Organische Chemie

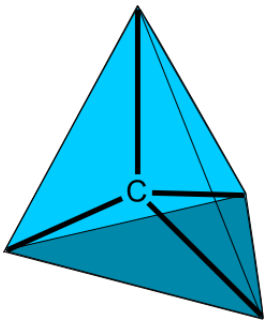
mit besonderen Bezügen zur Biologie und Ernährungslehre

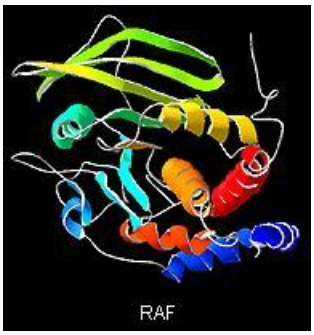
in der Sekundarstufe I +II

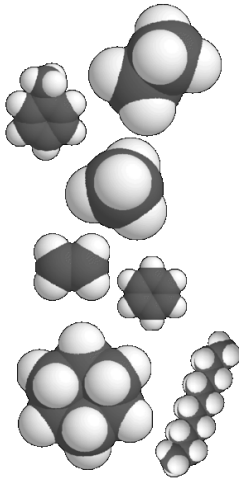
-- Teil 1: Kohlenwasserstoffe --

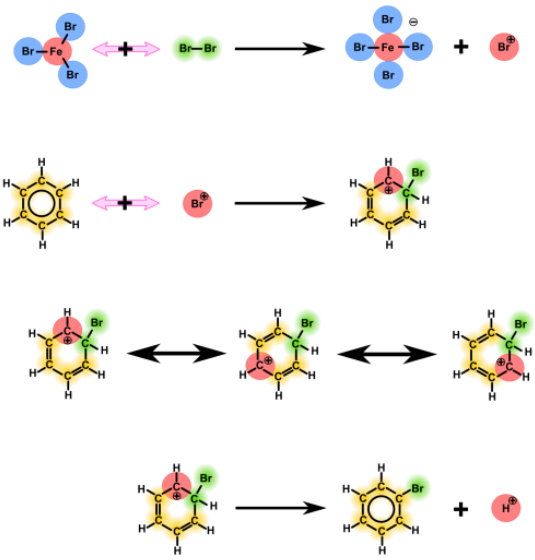
Alkane, Alkene, Alkine, Aromaten, …

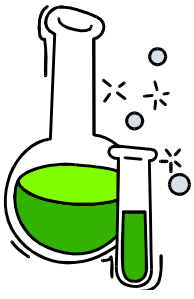
Autor: L. Drews

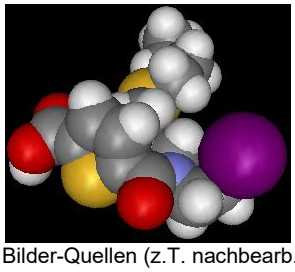


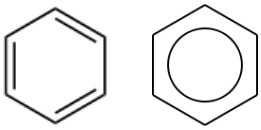










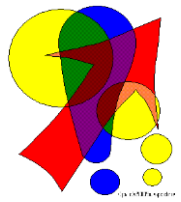


Bilder-Quellen (z.T. nachbearb.): commons.wikimedia.org (Algarech + Van Flamm); UD-Bildschirmschoner; …, lsp: dre

Version 3.0h (2026) teilredigierte Arbeitsversion!!!

(c,p) 2009-2026 lern-soft-projekt: drews

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



Nutzungsbestimmungen / Bemerkungen zur Verwendung durch Dritte:

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

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

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

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

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

(6) Diese Nutzungsbestimmungen gehören zu diesem Werk.

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

(8) Andere Urheberrechte bleiben von diesen Bestimmungen unberührt.

Rechte Anderer:

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

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

gnu free document licence (GFDL; gnu fdl)

creative commens (cc)



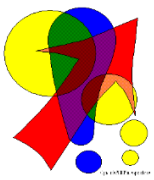
 od. neu  … Namensnennung

 … nichtkommerziell

 … in der gleichen Form

 … unter gleichen Bedingungen

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



Bemerkungen zur Rechtschreibung:

Dieses Skript folgt nicht zwangsläufig der neuen **ODER** alten deutschen Rechtschreibung. Vielmehr wird vom Recht auf künstlerische Freiheit, der Freiheit der Sprache und von der Autokorrektur des Textverarbeitungsprogramms microsoft ® WORD ® Gebrauch gemacht.

Für Hinweise auf echte Fehler ist der Autor immer dankbar.

Hauptthemen-Verzeichnis:

Seite

0. Vorbemerkungen 7

1. vorlaufende Betrachtungen 12
1.1. Cohlenstoff 12
1.1.1. Element Cohlenstoff 13
natürliche Modifikationen / Allotrope 15
1.1.2. anorganische Verbindungen des Cohlenstoffs 17
1.1.2.1. Cohlenstoffmonoxid 17
1.1.2.2. Cohlenstoffdioxid 18
1.1.2.3. Cohlensäure / Carbonat 20
1.2. organische Verbindungen des Cohlenstoffs 24
1.3. Braunkohle, Steinkohle und Antrazit 31
1.3.x. Entstehung 31
1.3.x. Gewinnung 32
1.3.x. Verwendung und Bedeutung 33
1.4. Erdöl und Erdgas 34
1.4.x. Entstehung 34
1.4.x. Gewinnung 35
1.4.x. Aufbereitung 35
1.4.x. Verwendung 39

2. Kohlenwasserstoffe (Cohlenstoffhydride) 40
2.1. gesättigte Kohlenwasserstoffe 42
2.1.1. Alkane 42
2.1.1.1. Bau, Struktur und Bennenung der Alkane 43
2.1.1.2. Eigenschaften der Alkane 68
2.1.1.3. Eigenschaften und Verwendung wichtiger Alkane 100
2.2. ungesättigte Kohlenwasserstoffe 106
2.2.1. Alkene 108
2.2.1.1. Bau, Struktur und Benennung der Alkene 109
2.2.1.3. Herstellung von Alkenen 115
2.2.1.3. Eigenschaften der Alkene 118
2.2.1.3. Eigenschaften und Verwendung wichtiger Alkene 138
2.2.2. Alkine 141
2.2.2.1. Bau, Struktur und Benennung der Alkine 141
2.2.2.2. Eigenschaften der Alkine 144
2.2.2.3. Eigenschaften und Verwendung wichtiger Alkine 148
2.2.3. Aromaten - Arene 154
2.2.3.1. Bau, Struktur und Benennung der Aromaten 155
2.2.3.2. Eigenschaften der Aromaten / Arene 162
2.2.3.3. ausgewählte Aromaten / Arene und ihre Derivate 176
Übersicht / Vergleich / Systematisierung / Gegenüberstellung Kohlenwasserstoffe 185
Isomerie-Arten (für Kohlenwasserstoffe und Halogen-Derivate) 187

Literatur und Quellen: 188

Inhaltsverzeichnis:

Seite

0. Vorbemerkungen 7
Exkurs: Labor-Arbeiten mit Lebensmitteln 10
Exkurs: Labor-Arbeiten mit lebenden Materialien 11

1. vorlaufende Betrachtungen 12
1.1. Cohlenstoff 12
1.1.1. Element Cohlenstoff 13
Definition(en): Allotropie 14
natürliche Modifikationen / Allotrope 15
Graphit 15
Diamant 15
Fullerene 16
Graphèn 16
Cohlenstoff-Nanofasern 16
1.1.2. anorganische Verbindungen des Cohlenstoffs 17
1.1.2.1. Cohlenstoffmonoxid 17
1.1.2.2. Cohlenstoffdioxid 18
1.1.2.3. Cohlensäure / Carbonat 20
Definition(en): Mesomerie 22
1.2. organische Verbindungen des Cohlenstoffs 24
historischer Exkurs: Organische Chemie oder die Chemie der zusammengesetzten Radikale 25
Definition(en): organische Stoffe 25
Definition(en): organische Chemie 26
1.3. Braunkohle, Steinkohle und Antrazit 31
1.3.x. Entstehung 31
1.3.x. Gewinnung 32
1.3.x. Verwendung und Bedeutung 33
1.4. Erdöl und Erdgas 34
1.4.x. Entstehung 34
1.4.x. Gewinnung 35
1.4.x. Aufbereitung 35
Fraktionierte Destillation / Rektifikation 36
Cracking 38
Reforming 38
1.4.x. Verwendung 39

2. Kohlenwasserstoffe (Cohlenstoffhydride) 40
Definition(en): Kohlenwasserstoffe (Cohlenstoffhydride) 41
2.1. gesättigte Kohlenwasserstoffe 42
2.1.1. Alkane 42
Definition(en): Alkane 42
2.1.1.1. Bau, Struktur und Bennenung der Alkane 43
räumliche Struktur der längerkettigen Alkane 50
Definition(en): Konformations-Isomerie 52
2.1.1.1.1. Molekül-Rümpfe – die Alkyle 55
Definition(en): Radikal 56
2.1.1.1.2. verzweigte Alkane 56
2.1.1.1.3. ringförmige Alkane – Cycloalkane 63
2.1.1.1.4. Alkan-Reste als Ionen 65
2.1.1.2. Eigenschaften der Alkane 68
2.1.1.2.1. physikalische Eigenschaften 70
Exkurs: Elektronegativität nach PAULING 73

2.1.1.2.2. chemische Eigenschaften – Reaktionen der Alkane ... 75
radikalische Substitution mit Halogenen: ... 77
Definition(en): Substitution ... 79
Definition(en): radikalische Substitution / S_R-Reaktion ... 79
radikalische Eleminierung / Dehydrierung: ... 80
Oxidation (Verbrennung): ... 83
Definition(en): Oxidation ... 83
Definition(en): vollständige Oxidation ... 84
Definition(en): unvollständige Oxidation ... 84
Cracken ... 84
Reforming ... 86
Exkurs: Oktan-Zahl / ROZ-Kennung des Benzins ... 89
Reaktions-Verhalten innerhalb der homologen Reihe ... 90
Exkurs: Bestimmung der Summenformel eines KWS mittels Thermolyse ... 91
Exkurs: Struktur-Aufklärung mittels Elementar-Analyse ... 92
Exkurs: Struktur-Aufklärung über die Dampfdichte-Bestimmung ... 93
Definition(en): Verhältnis-Formel / Elementar-Formel / (Substanz-Formel) ... 94
Definition(en): Molekül-Formel / Molekular-Formel / Summen-Formel ... 94
Exkurs: Struktur-Aufklärung über die Gefrierpunkts-Erniedrigung bzw. die Siedepunkt-Erhöhung ... 94
Definition(en): Summen-Formel / Brutto-Formel ... 97
2.1.1.2.3. Eigenschaften von Isomeren ... 98
2.1.1.3. Eigenschaften und Verwendung wichtiger Alkane ... 100
2.1.1.3.1. Methan ... 100
Exkurs: Methanhydrat ... 101
2.1.1.3.2. Propan, Butan ... 103
2.1.1.3.3. Pentan, Hexan ... 103
2.1.1.3.4. Heptan, Octan, Nonan, Decan ... 103
2.1.1.3.5. Alkane mit 11 bis 17 Cohlenstoff-Atomen ... 103
2.1.1.3.6. Alkane mit mehr als 17 Cohlenstoff-Atomen - Paraffine ... 104
2.2. ungesättigte Kohlenwasserstoffe ... 106
Definition(en): ungesättigte Cohlenwasserstoffe ... 107
2.2.1. Alkene ... 108
Definition(en): Alkene ... 108
2.2.1.1. Bau, Struktur und Benennung der Alkene ... 109
2.2.1.3. Herstellung von Alkenen ... 115
2.2.1.3. Eigenschaften der Alkene ... 118
2.2.1.2.1. chemische Eigenschaften – Reaktionen der Alkene ... 119
Mechanismus der elektrophilen Addition ... 121
elektrophile Addition im Detail ... 121
Definition(en): Addition ... 123
Definition(en): Elektrophil ... 123
Definition(en): elektrophile Addition; A_E-Reaktion ... 124
Additionen ohne Ende - Polyaddition ... 124
nucleophile Additionen ... 127
Definition(en): Nucleophil ... 127
Definition(en): nucleophile Addition, A_N-Reaktion ... 128
Reaktions-Verhalten innerhalb der homologen Reihe ... 130
Definition(en): I-Effekt / induktiver Effekt ... 131
Definition(en): M-Effekt / mesomerer Effekt ... 132
Nachweis der Doppel-Bindungen ... 135
2.2.1.3. Eigenschaften und Verwendung wichtiger Alkene ... 138
2.2.1.3.1. Ethen ... 138
2.2.1.3.2. Propen ... 139
2.2.1.3.3. Butadien ... 139
2.2.1.3.4. Lycopen ... 139

