\text{mol/l}$

Der Äquivalenzpunkt, der Schnittpunkt der beiden Kurvenäste, liegt bei einer Zugabe von 4,65 ml Oxalsäure der Konzentration $c(H_2C_2O_4) = 0{,}1$ mol/l.

$$\frac{n(Ca^{2+})}{n(H_2C_2O_4)} = \frac{1}{1}$$

$$c(Ca^{2+}) \cdot V(\text{Wasserprobe}) = c(H_2C_2O_4) \cdot V(H_2C_2O_4)$$

$$c(Ca^{2+}) = \frac{c(H_2C_2O_4) \cdot V(H_2C_2O_4)}{V(\text{Wasserprobe})} = \frac{0{,}1\frac{\text{mol}}{\text{l}} \cdot 4{,}65\ \text{ml}}{200\ \text{ml}} = 2{,}33 \cdot 10^{-3}\,\text{mol/l} = 2{,}33\,\text{mmol/l}$$

Die Gesamthärte beträgt 2,33 mmol.

$c(Ca^{2+}) = 0{,}1783\,\text{mmol/l} = 1\,°\text{dH}$
$c(Ca^{2+}) = 2{,}33\,\text{mmol/l} = ?\,°\text{dH}$

$$\frac{2{,}33\ \text{mmol/l} \cdot 1\,°\text{dH}}{0{,}1783\ \text{mmol/l}} = 13{,}1\,°\text{dH}$$

Der Härtebereich der Wasserprobe ist mittel.

© Ernst Klett Verlag GmbH, Stuttgart 2021 | www.klett.de | Alle Rechte vorbehalten. Von dieser Druckvorlage ist die Vervielfältigung für den eigenen Unterrichtsgebrauch gestattet. Die Kopiergebühren sind abgegolten.

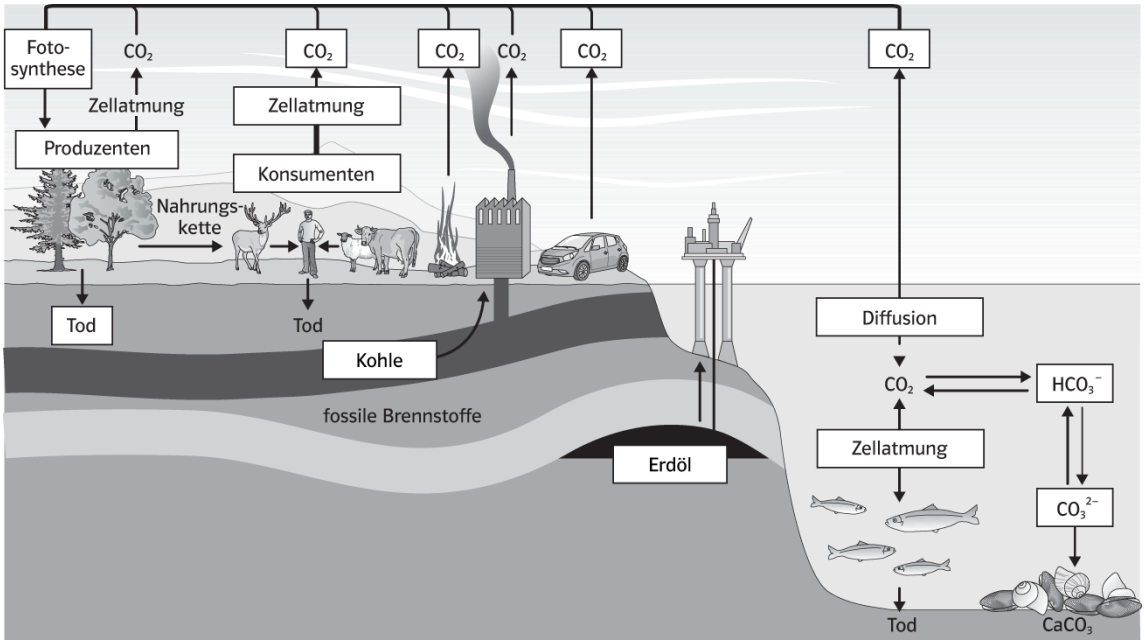
Kohlenstoff ist überal! GK

1 *Keine inhaltliche Vorgabe; individuelle Lösung*
Lernfilm: vorab Begriffe klären, ggf. eigene Begriffe im Kasten ergänzen, Darstellungsformat klären.