2.2.2. Alkine 141
Definition(en): Alkine 141
2.2.2.1. Bau, Struktur und Benennung der Alkine 141
2.2.2.2. Eigenschaften der Alkine 144
2.2.2.2.1. chemische Eigenschaften – Reaktionen der Alkine 145
Nachweis von Mehrfachbindungen mittels BAEYERscher Probe / BAEYERschem Test: 146
2.2.2.3. Eigenschaften und Verwendung wichtiger Alkine 148
2.2.2.3.1. Ethin 148
Exkurs: Festlegung von Oxidationszahlen 150
Definition(en): Oxidations-Zahl 150
Definition(en): Oxidation (im Sinne der Redox-Reaktion) 150
Definition(en):Reduktion (im Sinne der Redox-Reaktion) 151
Definition(en): Redox-Reaktion 151
Definition(en): korrespondierendes / konjugiertes Redox-Paar / Redox-System 151
Definition(en): Oxidations-Mittel 151
Definition(en): Reduktions-Mittel 151
2.2.3. Aromaten - Arene 154
Definition(en): Arene / Aromaten 155
2.2.3.1. Bau, Struktur und Benennung der Aromaten 155
Definition(en): Mesomerie 156
Definition(en): Mesomerie-Energie 157
Definition(en): Arene / Aromaten 159
Beispiele für (ein- und mehrkernige) Aromaten: 160
2.2.3.2. Eigenschaften der Aromaten / Arene 162
2.2.3.2.1. chemische Eigenschaften – Reaktionen der Aromaten / Arene 162
Definition(en): elektrophile Substitution; S_E-Reaktion 163
Reaktionsmechnismus der elektrophilen Substitution 164
weitere Reaktionen am Benzen 166
Definition(en): radikalische Addition; A_R-Reaktion 168
Zweit-Substitution an Aromaten 170
Definition(en): mesomere Effekte, M-Effekt 171
2.2.3.3. ausgewählte Aromaten / Arene und ihre Derivate 176
Übersicht / Vergleich / Systematisierung / Gegenüberstellung Kohlenwasserstoffe 185
Isomerie-Arten (für Kohlenwasserstoffe und Halogen-Derivate) 187
Literatur und Quellen: 188

0. Vorbemerkungen

durchgehender Kurs zur organischen Chemie, sollte alle relevanten Themen aus der Sek.I oder eben aus der Sek.II (einschließlich FOS, FG usw.) abdecken
Auswahl vieler Inhalte nach Bedeutung für Biologie bzw. Ernährungslehre
deshalb systematisch unvollständig (Hinweise auf fehlende Gruppen im Einleitungstext zur Stoffgruppe)
Gliederung so, wie Inhalte gebraucht werden (wenn keine Bedeutung für …, dann keine Aufnahme in die Gliederung (selten nur Querverweise oder Links)); Gliederungsebenen sind chemisch orientiert aber doch didaktisch betont gewählt; praktische Verwendbarkeit und Übersichtlichkeit (für unseren Zweck) geht vor abstrater wissenschaftlicher Strenge, sonst besteht auch die Gefahr der ellenlangen Gliederungen (1.4.2.1.2.1. Irgendwas). Leider klappt das aber nicht immer. Kompromiß!!!
Stoffe bzw. Stoffgruppen, die auch Inhalt des Faches sind, werden nicht weiter betrachtet – es sei denn, es gibt allgemeingültige Basisinhalte

einheitliches Niveau für ein gutes bis sehr gutes Grundwissen, bei alternativer Benutzung von Schul-Lehrbücher, Internet-Plattformen usw. usf. muss man selbst einschätzen, ob das dargebotene Niveau dem eigenen Zweck entspricht
Kursleiter der Zielkurse (Biologie bzw. Ernährungslehre) können den Umfang (mit-)bestimmen (Themenvorgabe od. Reduktion des Skripts (siehe → Nutzungsbestimmungen / Lizenz)

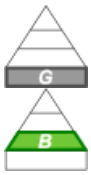
für Selbststudium und Nachschlagezwecke
das Lösen der Aufgaben ist bei Selbststudium zu empfehlen; zuerst Abgleich mit Gleichgesinnten und Gleichbetreffenen, günstig für Selbstkontrolle und selbstorganisiertes Lernen; Kursleiter der Zielkurse (Biologie bzw. Ernährungslehre) werden sicher bereit sein, die Lösungen nachzukontrollieren bzw. im Streitfall zu schlichten

einige Soffgruppen (z.B. Kohlenhydrate) werden auf dem Minimal-Niveau (z.B. für Biologen) betrachtet. Für die Ernährungslehre erfolgt eine ausführliche Betrachtung in einem speziellen Skript (z.B. Skript: Ernährungslehre).

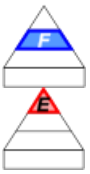
Durch spezielle Zeichen an der Kapitel-Überschrift wird die Eignung und die Bearbeitungs-Tiefe für die einzelnen Interessenten angezeigt. Der Erdball steht für Allgemeinwissen bzw. Grundwissen für die Biologen, Chemiker, wie auch für die Ernährungswissenschaftler (Trophologen). Das DNS-Molekül dient als Symbol für die Biologie und der Löffel – na dreimal dürfen Sie raten – natürlich für die Ernährungswissenschaft (Trophologie). Dem einen oder anderen wird dieses Skript's vielleicht auch zum Lernen der organischen Chemie ganz allgemein in die Hände gefallen sein, dann sind die Chemie-Themen besonders wichtig. Sie sind mit dem ERLENMEYER-Kolben-Symbol deutlich charakterisiert. Im Kästen neben dem Interessenbereich ist die konkrete Bedeutung für das jeweilige Fach bzw. den angedeuteten Lern-Bereich angegeben.



Ich teile in 4 grobe Bereiche ein, die aber unbedingt als diffus zu betrachten sind. Mit **G** ist das Grund-Niveau gemeint. Die Aussagen im folgenden Abschnitt sind als Allgemeinwissen für den Bereich anzusehen. In **B**-Abschnitten werden die Basis-Konzepte vorgestellt. Sie gehören quasi zum Lehrplan – in der Sek. II dann zum Grundkurs-Niveau. Das Leistungskurs-Niveau und der gehobene Anspruch



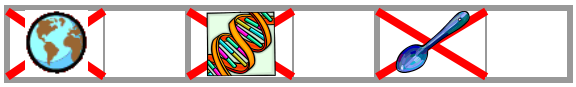
wird durch **F** für Fortgeschrittenen-Niveau repräsentiert.
Einzelne kleine Abschnitte sind für Experten (**E**)gedacht. Dabei handelt es sich oft um sehr interessante Details, die es auf Grund des Zeitmangels häufig nicht i9n die verpflichtenden Lehrpläne geschaft haben. Oft sind sie für das tiefe Verständnis von Zusammenhängen – oft auch in anderen Fächern – eigentlich unabdingbar.



Da manchmal die Inhalte über mehrere Niveau-Bereiche gehen, werden dann mehrere Schichten in der Niveau-Pyramide angezeigt.

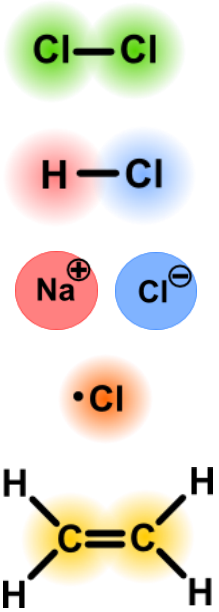


Viele Themen sind hier in der allgemeinen, organischen Chemie so knapp dargestellt, dass sie für die Einzelwissenschaft völlig unzureichend sind. In solchen Fällen ist das Gebietssymbol dann durchgestichen und die Bedeutungsmaße fehlen.



Hier muss man sich in der speziellen Literatur der jeweiligen Wissenschaft genauer informieren. In speziellen Skripten zur Biologie und Ernährungslehre werden diese Sachverhalte dann ausführlich dargestellt. Natürlich darf ein interessierter Leser die Kapitel auch durcharbeiten. Aber man darf nicht dem Irrglauben aufsitzen, der Inhalt würde dann auch für alle Fachfragen schon ausreichen.

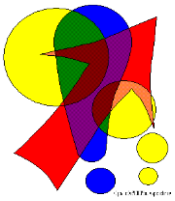
In den ersten Versionen dieses Skriptes und in älteren Abschnitten werden Sie feststellen, dass ausführliche und tieferschürfende chemische Aufklärungen zu Reaktions-Mechanismen fehlen. Eigentlich wollte ich dieses auch als Grund-Prinzip beibehalten. Viele Unterricht-Gespräche und die manchmal unendlich borenden Fragen zum Funktionieren der einzelnen Reaktionen hat mich dann doch bewogen die Reaktions-Mechanismen genauer aufzunehmen.
Bedeutsame Reaktionsmechanismen, wenn sie für das Titel-Thema dann wirklich interessant sind bzw. zum erweiterten Verständnis beitragen, folgen dann nach den allgemeinen Abschnitten auf extra Seiten (Abschnitten). Sie können ev. einfach überlesen werden oder garnicht mit ausgedruckt werden.
Zum Verständnis gehen wir bei vielen Reaktionen / Reaktions-Typen auf die wesentlichen Abläufe ein. Zur Unterstützung verwenden wir hier Formeln mit hinterlegten Farb-Kennungen. Die stehen für die Polaritäten oder besondere "chemische" Verhältnisse.
Im Skript nennen wir diese Kennzeichnung "Ladungs-Modell für Reaktions-Mechanismen".



Gleichzeitig geben wir bei den Reaktionen auch immer noch einige Hinweise oder Erläuterungen zu den Vorgängen in kursiv gesetzten Texten an. Auch sie sollen vorrangig dem Verständnis dienen.
Neutrale Verhältnisse in Bindungen werden grün gekennzeichnet. Polare Bindungen und die resultierenden Ladungs-Verhältnisse werden durch rötliche (für positiv) und bläuliche Wolken-artige Hinterlegung dargestellt. Echte Ionen, wie hier z.B. das Natrium- und das Chlorid-Ion erhalten vollgefärbte Hintergründe.
In der organischen Chemie treten häufig auch Radikale auf. Sie zeichnen sich durch ungepaarte Elektronen aus (dafür steht der Punkt (•)). Da sie besonders reaktiv sind, haben wir uns für eine orange Hintergrund-Wolke entschieden.
Kommen in Stoffen an bestimmten Stellen gehäuft Elektronen vor, dann zeigen wir diese mit gelblichen Wolken an. Das entspricht auch dem üblichen Kennzeichnen solcher Bindungen (sogenannte "Bananen-Bindungen"). Mehr dazu aber später.
Noch einige Hinweise zur Verwendung dieser Kennzeichnung:
Die Wasserstoff-Atome bzw. deren Bindungen zum Cohlenstoff werden in den meisten Fällen einfach ignoriert. Wie der Leser noch sehen wird, ist Wasserstoff nur schmückendes Beiwerk in der organischen Chemie. Die Abbildungen würden auch zu bunt werden und damit die Übersichtlichkeit leiden. Die Ladungen usw. werden immer gleichgroß dargestellt. Das wesentlich kleinere Natrium-Ion bekommt bei uns die gleiche Kennzeichnung wie das wensentlich größere Chlorid-Ion. Wenn die Größen eine Rolle spielen dann benutzen wir andere Modelle.

Fachbegriffe und vor allem viele chemische Stoff-Namen sind echte Zungenbrecher. Wenn man bei vielen nicht weiss, wie sie in Silben zerlegt und wo betont werden muss, dann können sie zu echten Kommunikations-Hindernissen werden. Wir wollen hier eine neue Formatierung versuchen, um hier wenigstens ein wenig Abhilfe zu schaffen. Die Silben bzw. Wortstämme einzelner Fachwörter werden mit unterschiedlichen Farbtönen hinterlegt. Die besonders zu betonenden Silben – zumeist die vorletzte – werden nochmals extra eingefärbt.

Colorierung 5,7-Dichlorhexadecansäure



Aus Layout- und Aufwands-Gründen wird aber nicht jedes Fachwort und auch nicht jede Wiederholung so gestaltet. Vielmehr sollen neu eingeführte Wörter so charakterisiert werden und solche Begriffe, die lange nicht aufgetaucht sind oder nur selten benutzt werden. An Erfahrungen und Verbesserungs-Vorschlägen hinsichtlich dieser Formatierung bin ich immer interessiert.
Da ich erst in den neuen Texten ab der Version von 2012 mit dieser Formatierung anfange, werden ältere Text-Teile diese Formatierung erst nach ihrer Überarbeitung erhalten. Ich verstehe die Formatierung auch als Hilfsmittel und nicht als obligatorisches Mittel!

Echte "Chemiker" werden sicher auch die systematische Darstellung der verschiedensten speziellen Stoffe vermissen. Für die Herausbildung von verwertbaren Kenntnissen für die Ernährungslehre und die Biologie spielen solche Kenntnisse eine untergeordnete Rolle. Der aufmerksame Leser wird viele Darstellung in Ausgangsstoffklassen finden. Dort sind dann auch immer Links auf die dargestellte Stoffklasse angezeigt, obwohl dies didaktisch eigentlich nicht immer sinnvoll ist. Aber dieses Skript will ja auch kein gewöhnliches Organik-Büchlein sein.
wo allgemeine Grundkenntnisse aus anderen Wissenschaften gebraucht werden, die von grundlegender Bedeutung für das Verständnis eines Sachverhaltes sind, dann werden diese meist als Exkurs näher erläutert. Die Sachverhalte sollen nicht nur einfach aufgezählt und gepredigt, sondern auch verstanden werden. Die Auswahl erfolgt nach meinen Lehr-Erfahrungen. Besonderer Wert wird auch auf solche Sachverhalte gelegt, die in der populären Literatur zu oberflächlich oder vielleicht auch falsch dargestellt werden.

Sollten wichtige Stoffe oder Stoffgruppen mit allgemeinem Interesse fehlen, dann ist ein Hinweis an die / den Autor(en) gewünscht.
Spezialwissen gehört in spezielle Literatur. Deren Autoren sind weitaus kompetenter.

Experiment mit lebenden Materialien oder Organismen

Lebendes Material und lebende Organismen sollten immer besonders vorsichtig benutzt werden. Im Normalfall sollten die Experimente so angelegt sein, dass die Organismen nicht dauerhaft beschädigt oder gequält werden. Geschützte Organanismen dürfen in keinem Fall für diese Experimente verwendet werden.

Lebensmittel-Experiment

Lebensmittel-Experimente sind solche Experimente bei denen Produkte entstehen, die auch wirklich probier-, trink- oder essbar sind (als Ausnahme in der Chemie!). Diese Experimente müssen unbedingt in einer Labor-Küche, in einer normalen Küche oder in Laboren mit speziellen Labor-Gegenständen (entweder neu oder speziell gelagert und benutzt) für Lebensmittel durchgeführt werden.
Sind die Umstände um die benutzten Geräte unklar, dann sollte auf die Aufnahme (essen oder trinken) größerer Mengen verzichtet werden!

Haushalts-Experiment

Dieser Versuch kann mit Haushaltsmitteln und auch zuhause durchgeführt werden! Trotzdem bitte unbedingt die allgemeinen Regeln und Vorsichtsmaßnahmen beim Experimentieren beachten!

Lehrer- / Demonstrations-Experiment

Bei diesen Experimenten werden besondere Chemikalien benutzt oder sie benötigen besondere Vorrichtungen oder erfordern die Einhaltung besonderer Sicherheits-Vorschriften. Sie dürfen nur im regulären Labor von geschultem oder direkt unterwiesenem Personal durchgeführt werden!

Exkurs: Labor-Arbeiten mit Lebensmitteln

In der "normalen" Chemie gelten viele Sicherheits-Vorschriften, die prinzipiell auch für unsere Lebensmittel-Experimente gelten.
Das Experimentieren mit Lebensmitteln kommt aber nicht ohne das Schmecken aus. Sollten solche Versuche durchgeführt werden sollen, dann müssen einige spezielle Regelungen getroffen werden, die für eine ausreichende Hygiene und Reinheit sorgen. Weiterhin müssen die Gefahren durch Reststoffe (Normal-Chemikalien, …) weitgehend ausgeschlossen werden.
Für Untersuchungen von Lebensmitteln sollten unbedingt die folgenden Regelungen und Hinweise eingehalten werden:

- Sollte bei Experimenten probiert werden oder die Lebensmittel später verwendet werden, dann sollte in einer Küche, Labor-Küche oder zumindestens in einem vorher gereinigten und gelüfteten Labor gearbeitet werden!
- Verwenden Sie extra Schutz-Kleidung (extra oder frisch gewaschener Kittel, Kopfbedeckung (Haube, Kochmütze, …))
- Verwenden Sie extra / neue Chemikalien-Sätze (Gefäße möglichst kennzeichnen z.B. mit einem "L")! Die angebrauchten Chemikalien können dann später im "Normal"-Labor aufgebraucht werden! Verwenden Sie – wenn verfügbar – extra saubere Chemikalien für die Lebensmittel!
- Verwenden Sie extra Geräte (möglichst kennzeichnen z.B. mit einem "L")! Geräte können dann später im "Normal"-Labor weiterverwendet (endgenutzt) werden!
- Geräte, die auch zu anderen Zwecken genutzt werden müssen vor der Nutzung für Lebensmittel nochmals extra reinigen (abwischen, ausspülen, lüften, …)
- Probieren Sie immer nur ihre eigenen Produkte und solche, die von anderen explizit freigegeben wurden (kleines Schildchen mit Beschriftung, um was es sich handelt!)!
- Probieren Sie nach der optischen Prüfung zuerst immer nur kleine Mengen! Nur was einwandfrei aussieht und schmeckt, kann dann auch weiter probiert werden!

(c,p) 2009-2026 lsp: dre

Exkurs: Labor-Arbeiten mit lebenden Materialien

Im Biologie-Labor gelten die typischen Regeln für Chemie-Labore. Zum Schutz der Menschen müssen noch einige hygienische Maßnahmen eingehalten werden. Aber auch der Tierschutz muß beachtet werden. Unnötiges Quälen von Tieren kann nicht geduldet werden.
Für das Arbeiten mit lebenden Organismen oder frischen Teilen sollten unbedingt die folgenden Regelungen und Hinweise eingehalten werden:

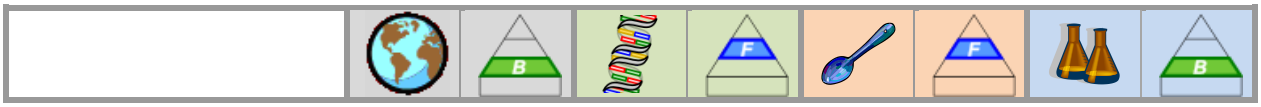
- Mikroorganismen unter dem Abzug hantieren, PETRI-Schalen mit Nährmedien nach dem Beimpfen mit Klebeband sichern und im Beisein von Schülern, Auszubildenden od. Studenten nicht mehr öffnen
- Tier-Versuche möglichst vermeiden und deren Anzahl auf ein Minimum reduzieren, Tiere zum Sezieren möglichst schnell und Schmerz-los töten
- für medizinische Untersuchungen möglichst kein Chemie- oder mikrobiologisches Labor benutzen
- Geräte für Untersuchungen an Menschen oder zur Proben-Entnahme vorher desinfizieren, nur einmal (für eine Person) benutzen und nach dem Gebrauch zur Reinigung und erneuten Desinfektion geben
- Untersuchungen mit menschlichen Materialien, Proben usw. möglichst immer auf eigenes Gewebe / eigene Körper-Flüssigkeiten beschränken, kein Blut od. anderes Material, was prinzipiell infiziert sein kann, von anderen Personen benutzen
- alle biologischen Materialien ordnungsgemäß und sauber entsorgen (ev. Bestimmungen für größere Tierkörper oder Materialmengen beachten!)

interessante Links:
→ Molekül-Visualisierung: https://www.chemie-interaktiv.net/jsmol_viewer_4a.html

(c,p) 2009-2026 lsp: dre

1. vorlaufende Betrachtungen

1.1. Cohlenstoff

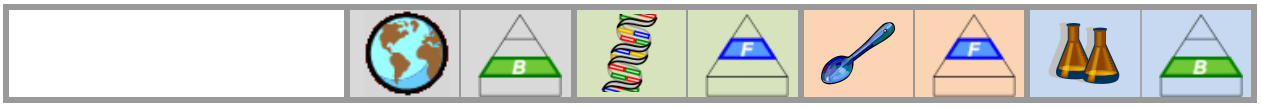


Problem-Fragen für Selbstorganisiertes Lernen
Welche Eigenschaften charakterisieren Cohlenstoff und seine Oxide? Welche Bedeutung haben diese Stoffe für unser Leben? Was ist Cohlensäure? Warum ist Cohlenstoffmonoxid so giftig? Ist Cohlenstoffdioxid auch giftig – es steht meist gar nich bei den Giften? Was sind Modifikation? Was sind Allotrope?

Cohlenstoff – das ist doch bestimmt der Stoff aus dem Kohle ist. Ja genau so ist es. Aber Cohlenstoff ist noch viel, viel mehr. Auch Diamanten sind seltsamerweise Cohlenstoff. Mal schwarz mal farblos, da ist es schon interessant, mal hinter die Kullissen zu schauen. In der organischen Chemie wird uns der Cohlenstoff quasi als Rückrat der Verbindungen ständig begleiten.
Cohlenstoff ist auf unserer Erde das 13.-häufigste Element. Als solches wurde es aber erst im 18. Jahrhundert charakterisiert. Das lag vor allem an der großen Wandelbarkeit. Ob als schwarzes, relativ leichtes, weiches und elektrisch leitendes Graphit oder als harter, farbloser, kristalliner und nicht-leitender Diamant – immer haben wir es mit Cohlenstoff zu tun.
Man schätzt die Menge des Cohlenstoffs auf und in der Erde auf rund 30 Billiarden Tonnen ($30 * 10^{15}$ t). Ungefähr die Hälfte ($14 * 10^{15}$ t) stecken in Carbonat-Gesteinen. Dies sind z.B. Marmor, Kreide, Kalksandstein. In elementarer Form kommt rund 1 Billiarde in Schiefer-Gestein vor. In den Bereichen, die wir gewöhnlich mit viel Cohlenstoff assoziieren, wie Steinkohle, Braunkohle, Erdöl, Erdgas und das Cohlendioxid in der Luft stellen einen eher geringen Anteil an der Gesamt-Cohlenstoff-Menge. Das im Meerwasser gelöste Cohlendioxid stellt mit 30 Billionen Tonnen ($30 * 10^{12}$ t) noch eine recht große Menge dar. Das sind aber von der Gesamtmenge aus gesehen nur ein 1.000stel – oder anders ausgedrückt 0,1%. In der Atmosphäre und in der belebten Natur finden wir gerade mal 600 Milliarden ($600 * 10^{9}$ t) bzw. 300 Milliarden Tonnen ($300 * 10^{9}$ t). Der Cohlenstoff, welcher von uns der Biosphäre zugeordnet wird, steckt fast ausschließlich in Pflanzen (99%). Nur rund 1% machen die Tiere und Menschen aus.
Die "großen" Cohlenstoff-Speicher, wie Kohle, Erdöl und –gas machen gerade mal 600 Milliarden Tonnen ($600 * 10^{9}$ t) aus. Trotzdem sind diese "wenigen" Tonnen mit ein Grund dafür, dass wir heute auf der Erde eine Sauerstoff-halte Atmosphäre haben und nicht in einer CO_2-reichen Ur-Atmosphäre ersticken.
Ökologisch und chemisch gesehen stellen die verschiedenen Cohlenstoff-Quellen (Gesteine, Cohlendioxid, …) komplizierte dynamische Gleichgewichte dar. So wird es bei einer weiter steigenden Durchschnitts-Temperatur auf der Erde (z.B. Treibhaus-Effekt) oder mit immer saureren Regen zur Verstärkung der CO_2-Freisetzung aus Meerwasser und Gesteinen kommen. Die Pflanzen würden davon wahrscheinlich profitieren, für uns Menschen wäre es eher problematisch, auch wenn die Erhöhung nur vielleicht 0,01% ausmachen würde.

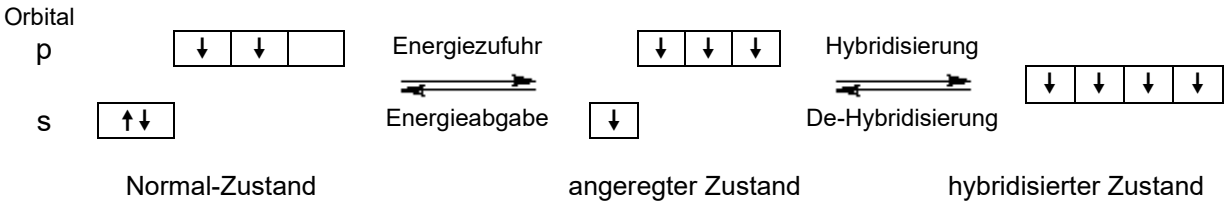
(c,p) 2009-2026 lsp: dre

1.1.1. Element Cohlenstoff

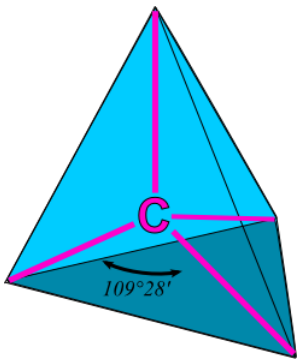


Das Element Cohlenstoff (Kohlenstoff) findet man im Periodensystem der Elemente (PSE) unter der Ordnungszahl 6 ($_6$C). Dies bedeutet, dass jedes Atom 6 Protonen und 6 Elektronen beinhaltet. Im Atom-Kern können neben den Protonen noch 6 bis 8 Neutronen sein. Damit ergibt sich eine Massezahl von 12 bis 14 u (1 u … atomare Masseeinheit = 1,661 * 10^{-27} kg = 1,661 * 10^{-24} g). Somit geben sich die Isotope ^{12}C, ^{13}C und ^{14}C. Davon ist das ^{14}C-Isotop wegen seiner Radioaktivität und der dazu gehörenden Halbwertzeit von Jahren für viele Untersuchungen interessant. C14-Messungen (exakt: 14C-Messungen) werden z.B. für die Alterbestimmung benutzt. Im Bereich von tausend bis einigen hundertausend Jahren lässt sich damit das Alter von biologischen Resten sehr gut bestimmen.
Als Element der IV. Hauptgruppe
sind die Möglichkeiten zur Ionen-Bildung sehr eingeschränkt. Die dafür notwendige Energie wäre beachtlich. Beim Cohlenstoff finden wir eine deuliche Tendenz zur Atombindung. , vier Außen-Elektronen → Vierbindigkeit (sozusagen Grundregel der organischen Chemie)
1. Periode → Möglichkeit von Mehrfachbindungen, keine d-Orbitale → keine weiteren Bindungen über d-Valenzen
Ionen-Bildung sehr aufwändig

Normalerweise sind zwei Außen-Elektronen auf dem 2s-Orbital und zwei Elektronen auf zwei der drei 2p-Orbitale verteilt. Wenn dies so sein sollte, dann müsste es bei bestimmten Stoffen z.B. bei Methan CH_4 jeweils zwei verschiedene Bindungen zu Wasserstoff geben. Zwei Wasserstoff-Atome müssten an den s-Elektronen hängen und zwei H-Atome an den p-Elektronen. Die Bindungen müssten auch unterschiedlich stark sein und damit unterschiedliche Energie-Zustände haben. Das Molekül sollte dann unsymetrisch sein.
Das alles konnte nicht beobachtet werden. In der Praxis ist Methan ein symetrisches Molekül mit vier gleichartigen Bindungen. Man war deshalb gezwungen das "normale" Modell der Molekül-Orbitale um die Hybridisierung (Gleichmachung) zu ergänzen.
Durch eine kurzzeitige Energie-Zufuhr von Nachbar-Atomen oder durch eine erhöhte Temperatur geht das Cohlenstoff-Atom in einen angeregten Zustand über.