© Ernst Klett Verlag GmbH, Stuttgart 2021 | www.klett.de | Alle Rechte vorbehalten. Von dieser Druckvorlage ist die Vervielfältigung für den eigenen Unterrichtsgebrauch gestattet. Die Kopiergebühren sind abgegolten.

Der Kreislauf der Kohlenstoff-Atome! LK

1 *Individuelle Lösung*. Beispieldarstellung:



2 Bildung der Kohlensäure:
$CO_2 + H_2O \rightleftharpoons H_2CO_3$

Protonenabgabe der Kohlensäure:
$H_2CO_3 \rightleftharpoons H^+ + HCO_3^-$

Weiterreaktion zu Carbonat:
$HCO_3^- \rightleftharpoons H^+ + CO_3^{2-}$

Kalkbildung:
$CO_3^{2-} + Ca^{2+} \longrightarrow CaCO_3$

© Ernst Klett Verlag GmbH, Stuttgart 2021 | www.klett.de | Alle Rechte vorbehalten. Von dieser Druckvorlage ist die Vervielfältigung für den eigenen Unterrichtsgebrauch gestattet. Die Kopiergebühren sind abgegolten.

Autorin: Christina Gimbel
Illustrator: Wolfgang Herzig, Essen

Die Entwicklung der CO_2-Konzentration in der Atmosphäre

1 Hauptgründe für den Anstieg der Kohlenstoffdioxid-Konzentration sind die zunehmende Nutzung fossiler Brennstoffe und die Abholzung großer Waldflächen, um diese als Acker- oder Weideflächen zu nutzen.

2 370 ppm (parts per million) entspricht 0,037 Volumen-Prozent (Teile von Hundert) bzw. 0,037 l Kohlenstoffdioxid in 100 l Luft.

3 Zeitraum 1970 (325 ppm) bis 1980 (338 ppm): 338 ppm – 325 ppm = 13 ppm in 10 Jahren, das entspricht einer durchschnittlichen Zunahme von 1,3 ppm pro Jahr in diesem Zeitraum.
Zeitraum 1990 (350 ppm) bis 2000 (368 ppm): 368 ppm – 350 ppm = 18 ppm, das entspricht einer durchschnittlichen Zunahme von 1,8 ppm pro Jahr in diesem Zeitraum.
Angesichts der Tatsache, dass im April 2021 2,9 ppm mehr CO_2 gemessen wurden als im Vorjahr, lässt sich die Aussage des Textes bestätigen.

4 Individuelle Lösung. Beispiel:
In B1 ist zu erkennen, dass es eine jährliche Schwankung der Kohlenstoffdioxid-Konzentration gibt. Im Frühjahr gibt es ein Maximum, im Herbst ein Minimum. Es handelt sich um Referenzwerte für die Nordhalbkugel der Erde. Hier wachsen die Pflanzen hauptsächlich im Frühjahr und Sommer. Dadurch ist die Fotosyntheserate maximal und die Kohlenstoffdioxid-Konzentration sinkt bis zum Herbst. Im Winter ist die Fotosyntheserate der Pflanzen sehr gering bzw. gleich Null (u. a. durch den Laubverlust der Bäume). Dadurch steigt im Laufe des Winters bis zum Frühjahr die Kohlenstoffdioxid-Konzentration wieder an.

© Ernst Klett Verlag GmbH, Stuttgart 2021 | www.klett.de | Alle Rechte vorbehalten. Von dieser Druckvorlage ist die Vervielfältigung für den eigenen Unterrichtsgebrauch gestattet. Die Kopiergebühren sind abgegolten.
Autorin: Christina Gimbel

Treibhausgas oder nicht?

1 Bei Streckschwingungen ändern sich die Bindungslängen zwischen den Atomen. Es werden symmetrische und asymmetrische Streckschwingungen unterschieden. Bei den symmetrischen Schwingungen verändern sich die Längen der Bindungen jeweils gleich stark, bei den asymmetrischen Schwingungen verschieden stark. Deformationsschwingungen erkennt man daran, dass sich nicht die Bindungslängen, sondern die Bindungswinkel durch die Schwingungen ändern.