Im angeregten Zustand verteilen sich die Elektronen gleichmäßig auf alle Orbitale der 2. Schale. Man nennt diesen Schritt auch Promotion.
Durch Hybridisierung (Verschmelzung) des s- und der drei p-Orbitale entstehen vier gleichartige sp^3-Hybrid-Orbitale. Dadurch entstehen vier gleichartige Bindungs-Möglichkeiten.
Das kugelförmige s-Orbital und die drei Hantel-förmigen p-Orbitale ergeben im hybridisierten Zustand insgesamt vier Hantel-förmige Hybrid-Orbitale. Diese ordnen sich wegen der maximalen gegenseitigen Abstoßung (der negativ geladenen Elektronen) im Raum so an, dass ein maximaler Abstand zwischen ihnen besteht (GILLESPIE-Modell, Elektronenpaar-Abstoßungs-Modell). Es ergibt sich ein Tetraeder (Tetraeder-Modell). Im Zentrum befindet sich der Cohlenstoff-Atomkern. Die Spitzen entsprechen den Bindungsrichtungen. Der Raumwinkel zwischen den Bindungen beträgt 109°28'.



Unter speziellen Bedingungen sind auch Doppel- oder Dreifachbindungen zwischen Cohlenstoff-Atomen möglich. Diese beruhen auf spezielle Hybridisierungen und werden bei den ungesättigten Kohlenwasserstoffen ausführlich behandelt. Die Bindungswinkel weichen dann vom Tetraeder-Winkel ab.

Grundsätzlich gilt aber, dass sich die Bindungen (gemeinsam genutzte Elektronen-Paare) im Raum maximal abstoßen.

Cohlenstoff nimmt eine Mittelstellung zwischen Lithium – einem gutem Elektronen-Donator (Elektronen-Abgeber) – und Fluor – einem starken Elektronen-Akzeptor (Elektronen-Aufnehmer) – ein. Die Atome des Cohlenstoff neigen kaum zur Aufnahme oder Abgabe ihrer Außenelektronen. Deshalb finden wir in organischen Verbindungen auch vorrangig Cohlenstoff-Atome mit anderen Atomen über Atombindungen verbunden. Mit einigen Partnern werden polare Atombindungen eingegangen. Sehr selten sind polare Bindungen (Ionen-Beziehungen).
keine Elektronenlücke (wie z.B. Bor (linker Nachbar im PSE)
kein freies Elektronenpaar (z.B. wie rechter Nachbar im PSE: Stickstoff)

Bindungen sehr stabil, allgemein wenig reaktionsfreudig
Bindung mit anderen Atomen und zu sich selbst im Bereich von 200 – 400 kJ/mol; Bindungs-Länge 0,154 nm (= 154 pm = 1,54 Å)

ausgeprägte Bindungsfähigkeit zu sich selbst (also C-C-Bindungen, auch aus dem Elementbereich heraus), in verschiedenen Varianten Einfachbindungen (C-C), Doppelbindungen (C=C) und Dreifachbindungen (C≡C).
Gute Bindungsmöglichkeiten zu anderen Atomen: H, O, S, N, P, Cl, Br, I, F, …

irdische Bedingungen – sehr gute Bedingungen für C-Chemie

kommt ein Element in mehreren Modifikationen vor, dann sprechen wir von **Allotropie**. Es handelt sich zwar um ein und dasselbe Element (Atome mit gleicher Protonen-Anzahl) aber unterschiedlichen Bau-Strukturen (Struktur-Formen).
Cohlenstoff kommt in den allotropen Formen Graphit, Diamant, Fulleren, Graphen und Nanoröhren vor.

Definition(en): Allotropie
Allotropie ist das Phänomen, dass ein Element im gleichen Aggregatzustand in zwei oder mehr verschiedenen (Struktur-)Formen vorkommt. Diese Formen unterscheiden sich in mehreren physikalischen und chemischen Eigenschaften.

Aufgaben:

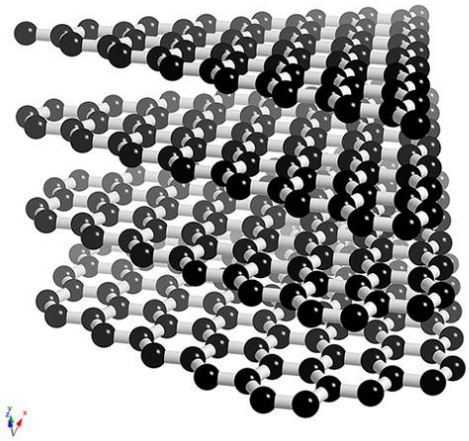
1. *Wenn sich die Element-Formen in mehreren physikalischen und chemischen Eigenschaften unterscheiden, müssten es dann nicht auch unterschiedliche Elemente sein? Setzen Sie sich mit dem Problem auseinander!*
2. *Welche allotrope Elemente gibt es?*

natürliche Modifikationen / Allotrope

Graphit

Ruß entsteht normalerweise bei Verbrennung von organischen Verbindungen unter Sauerstoff-Mangel, sonst vorrangig Cohlendioxid und bei einsetzendem Sauerstoff-Mangel auch Cohlenmonoxid)

Schmelzpunkt 3800 °C
Siedepunkt 4200 °C



Q: www.3dchem.com

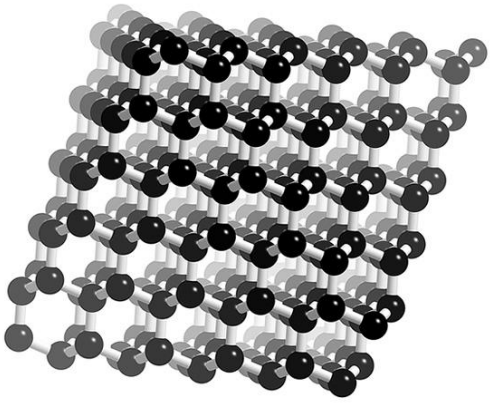
Diamant

natürlich nur unter extrem hohem Druck und Temperaturen (in Gesteinen), sehr hart, farblos, brennbar!, in Biologie und Ernährungslehre aber ohne Bedeutung

größte Härte Härtestufe 10 nach MOHS

Handelsmaß ist Karat (= 1/5 g)

nur 5 % der Weltproduktion wird in der Schmuckindustrie umgesetzt
Hauptnutzung in der Schleif- und Bohr-Industrie

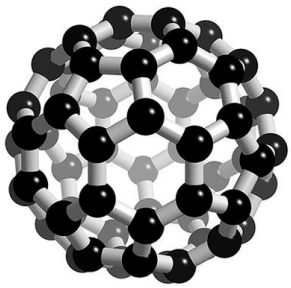


Q: www.3dchem.com

(c,p) 2009-2026 lsp: dre

Fullerene

auch im Ruß enthalten, sehr stabil, brennbar, verhält sich chemisch wie Graphit, deshalb keine besondere Bedeutung für Biologie und Ernährungslehre



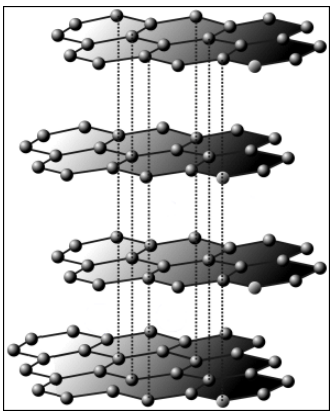
Q: www.3dchem.com

Graphèn

Graphèn

flächige, in der Fläche Waben-förmig Anordnung der C-Atome
besteht hur aus einer Atom-Schicht
kann mit anderen Graphen-Schichten dann als Graphit verstanden werden

3 Bindungen zu direkten Nachbarn, 3. Bindung als delokalisierte Doppel-Bindung
wechselt praktisch ständig über die drei Bindungen hinweg



Graphen-Schichten – quasi als Graphit
Q: de.wikipedia.org (Antom, Mattman723)

am Rand ev. andere Atome od. Strukturen, die aber in der Gesamtheit untergehen

künstliche Modifikationen (Cohle-Fasern, …) keine Bedeutung in der Biologie, in der Ernährungslehre nur sehr geringe Anknüpfungspunkte z.B. Kochgeschirr

Cohlenstoff-Nanofasern

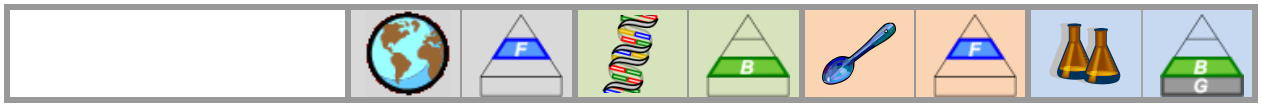
Graphen-Schicht zur Röhre geformt

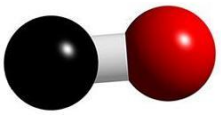
(c,p) 2009-2026 lsp: dre

1.1.2. anorganische Verbindungen des Cohlenstoffs

Zu den anorganischen Verbindungen des Cohlenstoff zählen seine Oxide, die Kohlensäure und deren Salze sowie die Carbide.

1.1.2.1. Cohlenstoffmonoxid





Q: www.3dchem.com
bearb. drews; Orig. "CO_2":

Dieses Oxid des Cohlenstoffs hat eher eine untergeordnete Bedeutung in Biologie und Ernährungslehre. Cohlenmonoxid (CO) entsteht bei der unvollständigen Verbrennung (unter Sauerstoff-Mangel) von elementaren Cohlenstoff.

$$2\ C + O_2 \longrightarrow 2\ CO \quad ; \Delta_R H = -172\ kJ / mol$$

In der Industrie benutzt man auch die Redoxreaktion:

$$C + CO_2 \longrightarrow 2\ CO \quad ; \Delta_R H = +173\ kJ / mol$$ Symproportionierung

zur Herstellung von Cohlenmonoxid (bei der Eisen-Herstellung im Hochofen-Prozeß). Außer als Synthese-Gas wird es besonders als Brenn-Gas (Stadtgas; im Hochofenprozeß) verwendet. Die Verbrennung liefert sehr viel Energie:

$$2\ CO + O_2 \longrightarrow 2\ CO_2 \quad ; \Delta_R H = -566\ kJ / mol$$

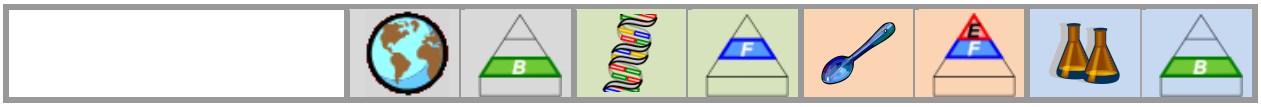
Es ist ein farbloses, geschmackloses, geruchloses, wasserunlösliches und giftiges Gas. Seine besondere Giftigkeit basiert auf seiner erhöhten Affinität zum Sauerstoff-Transporteur Hämoglobin in unserem Blut. Diese ist ungefähr 300x größer als die von Sauerstoff zu Hämoglobin. Außerdem ist die Bindung von Cohlenmonoxid irreversibel, d.h. sie bricht nicht wieder auf. Bei Sauerstoff passiert dies in Abhängigkeit vom Partialdruck (anderes Maß für die Sauerstoff-Konzentration) in den Sauerstoff-bedürftigen Organen. Schon 0,2 % CO in der Umgebungsluft bewirken über einen längeren Zeitraum eine Vergiftung. Deshalb ist die regelmäßige Kontrolle von Öfen oder offenen Feuern (Kaminen) während der Benutzung und auch durch den Schornsteinfeger sehr wichtig und u.U. lebensrettend. Wenn Cohlenmonoxid als Stadtgas verwendet wird, dann werden Geruchsstoffe beigemischt, um eine versehentliche Vergiftung zu verhindern.
CO hat ein Litergewicht von 1,25 g. Damit ist es leichter als Luft. Die Bindung im CO-Molekül ist für Cohlenstoff recht ungewöhnlich. Sie ist nur dreibindig. Üblich sind sonst vier Bindungen. Das Molekül besitzt zwei entgegengesetzte Ladungen. Deshalb handelt es sich beim CO-Molekül um einen Dipol.

$$|\,C \overset{\oplus}{\equiv} O^{\ominus}\,|$$

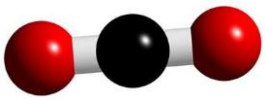
Aufgaben:

1. Berechnen Sie (ohne Tafelwerk!) die Dichte von Cohlenstoffmonoxid!

1.1.2.2. Cohlenstoffdioxid



Wird Cohlenstoff vollständig oxidiert, dann entsteht Cohlenstoffdioxid (CO_2):



Q: www.3dchem.com

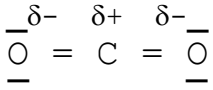
$$C + O_2 \longrightarrow CO_2 \quad ; \Delta_R H = -394 \text{ kJ / mol}$$

Weiterhin eignet sich Cohlenmonoxid als Ausgangsstoff für die Herstellung von Cohlendioxid. Da Cohlenmonoxid noch nicht vollständig oxidiert ist, läßt es sich verbrennen:

$$2\,CO + O_2 \longrightarrow 2\,CO_2 \quad ; \Delta_R H = -566 \text{ kJ / mol}$$

Das farblose Gas Cohlenstoffdioxid (selten auch: Cohlendioxid) ist wasserlöslich. Der größte Anteil an der Löslichkeit beruht dabei auf die physikalische Gas-Lösung im Wasser. Weiterhin bildet sich die sehr instabile Cohlensäure (Kohlensäure, H_2CO_3; → 1.2.3. Cohlensäure / Carbonat).