2 Sauerstoff:

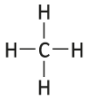
Stickstoff:

Argon:

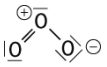
Ar

Wasserdampf:

Methan:



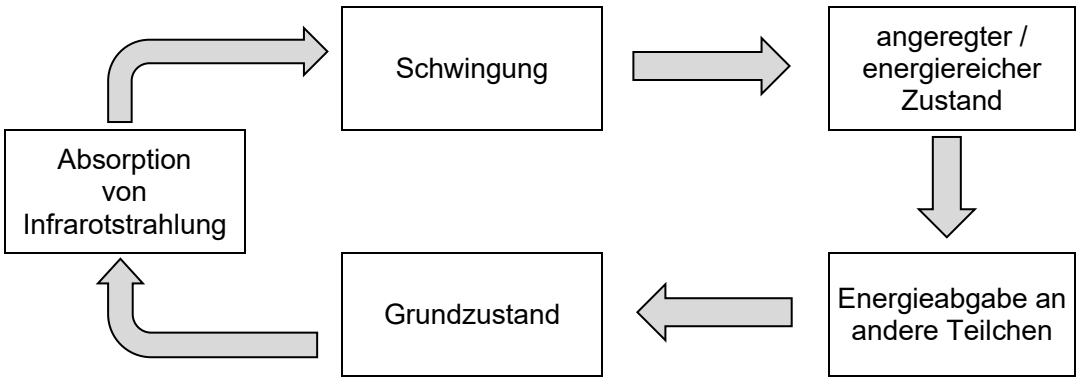
Ozon:



Sauerstoff und Stickstoff liegen als Moleküle aus jeweils zwei Atomen vor. Sie können daher nur symmetrisch schwingen und sind deshalb keine Treibhausgase. Argon liegt in Form einzelner Atome vor, besitzt daher keine Bindung und kann nicht in Schwingung versetzt werden. Daher ist Argon ebenfalls kein Treibhausgas. Wasserdampf, Methan und Ozon können, da sie aus mehr als zwei Atomen bestehen, asymmetrisch und gebeugt schwingen und sind daher als Treibhausgase wirksam.

***Hinweis**: Die oben gezeigte Lewis-Formel zum Sauerstoff-Molekül ist streng genommen falsch, da sie den Diradikal-Charakter des Moleküls nicht wiedergibt. Die Lewis-Formel ist hier didaktisch reduziert. Für den Schulbetrieb existiert allerdings keine (echte) Alternative.*

3



© Ernst Klett Verlag GmbH, Stuttgart 2021 | www.klett.de | Alle Rechte vorbehalten. Von dieser Druckvorlage ist die Vervielfältigung für den eigenen Unterrichtsgebrauch gestattet. Die Kopiergebühren sind abgegolten.

Autorin: Christina Gimbel

Kohlenstoffdioxid und Power-to-Gas

1 a) Damit die drei Reaktionsgleichungen sinnvoll addiert werden können, wird die Reaktionsgleichung der Wasser-Elektrolyse verdoppelt. Die Addition der drei Reaktionsgleichungen ergibt dann:

$4\ H_2O(l) \rightarrow 4\ H_2(g) + 2\ O_2(g)$ | $\Delta_r H^0 = +1144$ kJ

$CO_2(g) + 4\ H_2(g) \rightarrow CH_4(g) + 2\ H_2O(l)$ | $\Delta_r H^0 = -254$ kJ

$CH_4(g) + 2\ O_2(g) \rightarrow CO_2(g) + 2\ H_2O(l)$ | $\Delta_r H^0 = -890$ kJ

$4\ H_2O(l) + CO_2(g) \rightarrow 4\ H_2(g) + 2\ O_2(g) + CO_2(g) \rightarrow$

$CH_4(g) + 2\ H_2O(l) + 2\ O_2(g) \rightarrow 4\ H_2O(l) + CO_2(g)$ | $\Delta_r H^0 = 0$

Aus Wasser und Kohlenstoffdioxid entsteht also „auf Umwegen“ wieder Wasser und Kohlenstoffdioxid. Die Energiebilanz des Gesamtprozesses ist folglich Null.

b) Bei einer vollständigen Energiebilanz müssen auch die Energien berücksichtigt werden, die zur Herstellung und Einrichtung von Windenergieanlagen, Solarzellen, Speichern, Leitungen, Produktionsanlagen eingesetzt werden müssen.

c) Die CO_2-Bilanz ist für die Methanisierung und Verbrennung von Methan, das durch Methanisierung gewonnen wird, ausgeglichen.