Das Molekül des Cohlendioxids ist linear gebaut. Im Zentrum liegt das C-Atom. Die beiden Sauerstoff-Atome besitzen eine partielle negative Ladung, da sie durch ihre relativ hohe Elektronegativität (3,5 im Vergleich zu 2,5 bei C) die Elektronen recht stark zu sich ziehen.



Cohlendioxid ist die Cohlenstoff-Quelle der Pflanzen. Als Endprodukt der Zellatmung wird es beim Menschen hauptsächlich mit der Ausatemluft ausgeschieden. Hier beträgt die Konzetration den 140-fachen Wert des normalen Wertes in der Erdatmosphäre (rund 0,04%).

Cohlendioxid ist nicht giftig – wirkt aber erstickend. Da es schwerer als Luft ist, ist besonders bei geschlossenen Räumen und Senken (kleine Täler, Kuhlen, …) mit einem geringen Luftaustausch erhöhte Vorsicht angebracht.

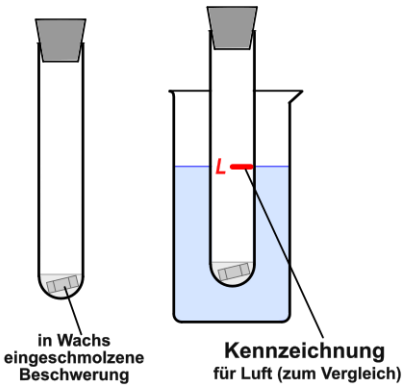
Die normale Ausatemluft von Tieren und auch die des Menschen enthält 4 bis 5 % CO_2. Mehrfaches Ein- und Ausatmen der gleichen Luft wirkt also auch erstickend. Deshalb dürfen z.B. Schnorchel eine bestimmte Länge (Innenvolumen) nicht überschreiten, da sonst die Menge der erneuerten Luft zu gering wird. Als "Erste Hilfe"-Maßnahme bei einer unwillkürlichen Hyperventilation (Hechelatmung) wird deshalb das Überstreifen einer Plastiktüte genutzt. Durch mehrfaches Ein- und Ausatmen der gleichen Luft steigt der CO_2-Gehalt und die natürliche Atemregulation kann wieder einsetzen.

Bei – 78 °C (und erhöhtem Druck) wird Cohlendioxid fest. Dabei wird nicht erst der flüssige Aggretgatzustand eingenommen, sondern sofort der feste. Bei steigenden Temperaturen sublimiert festes Cohlendioxid wieder sofort in die Gas-Form. Festes Cohlendioxid wird wegen seines besonderen Feststoff-Gas-Übergangs als Trockeneis bezeichnet. Früher verwendete man es häufig als Kühlmittel.

Für die Nutzung in der Schweißtechnik (Schutzgas) oder in der Getränke-Industrie (sogenannte Kohlensäure) wird cohlendioxid unter erhöhtem Druck verflüssigt. Heute findet man es u.a. auch in speziellen Feuerlöschern. Bei deren Benutzung ist unbedingt darauf zu achten, dass durch die schlagartige Entspannung des komprimierten Cohlendioxids ein stark kühlender Schnee entsteht. Dieser hat eine Temperatur um die -70 °C und kann extreme Erfrierungen verursachen! Bei der Nutzung als Feuerlöschmittel nutzt man natürlich genau diese extreme Herunterkühlung des brennenden Objektes (unter den Flammpunkt) und die erstickende Wirkung des Gases.

Aufgaben:

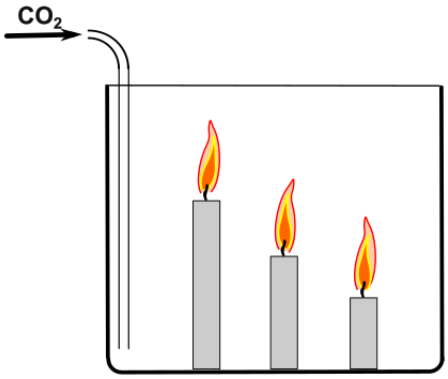
1. *Erklären Sie die besondere Eignung von Cohlendioxid für die Verwendung in Feuerlöschern! (Beim Öffnen der unter Druck stehenden Stahl-Flasche bildet sich fester CO_2-Schnee. Warum eigentlich?)*



Aufgaben:

1. *Bauen Sie sich ein einfaches Gas-Aneometer nach! (Für einmalige Versuche muss das Gewicht auch nicht in Wachs eingeschmolzen werden.)*
2. *Erklären Sie, warum man mit den einfachen Gas-Aneometer die Dichte von Gasen in Bezug von Luft bestimmen kann!*
3. *Stellen Sie eine (begründete) Hypothese auf, wie sich das einfache Gas-Aneometer verhält, wenn man Cohlenstoffdioxid untersucht!*

4. *Stellen Sie eine (begründete) Hypothese auf, wie sich das Einfüllen von Cohlenstoffdioxid auf die brennenden Kerzen auswirkt!*

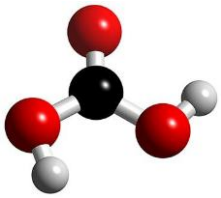


 (c,p) 2009-2026 lsp: dre

1.1.2.3. Cohlensäure / Carbonat

Cohlensäure entsteht bei der Lösung von Cohlendioxid in Wasser:

$$CO_2 + H_2O \longrightarrow H_2CO_3$$



Q: www.3dchem.com

Sie ist eine sehr instabile Substanz und ist nur unter Druck längere Zeit in Wasser haltbar. Bei normalem Druck (1 atm = 1013,25 hPa) zerfällt Cohlensäure wieder in Wasser und Cohlendioxid:

$$H_2CO_3 \longrightarrow H_2O + CO_2\uparrow$$

In Lösung dissoziiert die Cohlensäure schrittweise in zwei Hydronium-Ionen und das Carbonat-Ion. Als Zwischenprodukt bildet sich das Hydrogencarbonat-Ion.

$$H_2CO_3 + H_2O \rightleftharpoons H_3O^+ + HCO_3^-$$

$$HCO_3^- + H_2O \rightleftharpoons H_3O^+ + CO_3^{2-}$$

$$\mathbf{H_2CO_3 + 2\,H_2O \rightleftharpoons 2\,H_3O^+ + CO_3^{2-}}$$

Wir sprechen bei der Cohlensäure von einer zweiwertigen (zweibasigen) Säure.
Die Löslichkeit von Cohlenstoffdioxid in Wasser ist aber insgesamt recht gering. Mittels erhöhtem Druck kann man mehr CO_2 in das Wasser einbringen. Bei Erfrischungs-Getränken wird das CO_2 auf diese Weise eingebracht. Hierbei handelt es sich aber um eine physikalische Lösung. Sobald der Druck nachlässt (z.B. bei Öffnen einer Mineralwasser-Flasche), dann verflüchtigt sich das Gas recht schnell.

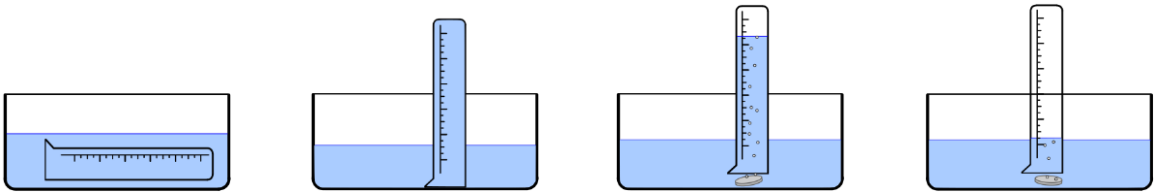
Versuch: Untersuchung der Löslichkeit von CO_2 in Wasser

Durchführung:

- *in eine pneumatische Wanne wird so hoch Wasser eingefüllt, dass ein (großer) Messzylinder darin mit Wasser gefüllt werden kann (für das pneumatische Auffangen*
- *der Messzylinder wird dann aufgerichtet (Öffnung nach unten)*
- *nun gibt man eine Brause-Tablette in die pneumatische Wanne und positioniert den Messzylinder so darüber, dass das Gas aufgefangen wird*
- *hat sich die Tablette aufgelöst, wird das gebildete Volumen abgelesen*
- *nun gibt man jeweils einzeln weitere Tabletten in die pneumatische Wanne, fängt das Gas wieder auf und notiert das Gesamt-Volumen*
- *man setzt solange fort, bis der Messzylinder fast gefüllt ist*

Auswertung:

- *Berechnen Sie die je Tablette gebildete Gas-Menge und stellen Sie diese graphisch dar!*
- *Welches Phänomen tritt auf? Finden Sie eine Erklärung!*



Von einer gewissen biologischen und trophologischen Bedeutung sind die schwerlöslichen Carbonate, wie z.B. Calcium- und Magnesiumcarbonat. Gerade das Calciumcarbonat macht uns als Wasserhärte und Kesselstein zu schaffen. In vielen biologischen Systemen ist es Schutz- und Verstärkungsmittel aber nicht wegzudenken. Z.B. bestehen Schalen von Muscheln und Schnecken zu einem Großteil aus diesem Material. Aber auch in Knochen oder in den Chitin-Panzern von Insekten trägt es zur Verfestigung der Strukturen bei.
Die Bildung von Carbonaten erfolgt über die üblichen Salzbildungsreaktionen. Eine Möglichkeit ist die Reaktion von Calcium-Ionen (z.B. aus der Base) mit gelöstem Cohlendioxid (Carbonat-Ion):

$$Ca^{2+} + 2\,OH^- + 2\,H_3O^+ + CO_3^{2-} \longrightarrow CaCO_3\downarrow + H_2O \qquad \text{Neutralisation}$$

Interessant ist, dass bei weiterer Zuführung von Cohlendioxid die Bildung von Hydrogencarbonat-Ionen aus den Carbonat-Ionen gefördert wird. Die Hydrogencarbonate sind Salze, die eine wesentlich bessere Löslichkeit in Wasser zeigen, als Carbonate.

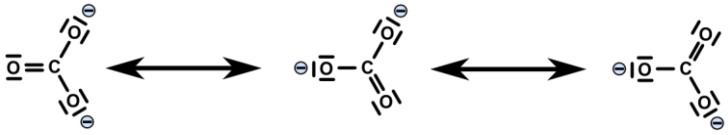
$$CaCO_3 + H_2O + CO_2 \rightleftharpoons Ca^{2+} + 2\,HCO_3^-$$

So können Carbonate auch wieder aufgelöst werden. Zu beachten ist dabei aber, dass es sich um ein empfindliches Gleichgewicht handelt. Schon eine Temperatur-Erhöhung treibt das Cohlendioxid aus dem Gemisch. Es bildet sich sofort wieder schwerlösliches Carbonat.
Noch besser geht das Auflösen von Carbonaten mit starken Säuren. Diese verdrängen die schwache Kohlensäure aus ihren Salzen. Das Auflösen von Kesselstein mit Essigsäure (od.ä.) ist nichts anderes.