2 Überschüssigen Strom zur Erdgas-Erzeugung zu nutzen, bedeutet, diesen Strom als Gas speicher- und regulierbar zu machen – eine wichtige Voraussetzung für das Gelingen der Energiewende. Bei Produktionsprozessen anfallendes Kohlenstoffdioxid für die Methanisierung zu nutzen, bedeutet, dass die Kohlenstoffdioxid-Abgabe an die Atmosphäre verringert wird. Vielleicht ist es sogar notwendig oder ökonomisch möglich und ökologisch zwingend, Kohlenstoffdioxid der Atmosphäre zu entziehen, um den Temperaturanstieg auf ein „erträgliches“ Maß zu begrenzen.

Um Power-to-Gas aber tatsächlich eine positive Gesamtbilanz zugestehen zu können, müssen folgende Voraussetzungen vorgeschaltet sein:

1. Der Anteil an regenerativer Energie an sich muss so hoch sein, dass eine teilweise Überproduktion entstehen kann, also die direkte (thermische und wirkungsgradtechnisch günstigere) Nutzung von Methan als geförderter Rohstoff darf keine Rolle mehr spielen,

2. die wirkungsgradtechnisch günstigere Überproduktionsnutzung als Power-to-Heat muss vollständig ausgeschöpft sein,

3. für die Power-to-Gas-Vorgänge müssen ihrerseits wieder ausschließlich regenerative Energieformen genutzt werden,

4. und letztendlich entscheidend, bei Power-to-Gas muss natürlich wie beschrieben potenzielles Atmosphären-CO_2 genutzt werden, aber die bei der späteren Nutzung des Power-to-Gas-Methans anfallenden CO_2-Mengen müssen letztendlich dauerhaft an einem Wiedereintritt in die Atmosphäre gehindert bzw. abgeschieden oder verpresst werden.

Nur unter diesen Voraussetzungen ergibt sich eine günstigere CO_2-Bilanz, die aber letztendlich auf die Entfernung des CO_2 zurückzuführen wäre; auch energetisch fällt nur dann in der Energiebilanz für die überschüssige „gerettete“ Energie lediglich die abzügliche Zusatzenergie für die Elektrolyse an.
Als tatsächlicher davon unabhängiger Vorteil bliebe letztlich die Speicherung sonst ggf. ungenutzter Überschussenergie in einer zeitlich und örtlich gut speicherbaren Form bei optimal umweltverträglichem Prozess.

© Ernst Klett Verlag GmbH, Stuttgart 2021 | www.klett.de | Alle Rechte vorbehalten. Von dieser Druckvorlage ist die Vervielfältigung für den eigenen Unterrichtsgebrauch gestattet. Die Kopiergebühren sind abgegolten.

3 a) Der Volumenanteil des Kohlenstoffdioxids in der Luft ist mit 0,04 % bis 0,05 % verhältnismäßig klein. Der Aufwand, dieses Gas aus der Luft zu isolieren, ist dementsprechend technisch groß und sehr teuer. Fängt man hingegen das Kohlenstoffdioxid, das z. B. beim Brennen von Kalk gebildet wird, direkt ab, so gelangt es nicht erst in die Atmosphäre, der Volumenanteil im Abgas ist sehr hoch und kann vor Ort verarbeitet werden oder über Leitungen zu einer zentralen Produktionsstätte zur Verarbeitung gelangen. Dieses gilt z. B. auch für das bei der Verbrennung von Erdgas in Kraftwerken anfallende Kohlenstoffdioxid.

b) Kohlenstoffdioxid, das bei der Verbrennung von Erdgas in Kraftfahrzeugen anfällt, kann praktisch nicht abgefangen werden, bevor es in die Atmosphäre gelangt. Der Aufwand wäre zu kostspielig. Schlussfolgerung: In der Zukunft sollten keine Erdgasfahrzeuge mehr hergestellt werden.

© Ernst Klett Verlag GmbH, Stuttgart 2021 | www.klett.de | Alle Rechte vorbehalten. Von dieser Druckvorlage ist die Vervielfältigung für den eigenen Unterrichtsgebrauch gestattet. Die Kopiergebühren sind abgegolten.

Bodennahes Ozon – ein Luftschadstoff

1 Bei Zunahme der Lichtintensität verschiebt sich das Gleichgewicht [4] nach rechts, bei deren Abnahme nach links. Die Bildung des Sauerstoffs aus Stickstoffdioxid benötigt kurzwelliges Licht.

2 Die Autoabgase enthalten trotz des Katalysatoreinsatzes Stickstoffoxide, Kohlenstoffmonooxid und flüchtige Kohlenwasserstoffe. Auch Lösungsmitteldämpfe, die hauptsächlich von Gewerbe und Industrie emittiert werden, enthalten flüchtige organische Verbindungen. Auch bei der Verbrennung von Holz, Kohle, Erdölprodukten und Erdgas werden Stickstoffoxide, Kohlenstoffmonooxid und flüchtige Kohlenwasserstoffe gebildet. Kohlenstoffmonooxid ensteht z. B. auch beim Grillen.

3 Stickstoffdioxid-Moleküle oxidieren Sauerstoff-Moleküle zu Ozon-Molekülen und werden zu Stickstoffmonooxid-Molekülen reduziert. Die Stickstoffmonooxid-Moleküle werden durch Hydroperoxy-Radikale zu Stickstoffdioxid-Molekülen oxidiert. Die Hydroperoxy-Radikale werden dabei zu Hydroxyl-Radikalen reduziert. Die Hydroxyl-Radikale oxidieren Kohlenstoffmonooxid-Moleküle zu Kohlenstoffdioxid-Molekülen. Die dabei entstehenden Wasserstoff-Atome reagieren mit Sauerstoff-Molekülen aus der Luft zu Hydroperoxy-Radikalen. Die Redoxkreisläufe sind miteinander verknüpft.

4 Die Ozonbildung in der Troposphäre kann im Wesentlichen nur durch die Verminderung oder bestenfalls Verhinderung der Schadstoffemissionen beeinflusst werden. Hier sind insbesondere die Stickstoffoxide zu beachten, da die Oxidation des Sauerstoffs durch Stickstoffdioxid zu Ozon eine zentrale Rolle spielt. Die angesprochenen Schadstoffe entstehen im Wesentlichen durch die Verbrennung fossiler Brennstoffe, sei es zum Heizen, zur Stromerzeugung oder zum Antrieb von Kraftfahrzeugen. Also muss der Einsatz fossiler Brennstoffe in den angesprochenen Bereichen vermindert werden. Auch durch vielfältige technische Maßnahmen kann der Schadstoffausstoß verringert werden. Hohe Verbrennungstemperaturen führen zur Oxidation des Luftstickstoffs, eine ungenügende Sauerstoffzufuhr bei Verbrennungsprozessen hat die Bildung von Kohlenstoffmonooxid zur Folge. Lösungsmitteldämpfe müssen abgesaugt und gebunden werden.

© Ernst Klett Verlag GmbH, Stuttgart 2021 | www.klett.de | Alle Rechte vorbehalten. Von dieser Druckvorlage ist die Vervielfältigung für den eigenen Unterrichtsgebrauch gestattet. Die Kopiergebühren sind abgegolten.

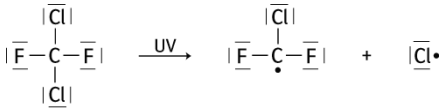
Zerstörung der Ozonschicht

1 Vollhalogenierte (chlorierte bzw. fluorierte) Kohlenwasserstoffe, also CFKW, wurden vor allem als Treibgase in Spraydosen und als Kühlmittel in Kühlgeräten und Klimaanlagen verwendet. Durch die unsachgemäße Entsorgung (z. B. auf Mülldeponien oder Müllverbrennungsanlagen) gelangten die CFKW in die Umwelt.