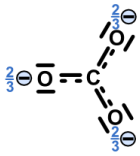
$$\underset{\text{Calciumcarbonat (Kesselstein)}}{CaCO_3} + \underset{\text{Essigsäure (z.B.: Kaffeemaschinenreiniger od. pur (Essig))}}{2\,CH_3-COOH} \longrightarrow \underset{\text{Calciumacetat}}{2\,CH_3-COOCa} + H_2O + CO_2\uparrow$$

(c,p) 2009-2026 lsp: dre

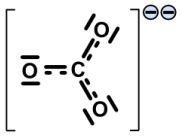
Eigentlich müssten die Cohlenstoff-Sauerstoff-Bindungen zu den OH-Gruppen länger sein, als die Cohlenstoff-Sauerstoff-Doppel-Bindung. Dies wurde aber in der Praxis nicht gefunden. Vielmrh sind alle drei Cohlenstoff-Sauerstoff-Bindungen gleich lang und auch energetisch gleichwertig.
Solche Beobachtungen lassen sich nur erklären, wenn man davon ausgeht, dass die Bindungen, so wie wir sie klassisch als Einfach- oder Doppel-Bindung klassifizieren – zumindestens hier im Carbonat-Ion nicht wirklich existieren.
Versucht man das Molekül als LEWIS-Formel darzustellen, dann tun sich drei Möglichkeiten auf:



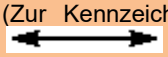
Alle drei sind gleich wahrscheinlich. Legt man sie gedanklich übereinander, dann entsteht ein Gebinde mit Zweidrittel-Ladungen. Diese sind natürlich weder so existent noch zugelassen. Als Möglichkeiten bleiben die nebenstehenden Formeln, oder man nutzt eben die oben notierterten Grenz-Zustände.



Wir sprechen hier von Mesomerie. Ein Molekül kann bei gleicher Anordnung der Atome mit verschiedenen Elektronen-Paar-Anordnungen (in der LEWIS-Schreibweise) notiert werden. Die einzelnen Zustände (Übergangs-Situationen) werden mesomere Grenz-Zustände genannt. Da es keine chemischen Veränderungen zwischen diesen Grenz-Zuständen gibt, notiert man hier einen Doppel-Pfeil – den sogenannten Mesomerie-Pfeil.
Die eine – theoretisch existente – Doppel-Bindung läßt sich nicht einem Sauerstoff-Atom zuordnen, man nennt eine solche dann delokalisiert.



Die Mesomerie wird als Struktur-Erklärungs-Modell immer dann genutzt, wenn die übliche Vereinfachung, dass jede Bindung für sich isoliert in einem Mokekül existiert, nicht mehr mit der Realität / den Beobachtungen / Molekül-Eigenschaften übereinstimmt.
Im Carbonat-Ion ist der Cohlenstoff sp^2-hybridisiert, was man aus dem Bindungswinkel von 120° und der planaren Raum-Struktur schließen kann.
Mesomeie tritt nur dann auf, wenn Einfach- und benachbarte Doppel-Bindungen in einer Ebene liegen.

Definition(en): Mesomerie
Unter Mesomerie (selten auch: Resonanz od. Resonanz-Struktur) versteht man das Phänomen, dass bestimmte molekulare Strukturen sich nicht erschöpfend durch eine (LEWIS-)Struktur-Formel darstellen lassen. Um die Praxis / Beobachtungen in Struktur-Formeln umzusetzen werden mehrere (gleichwahrscheinliche) Grenz-Strukturen gebraucht. (Zur Kennzeichnung der Übergänge zwischen verschiedenen Grenz-Zutänden wird der Mesomerie-Pfeil  benutzt.)
Mesomerie die Möglichkeit einer variablen Struktur-Beschreibung eines molekularen Objektes durch Elektronen-Verschiebung (Verschiebung von Doppel-Bindungen).

Aufgaben:

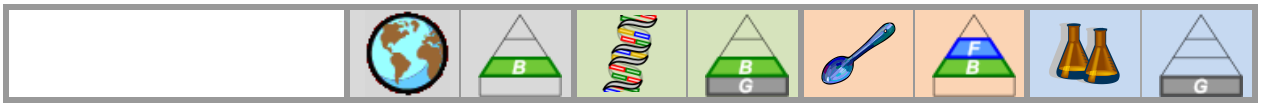
1. *Vergleichen Sie die Oxide des Cohlenstoff in einer Tabelle!*
2. *Stellen Sie Gleichungen zur Bildung von Magnesiumcarbonat und der Auflösung des Salzes mit Cohlendioxid (Cohlensäure) auf!*
3. *Umweltschützer warnen vor der Zunahme von Cohlenstoffdioxid in der Atmosphäre. Damit verbunden soll die Versauerung der Meere sein. Setzen Sie sich mit dem Sachverhalt auseinander und bestätigen oder widerlegen Sie die Aussage!*

für das gehobene Anspruchsniveau:

4. *Wieso kann es zur Bildung von Hydrogencarbonat-Ionen kommen, wenn man Cohlendioxid in ein Carbonat-Wasser-System einbläst? Stellen Sie passende chemische Gleichungen auf!*

(c,p) 2009-2026 lsp: dre

1.2. organische Verbindungen des Cohlenstoffs



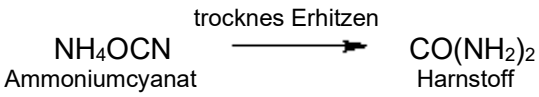
Problem-Fragen für Selbstorganisiertes Lernen
Was charakterisiert die organischen Verbindungen? Was ist die vegetabilische und die animalische Chemie? Gibt es die heute noch? Was ist organische Chemie? Warum trennt man die organische Chemie ab? Wie unterscheidet man anorganische und organische Chemie? Können organische Stoffe nur von lebenden Organismen produziert werden? Welche Bedingungen gelten heute für die Herstellung von organischen Stoffen? Wer hat als Erster einen organischen Stoff synthetisiert? Ist dies wirklich eine Synthese eines organischen Stoff's aus einem oder mehreren anorganischen? Wie definiert man heute die Begriffe organsiche Stoffe, organische Chemie und organische Reaktionen?

Bis ins Mittelalter beschäftigten sich die Allchimisten und Naturgelehrten hauptsächlich mit den Stoffen, die wir heute als anorganisch bezeichnen. Dazu gehörten die verschiedenen Metalle, Nichtmetalle, Oxide, Säuren, Basen usw. Nach und nach kamen dann auch erste Stoffe aus der belebten Natur dazu. Solche Stoffe waren z.B. Zucker, Essig, Harnstoff, Milchsäure, Stärke, Weinsäure, Cellulose. Bis ins 19. Jhd. teilte man sie nach der Herkunft in mineralische, vegetabilische und animalische Stoffe ein und ordnete diese dann einer entsprechenden Chemie zu.
Durch Analysen konnte man als Bauelemente schon die Elemente Cohlenstoff, Wasserstoff, Sauerstoff, Stickstoff, Schwefel, verschiedene Halogene und Phosphor ausmachen. Jeder Versuch die Natur-Stoffe im Labor wieder zu synthetisieren, scheiterte aber. Scheinbar konnten nur Lebewesen (Organismen) solche Stoffe herstellen – so behauptete es zumindestens die "**vis-vitalis"**-Hypothese. Besonders die Synthese aus anorganischen – aus der unbelebten Natur stammenden – Stoffen sollte nur mit einer besonderen Lebenskraft (vis-vitalis) möglich sein.

anorganische Stoffe —*Lebewesen / Organismen, vis-vitalis / Lebenskraft*→ organische Stoffe

(c,p) 2009-2026 lsp: dre

Der Begriff **organische Stoffe** wurde 1807 von schwedischen Forscher Jöns Jakob BERZELIUS (1779 – 1848) für solche Substanzen vorgeschlagen, die aus der belebten Natur stammten (und den aus der unbelebten - **an**organischen – entgegenstanden).
1828 belehrte der deutsche Chemiker Friedrich WÖHLER die Naturwissenschaftler – und vor allem die Vitalisten – eines Besseren. Er stellte aus einer als anorganisch geltenden Substanz den "organischen" Harnstoff her.



historischer Exkurs: Organische Chemie oder die Chemie der zusammengesetzten Radikale

Was verstehen wir im Allgemeinen unter organischer Chemie?

Wir verstehen darunter: entweder die chemische Untersuchung derjenigen Körper oder Theile desselben, welche wir durch den Lebensprozeß – das Leben – der Pflanzen und Thiere, als anfänglich kennen, mithin hervorgehen sehen; die Verfahrensweisen, mittelst welcher wir ihre Zusammensetzung und Zusammensetzungsverhältnisse erforschen, ihre bestimmten Verbindungen durch bestimmte Agentienunterscheiden und sondern und sie zu anderen Verbindungen disponibel machen; oder wir betrachten ein für sich lebendes Individuum als Gegenstand einer chemischen Werkstätte, in welchem eine Menge chemischer Prozesse vorgehen, deren Endresultat ist, alle die Erscheinungen hervorzubringen, deren Gesammtheit wir Leben nennen, in dem wir uns mit den Kenntnissen der anorganischen Chemie bemühen, die Prozesse dieser Werkstätte nach den Erscheinungen jener unorganischen Natur so zu erforschen, daß sie sich so zu sagen, von den einfachen Atomen allmählig bis zur höchsten Vollkommenheit des Individuums verfolgen lassen. (Physiologie der Chemie.) Endlich bestrebt sich die organische Chemie, die Bildung organischer Materien auf ächt chemisch-künstlichem Wege möglich zu machen

Q: JONAS: Katechismus der Chemie / Lehrbuch der Chemie in katechistischer Form.- Dritte gänzlich bearbeitete, dem gegenwärtigen Standpunkt der Wissenschaft entsprechende, stark vermehrte Auflage.- Leipzig Baumgärtner's Buchhandlung, 1840

Damit war die erste "in-vitro"-Synthese ("im Glas") eines Naturstoffes gelungen. Dem Ammoniumcyanat haftete aber noch so ein gewisser "organischer" Hauch an.
H. KOLBE gelang dann später die Synthese von Essigsäure aus eindeutig mineralischen (anorganischen) Stoffen (Cohlenstoff, Schwefel, Chlor und Wasser).
Nach kurzer wissenschaftlicher Diskussion war der Damm gebrochen und der Vielzahl weiterer organischer Synthesen war keine Grenze mehr zu setzen. Die Zahl der organischen Substanzen – und zwischen natürlicher und künstlicher Herkunft – wird nur noch selten unterschieden – ist auf mehrere Millionen gestiegen. Im Vergleich dazu liegt die Zahl der anorganischen Stoffe bei nur wenigen Hunderttausenden.
Organische Stoffe werden heute deshalb als die Verbindungen des Cohlenstoffs definiert (bei Ausschluß der Oxide, Mineralsäuren und ihrer Salze und einige wenige spezielle Verbindungen mineralischen Ursprungs). Die Definition als Chemie der Kohlenwasserstoffe und ihrer Derivate (Abkömmlinge) ist ebenfalls weit verbreitet.

Definition(en): organische Stoffe

Organische Stoffe sind die Verbindungen des Cohlenstoff außer dessen Oxide und deren Lösungen sowie die verschiedenen Salze (Carbonate, Carbide).

Organische Stoffe sind die Cohlenwasserstoffe und deren Derivate.

(c,p) 2009-2026 lsp: dre

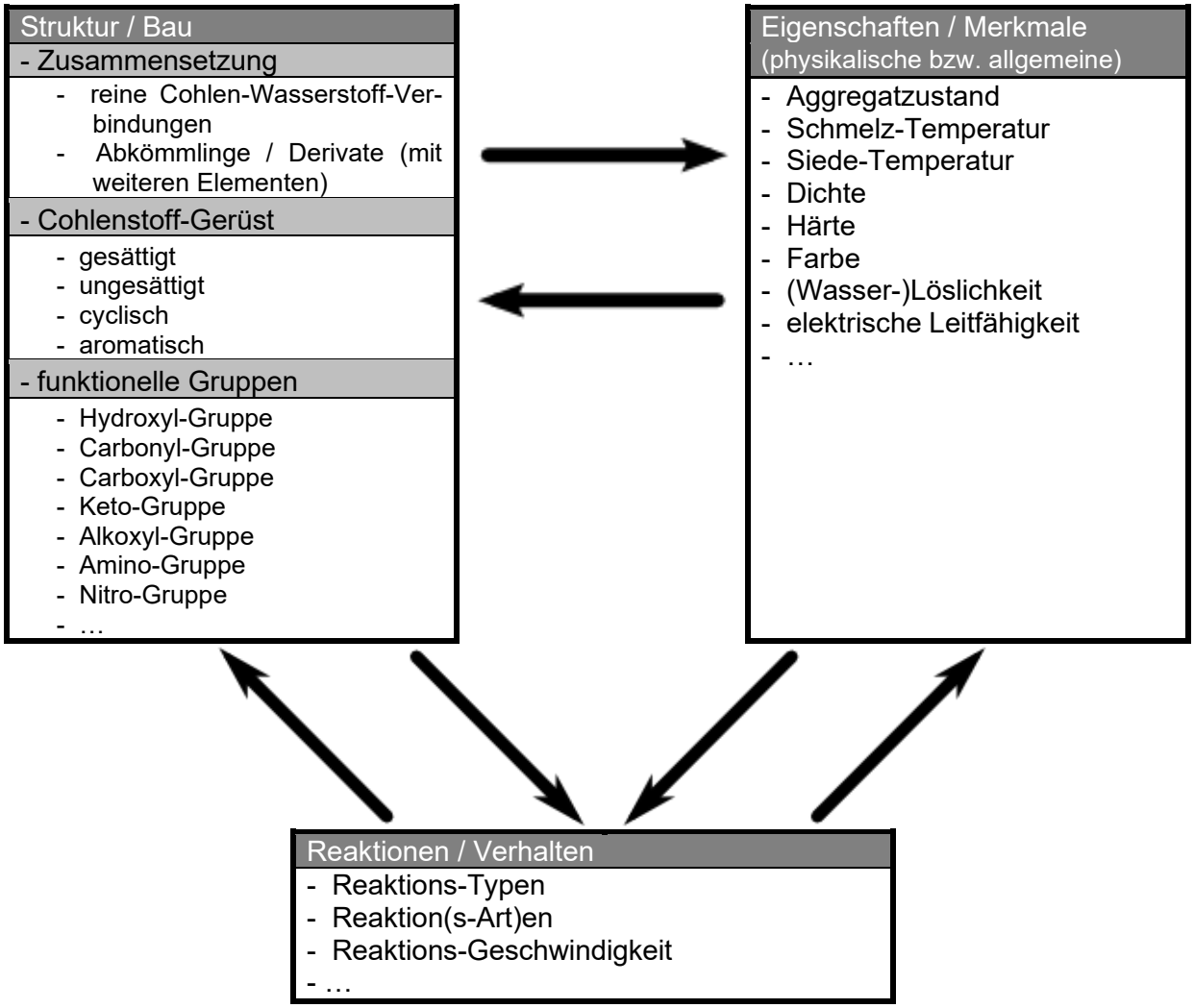
Eine Trennung in anorganische und organische Chemie ist im Wesentlichen historisch bedingt. Die Sonderstellung der (organischen) Cohlenstoff-Chemie läßt sich aber durch die Vielzahl von Verbindungen (2008: über 29.000.000) gegenüber den gerade mal 800.000 restlichen (anorganischen) Stoffen aufrechterhalten.
Wichtige Teilbereiche der organischen Chemie sind u.a.:

- Petrolchemie
- Kunststoffchemie
- Gartenbau-, Landwirtschafts- und Forstchemie
- Farbstoffchemie
- Arneimittelchemie
- Waschmittelchemie
- Biochemie
- Lebensmittelchemie

Allgemein kann man sagen, dass organische Stoffe beim Erhitzen weit eher sieden, schmelzen oder sich zersetzten, als anorganische Verbindungen. Typisch ist auch ihre Brennbarkeit (bei anorganischen Stoffen wesentlich seltener).

Definition(en): organische Chemie
Die organische Chemie ist der Teil der Chemie, der sich mit den organischenStoffen, ihren Eigenschaften und chemischen Reaktionen beschäftigt.
Organische Chemie ist die Chemie der Cohlenwasserstoffe und ihrer Derivate.

Die Vielzahl organischer Verbindungen zwingt quasi zum Klassifizieren und Systematisieren. Schon seit den frühesten Zeiten benutzt man hauptsächlich die Struktur der Verbindungen, um Ordnung in die Welt der organischen Stoffe zu bringen. Das führt uns zu einem grundsätzlichen Problem der organischen Chemie: **Wie kann man die Struktur eines Stoffes aufklären?**
Ursprünglich geschah das zuerst einmal über das Reaktions-Verhalten der Stoffe. Wiederholende Leser dieses Skriptes oder der organischen Chemie werden es schon wissen und den anderen sei es hier ans Herz gelegt: **Bestimmte Strukturen vermitteln bestimmte Reaktions-Typen und bestimmte chemische Eigenschaften (Reaktionen).**
Aber das kennen wir schon aus der anorganischen Chemie: Der Bau eines Stoffes bestimmt über die (physikalischen und chemischen) Eigenschaften.
Leider lässt sich dieser Ursache-Wirkungs-Zusammenhang nicht einfach umdrehen. Nicht immer lassen sich aus den Eigenschaften auch ein bestimmter Bau oder die Struktur ableiten. Aber über die Vielzahl von Eigenschaften können wir die Bau-Modelle immer weiter verbessern und bestätigen (oder natürlich auch ablehnen!).
Haben wir aber ersteinmal Beziehungen zwischen Bau und Eigenschaften sowie das Reaktions-Verhalten, dann können diese auch als Ausgangspunkt für die Untersuchung neuer Stoffe dienen.
Die organische Chemie ist quasi eine sich selbst aktivierende und verstärkende Maschinerie. Neue Erkenntnisse über Eigenschaften und Reaktionen ermöglichen neue Erkenntnisse über Strukturen. Neue Erkenntnisse über Strukturen ermöglichen neue Forschungen zu Eigenschften und Reaktionen sowie der Herstellungen / Konstruktion neuer organischer Stoffe und Stoff-Gruppen.

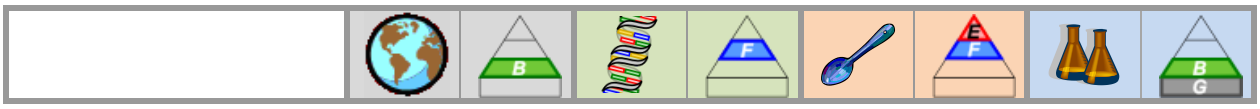


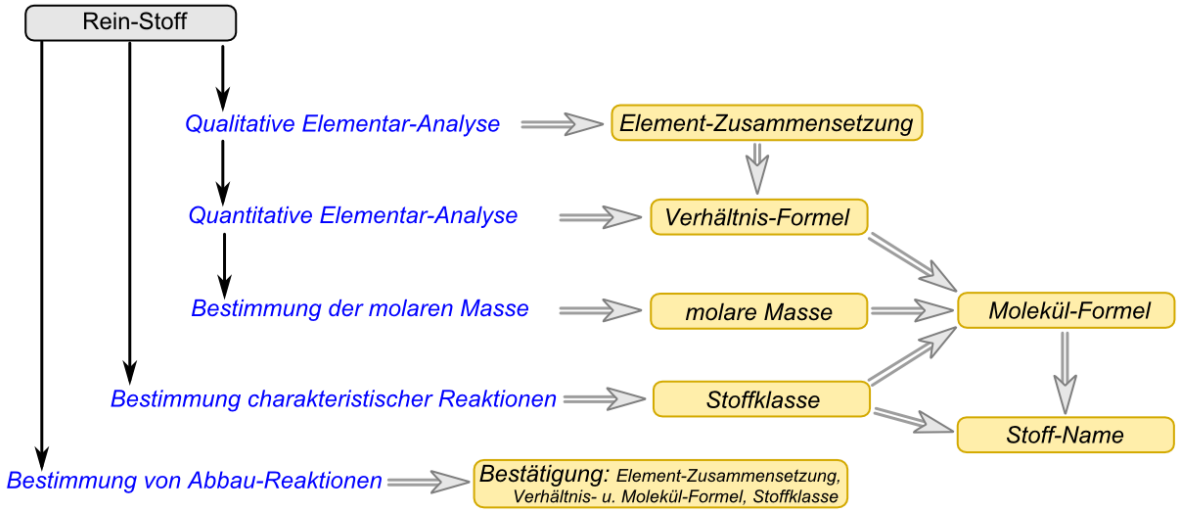
Die klassischen Methoden der organischen Chemie werden zwar immer noch praktiziert, sind aber durch modernste physikalische Verfahren (z.B. Spektrometrie und Spektroskopie) so stark erweitert, dass sie kaum noch von Bedeutung sind. Die moderne technisierte Vorgehensweise nennt man instrumentale Analytik.

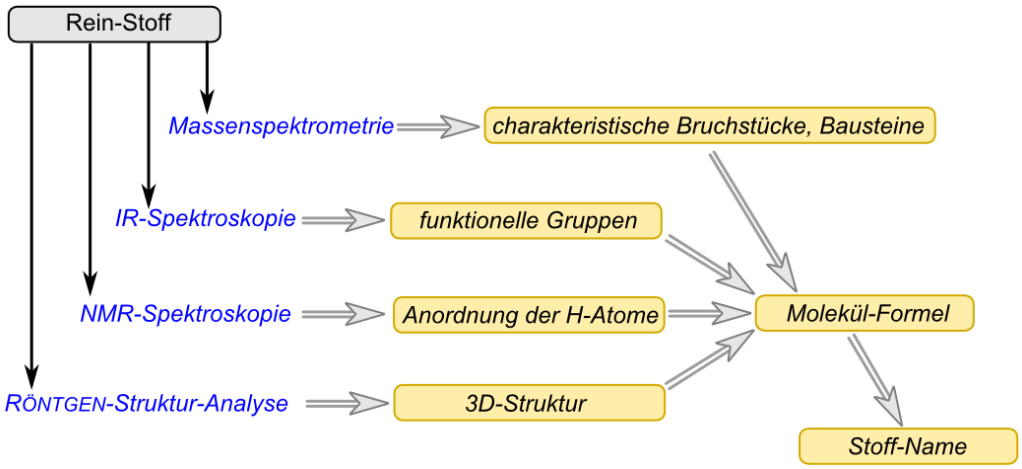
Methode	Ablauf / Inhalt der Methode	Erkenntnisse	Bemerkungen
Reindarstellung des Stoffes	Trennung von Stoffgemischen z.B. durch Extrahieren, Destillieren, Umkristallisieren, …	makroskopische Eigenschaften; viele physikalische Eigenschaften	immer im Zusammenhang mit der Ermittlung (neuer) physikalischer Eigenschaften
Ermittlung physikalischer Eigenschaften			ermöglicht die Reindarstellung des Stoffes
Qualitative Elementar-Analyse	Ermittlung der Elemente, die in der Subtanz erhalten sind	Elementar-Zusammensetzung des Stoffes	
Quantitative Elementar-Analyse	Ermittlung des Atomzahl-Verhältnisses der Elemente		benötigt dazu Erkenntnisse der Qualitativen Elementar-Analyse
Ermittlung der Molaren Masse	z.B. durch	Aufstellen der Molekül-Formel	benötigt dazu Erkenntnisse der Qualitativen und Quantitativen Elementar-Analyse
Synthese der Substanz		Molekül-Struktur	benötigt großen Erfahrungs-Schatz von vergleichbaren Stoffen
Analyse der Substanz	Zerlegung der Substanz in andere (bekannte / leichter zu analysierende) Substanzen		benötigt großen Erfahrungs-Schatz von vergleichbaren Stoffen
Beobachtung des chemischen Verhaltens		Nachweis funktioneller Gruppen und Strukturen	

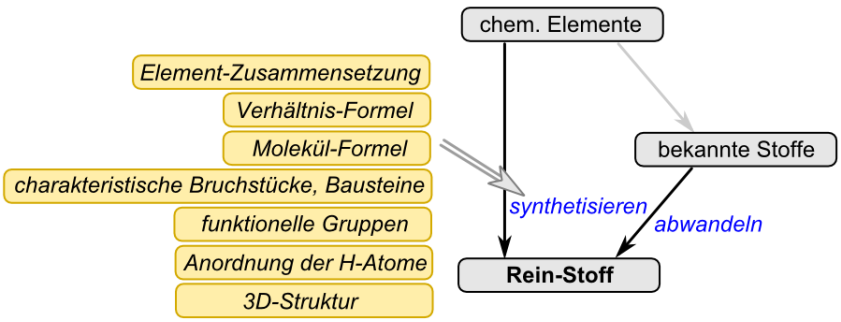


(c,p) 2009-2026 lsp: dre









Heute wissen wir, dass praktisch alle Elemente in irgendeiner Form mit Cohlenstoff in einer Bindungs-Beziehung vorliegen können. Viele Bindungen sind dabei vom Typ der Komplex-Bindungen. Die klassischen Bindungs-Beziehungen zu relativ wenigen anderen Elementen machen aber den Hauptteil der organischen Stoffe aus.