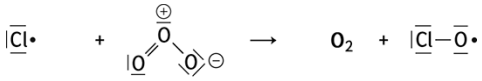
2 gelb: Kohlenstoff, rot: Fluor (bzw. Chlor), schwarz: Chlor (bzw. Fluor), blau: Sauerstoff

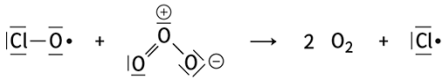
3 Benennung: Radikalische Reaktionen
Mechanismus:

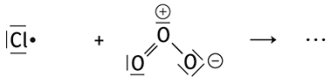
Startreaktion:



Reaktionskette:







4 Es fehlen die Abbruchreaktionen. Die Reaktionskette kommt immer dann zum Erliegen, wenn zwei Radikale aufeinandertreffen und damit als Reaktionsprodukt ein Stoff entsteht, der kein Radikal ist und daher nicht weiterreagiert. Der einfachste Fall wäre die Entstehung eines Chlor-Moleküls aus zwei Chlor-Radikalen.

© Ernst Klett Verlag GmbH, Stuttgart 2021 | www.klett.de | Alle Rechte vorbehalten. Von dieser Druckvorlage ist die Vervielfältigung für den eigenen Unterrichtsgebrauch gestattet. Die Kopiergebühren sind abgegolten.

Stickstoffkreislauf und Stickstoffdüngung

1

Düngung mit Gülle	→	Abbau von Harnstoff in Ammonium-Ion (Ammonifikation)	→	Ammonium-Ionen werden über Nitrit zu Nitrat abgebaut (Nitrifikation)

2 $NH_3(g) + H_2O(l) \rightleftharpoons NH_4^+(aq) + OH^-(ag)$

3

$$\overset{-III\ \ I}{2NH_4^+}(aq) + 3\overset{0}{O_2}(aq) \rightarrow 2\overset{I}{H^+}(aq) + 2\overset{III\ -II}{NO_2^-}(aq) + 2\overset{I\ \ -I}{H_2O}(l)$$

$$\overset{III\ -II}{2NO_2^-}(aq) + \overset{0}{O_2}(aq) \rightarrow 2\overset{V\ -II}{NO_3^-}(aq)$$

In der ersten Reaktion wird das Stickstoff-Atom des Ammonium-Ions oxidiert. Die Oxidationszahl erhöht sich von -III auf +III. Die Sauerstoff-Atome des Sauerstoff-Moleküls werden reduziert. Die Oxidationszahl wird verringert von 0 auf -II.
In der zweiten Reaktion ist auch eine Oxidation und Reduktion festzustellen. Das Stickstoff-Atom des Nitrit-Ions wird oxidiert. Die Oxidationszahl wird erhöht von +III auf +V. Auch hier werden die Sauerstoff-Atome des Sauerstoff-Moleküls reduziert. Die Oxidationszahl wird verringert von 0 auf -II.
Da bei beiden Reaktionen Oxidation und Reduktion synchron ablaufen, handelt es sich um Redox-reaktionen.

4 Durch das Pflügen kann der Landwirt für eine ausreichende Luftversorgung des Bodens sorgen. Dadurch wird der anaerobe Prozess der Denitrifikation verhindert und der erwünschte Prozess der Nitrifikation gefördert. Durch die Denitrifikation würden Nährsalze in gasförmigen Stickstoff umgewandelt, der entweichen würde. Der zuvor aufgebrachte Dünger würde durch die Denitrifikation teilweise „in die Luft verschwinden“.

© Ernst Klett Verlag GmbH, Stuttgart 2021 | www.klett.de | Alle Rechte vorbehalten. Von dieser Druckvorlage ist die Vervielfältigung für den eigenen Unterrichtsgebrauch gestattet. Die Kopiergebühren sind abgegolten.
Autor: Peter Nelle

Eutrophierung eines Sees

1 Aus der Perspektive des eutrophen Sees: Im bodennahen Wasser gibt es weniger Sauerstoff und mehr Kohlenstoffdioxid. Dies ist durch den vermehrten Abbau von Biomasse durch Destruenten (aerobe Bakterien) zu erklären. Bei diesem Abbau entsteht viel Ammoniak (in Form von Ammonium-Ionen) und Schwefelwasserstoff, die ins Wasser abgegeben werden. Aus diesem Grund ist die Konzentration dieser beiden Stoffen in Bodennähe höher als an der Oberfläche. Die Nitratkonzentration ist in Bodennähe geringer, da die Nitrat-Ionen von den aeroben Lebewesen aufgenommen werden.

2 Phosphatkreislauf: Im oligotrophen oder wenig eutrophen See herrschen überwiegend aerobe Bedingungen. Eisen(III)-Ionen (Fe^{3+}) binden einen Teil des Phosphats, das beim Abbau der Biomasse frei wird. Es lagert sich als schwer lösliches Eisen(III)-phosphat im Sediment ab. Dadurch wird das Pflanzenwachstum begrenzt. Im sauerstofffreien Wasser liegt Eisen als Fe^{2+}-Ionen vor, es entsteht lösliches Eisen(II)-phosphat. Die freien Phosphat-Ionen fördern das Pflanzenwachstum zusätzlich.
Stickstoffkreislauf: Unter aeroben Bedingungen (also im oligo- und wenig eutrophen See) oxidieren aerobe Bakterien (Nitrosomas-Bakterien) als Ammonium-Ionen eingetragenen Stickstoff zunächst zu Nitrit-Ionen (NO_2^-). Das Nitrit wird von anderen Bakterien (Nitrobacter) weiter zu Nitrat (NO_3^-) oxidiert. Das Nitrat wird von Lebewesen (z. B. Pflanzen) aufgenommen und in Biomasse umgewandelt. Der eingetragene Stickstoff stammt überwiegend aus der Zersetzung toter Biomasse. Herrschen anaerobe Bedingung wie im hypertrophen See, stellen die aeroben Bakterien ihre Tätigkeit ein bzw. sterben ab. Es reichern sich Ammonium-Ionen an, welche in einer Gleichgewichtsreaktion zu giftigem Ammoniak (NH_3) umgewandelt werden.

3 Beispielmaßnahmen:
- Zuführung von Sauerstoff mithilfe eines Limnogeräts: Dadurch wird zwar ein Fischsterben verhindert, jedoch auch der Abbau der organischen Substanz und damit die Anreicherung mit Mineralstoffen, die das Pflanzenwachstum verstärken, gefördert.
- Ausbaggern des Faulschlamms vom Seegrund.
- Ableiten von mineralstoffreichem und sauerstoffarmem Tiefenwasser, um z. B. die pflanzliche Produktion einzuschränken.
- Entfernen von Algen auf der Seeoberfläche oder Abernten von Pflanzen am Uferrand.
- Einbringen von Eisenchlorid in den See: So wird Eisenphosphat ausgefällt, sodass es den Produzenten (Pflanzen) nicht mehr zur Verfügung steht.
- langfristige Maßnahme: Der Mineralstoffgehalt muss niedrig gehalten werden, z. B. indem keine Abwässer eingeleitet werden. Dazu gehört auch der Einsatz dreistufiger Kläranlagen, da diese auch Phosphat und Nitrat aus den Abwässern entfernen.

© Ernst Klett Verlag GmbH, Stuttgart 2021 | www.klett.de | Alle Rechte vorbehalten. Von dieser Druckvorlage ist die Vervielfältigung für den eigenen Unterrichtsgebrauch gestattet. Die Kopiergebühren sind abgegolten.

Dünger, Mineraldünger und Überdüngung

1 Durch die Ernte werden dem Boden Nährsalze entzogen, die nicht durch Zersetzungsprozesse in den Boden zurückgelangen (wie es zum Beispiel in einem Wald ist). Daher müssen dem Boden die Nährsalze durch Düngung wieder zugeführt werden.

2

Fassmodell	Realität
Fassdaube	Element
Wasserstand	Ertrag
Länge der Fassdaube	Verhältnis zwischen der vorhandenen Menge des Elements im Boden und dem Bedarf an diesem Element
Die kürzeste Fassdaube begrenzt den Wasserstand im Fass.	Das im Vergleich zu seinem Bedarf im geringsten Maß vorhandene Element begrenzt den Ertrag.
Eine andere, höhere Fassdaube als die kürzeste ermöglicht nicht, dass der Wasserstand im Fass erhöht wird.	Ein verstärkter Einsatz eines anderen Elements ermöglicht keinen höheren Ertrag.

3 Bei der ersten Reaktion handelt es sich um eine Redoxreaktion, wie mithilfe der Oxidationszahlen zu erkennen ist. Die Wasserstoff-Atome werden oxidiert, die Stickstoff-Atome reduziert.

$$\overset{0}{3\,H_2}(g) + \overset{0}{N_2}(g) \rightleftharpoons \overset{-III\ I}{2\,NH_3}(g)$$

Bei der zweiten Reaktion handelt es sich um eine Säure-Base-Reaktion. Ein Proton wird von dem H_3O^+-Ion aus der Salpetersäure auf ein Ammoniak-Molekül übertragen:

$$NH_3(g) + H_3O^+(aq) + NO_3^-(aq) \rightarrow NH_4^+(aq) + NO_3^-(aq) + H_2O(l)$$

verkürzt:
$$NH_3(g) + HNO_3(aq) \rightarrow NH_4NO_3(aq)$$

4 Entstehung von Oxonium-Ionen:
$$NH_4^+(aq) + H_2O(l) \rightleftharpoons NH_3(g) + H_3O^+(aq)$$
$$CaCO_3(s) + 2\,H_3O^+(aq) \rightarrow Ca^{2+}(aq) + 3\,H_2O + CO_2$$

© Ernst Klett Verlag GmbH, Stuttgart 2021 | www.klett.de | Alle Rechte vorbehalten. Von dieser Druckvorlage ist die Vervielfältigung für den eigenen Unterrichtsgebrauch gestattet. Die Kopiergebühren sind abgegolten.

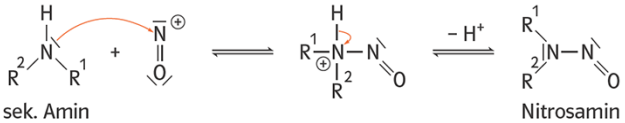
Autor: Peter Nelle

Nitrat und Nitrit in Lebensmitteln

1 Wenn ein Erwachsener 65 kg wiegt, darf er 240,5 mg Nitrat zu sich nehmen. Nimmt man an, dass der Kopfsalat 1000 mg/kg Nitrat enthält, entsprächen dies 240,5 g Salat. Ist der Nitratgehalt des Salats hoch (4000 mg/kg), dürften nur noch ca. 60 g Salat gegessen werden.
Zu berücksichtigen ist, dass eine kurzfristige Überschreitung des ADI-Wertes noch nicht schädlich ist. Durch gründliches Waschen und Herausschneiden der Mittelrippen kann der Nitratgehalt bei der Zubereitung verringert werden. Auch können die äußeren Blätter entfernt werden.

2 Dass Spinat nicht aufgewärmt werden darf, stammt aus früheren Zeiten. Das Problem beim Spinat ist der hohe Nitratgehalt. Durch mikrobiologische Prozesse wird das Nitrat zu Nitrit reduziert. Diese Prozesse werden durch das Warmhalten des Spinats begünstigt.
Um der Bildung von Nitrit vorzubeugen, sollte der Spinat nach dem Kochen nicht warmgehalten werden. Soll er für eine weitere Mahlzeit erwärmt werden, ist es am besten, den Spinat unmittelbar nach der Erstzubereitung in den Kühlschrank zu stellen. Dies unterbindet die mikrobiologischen Stoffwechselprozesse.

3 $HNO_2 + H^+ \rightleftharpoons NO^+ + H_2O$
Das Nitrosyl-Kation kann anschließend das Stickstoff-Atom des Amins elektrophil angreifen.



sek. Amin Nitrosamin

© Ernst Klett Verlag GmbH, Stuttgart 2021 | www.klett.de | Alle Rechte vorbehalten. Von dieser Druckvorlage ist die Vervielfältigung für den eigenen Unterrichtsgebrauch gestattet. Die Kopiergebühren sind abgegolten.
Autor: Peter Nelle
Illustrator: Lumina Datamatics GmbH, München