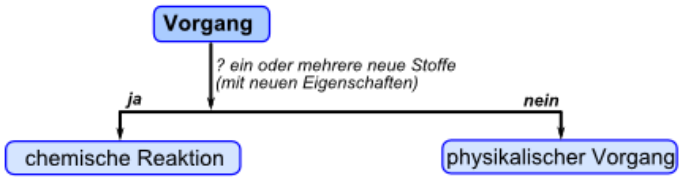
X	durchschn. molare Bindungs-Enthalpie $\Delta_B H$ [kJ / mol]							$\Delta_R H$ [kJ / mol]
	X – X	H – X	C – X	C = X	C ≡ X			
H			413					
C	348	413	348	614	837			
O								
N								
S								
F	159	567	489					- 484
Cl	242	431	339					- 115
Br	193	366	285					- 45
I	151	298	218					48

bläulich … typisch anorganisch
grünlich … typisch organisch

X	Bindungs-Länge [nm]							
	X – X	H – X	C – X	C = X	C ≡ X			
H			109					
C	154	109	154	134	120			
O								
N								
S								
F								
Cl								
Br								
I								

Aufgaben:

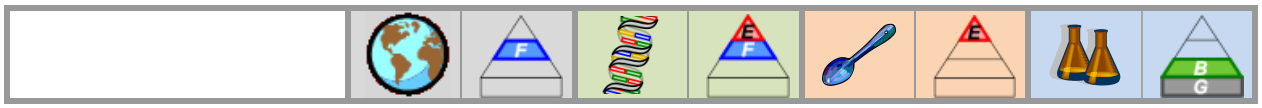
1. ***Was verstand man früher unter anorganischer, vegetabilischer und animalischer Chemie?***
2. ***Erstellen Sie ein hierrachisches System aus den folgenden Stoffen und Stoff-Gruppen! Geben Sie bei den Verzweigungen immer an, auf welcher Grundlage die Unterscheidung erfolgt und welche Eigenschaft / welche Merkmale die Gruppe charakterisieren! Orientieren Sie sich am nebenstehenden Beispiel für die Unterscheidung von Vorgängen!***



anorganischer Stoff, Mischung, Reinstoff, Element, organischer Stoff, Verbindung

3. ***Definieren Sie mit eigenen Worten organische Chemie und organische Stoffe!***

1.3. Braunkohle, Steinkohle und Antrazit

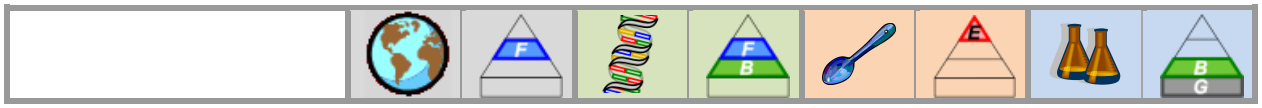


Problem-Fragen für Selbstorganisiertes Lernen
Wie sind Braunkohle, Steinkohle und Antrazit entstanden? Was die Stoffe mit organischer Chemie zu tun? Warum sind die fossilen Cohlenstoff-Energie-Träger so schlecht für die Umwelt? Welche alternativen gibt es? Sind Erdöl und Erdgas bessere Energie-Träger

Cohlenstoff in fester und schon recht reiner Form

bei Braunkohle noch sehr viele andere Bestandteile (Sauerstoff 21- 36 %; Wasserstoff 4 – 9 %; Schwefel 0,5 %), Cohlenstoff-Gehalt bei 58 – 73 %
in Steinkohle nur noch wenige andere Elemente in größeren Mengen (maximal zusammen 30 %)
Antrazit enthält sehr viel Cohlenstoff (90 %ig)

1.3.x. Entstehung



aus abgestorbenen Bäumen, die unter Sauerstoff-Abschluß verrotteten
z.B. in Mooren, dazu durch Überdeckung mit verschiedenen Sedimenten größerem Druck ausgesetzt
Deckschichten waren meist Wasser-durchlässig, so dass noch viel Wasser in der Kohle ist
Inkohlungs-Prozess

die größeren Drücke durch die drüberliegenden Gesteins-Schichten herrschen auch hohe Temeraturen

Braunkohle ist nur 5 bis 25, selten 50 bis 60 Mio. Jahre alt, somit aus dem Tertiär
Inkohlung hat begonnen, Baumstümpfe und Baumstämme noch erkennbar

Rohbraunkohle enthält 55 % Wasser
muss also entwässert und getrocknet werden

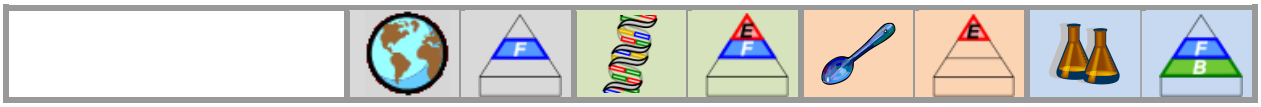
Steinkohle aus Bäumen (Urfarne, Siegel- und Schuppen-Bäume) des Carbon- und des Perm-Zeitalter's
damit 250 bis 300 Mio. Jahre alt
damals noch Überproduktion an pflanzlicher Biomasse
Tiere waren noch gering entwickelt (bis Insekten)

Antrazit
älteste Kohle mit sehr starker Inkohlung und meist unter besonders hohen Drücken (dicke Sediment-Schichten)
Flöze meist sehr dünn (um 1 m dick), deshalb Abbau sehr aufwendig



Steinkohle (Anthrazit)
Q: de.wikipedia.org
(http://resourcescommittee.house.gov/subcommittees/emr/usgsweb/photogallery/images/Coal_jpg.jpg)

1.3.x. Gewinnung



da Braunkohle wegen des jüngeren Alters in oberen Bodenschichten zu finden ist, wird es vorrangig im Tagebau abgebaut
ältere Braunkohle – besonders wenn sie auch noch in dünnen Schichten (Flöze) lagert auch im Untertagebau

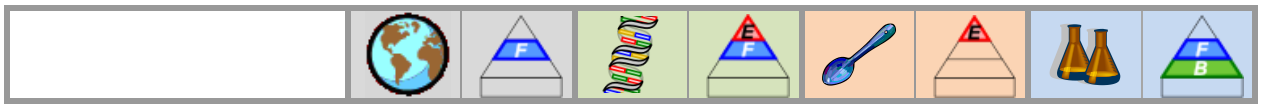
Steinkohle heute prakisch nur im Untertagebau (dünne Flöze)
in China auch verbreitet Tagebau
durch illegalen Abbau und durch Selbstentzündung gibt es Unmengen brennender Lagerstätten mit riesigem CO_2-Freisetzungen und wegen der unvollständigen Verbrennung auch extrem hohen CO-Ausstoß, Brände sind praktisch nicht löschbar

die Förderung und Nutzung von Braunkohle kommt immer mehr in die Kritik
es gibt zu viele Klima-schädliche Nebenprodukte bei der Aufbereitung
der C-Gehalt ist recht gering (Kosten-Nutzen-Relation ungünstig)

Tagebaue zerstören weite Landschaften

(c,p) 2009-2026 lsp: dre

1.3.x. Verwendung und Bedeutung



durch viele andere Bestandteile hat Braunkohle nur einen geringen Heizwert (1/3 von Steinkohle)
Kraftwerke und Abbaustellen sollten wegen der großen Mengen dicht beeinander liegen (doppelte Umweltbelastung!)

um Verbrennung zu verbessern und die Braunkohle auch effektiv an anderen Orten zu benutzen wurden in Kokereien Brikett's hergestellt
hier auch Nutzung von feinem Abbau-Material und Stäuben

Probleme sind die notwendigen weitreichenden Absenkungen des Grundwasserspiegels, riesige Veränderungen in der Landschaft (Abholzung von Wäldern, …), riesige Abbau-Halden; Zerstörung von Kulturlandschaften und Siedlungen (Umsiedlung vieler Gemeinden)

sehr großer Aufwand bei der Renaturierung, soweit das überhaupt geht
fehlendes Volumen (abgebaute Kohle) kann durch Müll aufgefüllt werden, vielfach auch Anlage von Baggerseen (für die Naherholung)
Gefahr von Erdrutschen wegen neuartiger Grundwasser-Spiegel und –Flüsse sowie unzureichender Verfestigung der Abraum-Halden

CO_2-Bilanz bei Braunkohle ist sehr ungünstig

bei Steinkohle ist die Bilanz besser

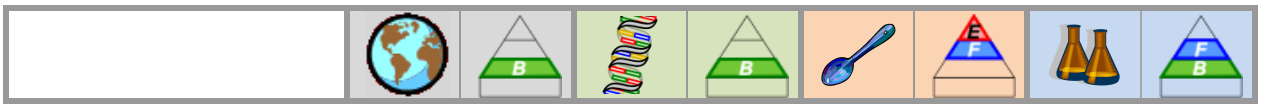
Verkokung (auch von Braunkohle) bringt hochwertigere Brikett's
Nebenprodukte sind Teer sowie viele aromatische Kohlenwasserstoffe (s. dazu später → 2.2.3. Aromaten - Arene)
Steinkohle wird aber auch als Cohlenstoff-Quelle in der chemischen Industrie benutzt (z.B. Kohle-Vergasung, …)
Rohstoff für die Roheisen-Herstellung und Stahl-Produktion

Probleme machen hier auch die Veränderung des Wasser-Haushalts und Boden-Absenkungen (→ Risse in Gebäuden, Erdrutsche, …)

Aufgaben:

1. *Berechnen Sie die freigesetzte Wärmemenge bei der vollständigen Verbrennung von einem Kilogramm Anthrazit! (Heizwerte sind tabelliert)*
2. *Wieviel Wasser kann man mit der gebildeten Wärmemenge von 20 °C auf den Siedepunkt erwärmt werden, wenn für die Erwärmung von 1 g Wasser von 14,5 auf 15,5 °C die Energie von 1 Kalorie (Definition für Kalorie) gebraucht wird! (Wir gehen hier davon aus, dass die Erwärmung auch bei anderen Temperatur-Unterschieden immer die gleiche Wärmemenge benötigt.)*
3. *Setzen Sie sich mit der Behauptung auseinander, dass die Nutzung von Anthrazit oder Braunkohle vergleichbare ökologische Konsequenzen hat!*

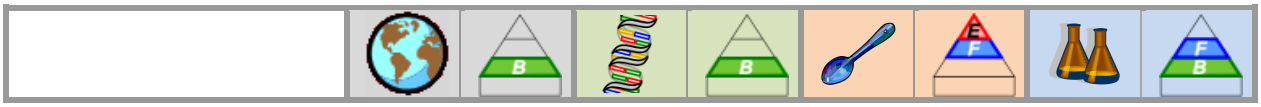
1.4. Erdöl und Erdgas



Problem-Fragen für Selbstorganisiertes Lernen
Erdöl und Erdgas sind natürliche Energie-Träger. Warum sollen die so schlecht für die Umwelt sein? Wie sind Erdöl und Erdgas entstanden? Was haen Erdöl und Erdgas mit der organischen Chemie zu tun? Kann man auf Erdöl und Erdgas in der organischen Chemie verzichten?

Durch die vielen Katastrophen, die mit Erdöl in Beziehung stehen (Verseuchung des nach der Explosion der Bohrinsel " Horizon"; Grand Spa; Tanker-Unglück der "Exxon-Valdes"), hat man den Eindruck, dass Erdöl etwas unbiologisches / Lebens-untypisches sei. Aber der Eindruck täuscht gewaltig.
Erdöl ist vor vielen Millionen von Jahren aus sehr üppigen Pflanzen-Gesellschaften entstanden. Praktisch ist Erdöl sowas wie flüssige Kohle und das Erdgas sind dabei die gasförmigen Anteile / Abbau-Produkte.

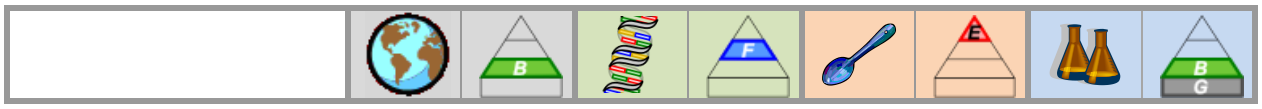
1.4.x. Entstehung



aus krautigen, niedrig-wachsenden Pflanzen
meist mit in den Sedimenten
überschichtet mit Gas-, Öl- und Wasser-undurchlässigen Sedimenten / Gesteinen

(c,p) 2009-2026 lsp: dre

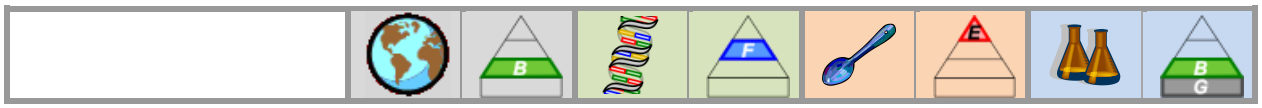
1.4.x. Gewinnung



Suche nach Aufkonzentrations-Punkten / -Gebieten

zuerst häufig Förderung durch Eigendruck
später dann durch Abpumpen
Erweiterung der Förder-Menge durch hineinpumpen von Wasserdampf oder Erdöl-lösenden Substanzen (Fracking)
Bedenklichkeit der Lösemittel sehr umstritten

1.4.x. Aufbereitung



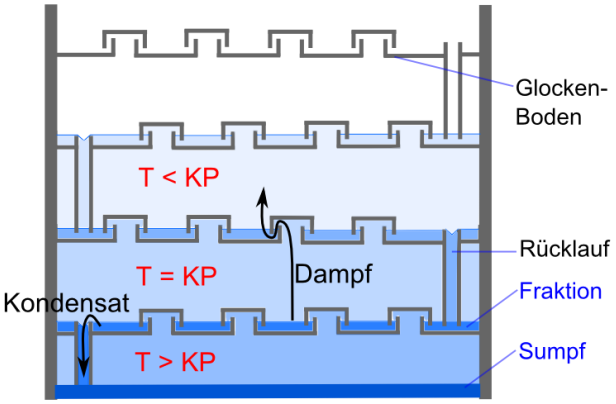
Sieben / Filtern

Entwässern

Entschwefeln

ev. Mischung verschiedener Erdöl-Sorten, um Ergebnisse der weiteren Verarbeitung (→ fraktionierte Destillation) zu verbessern

Fraktionierte Destillation / Rektifikation



Heizung / Erwärmung unten
damit Temperatur-Gefälle nach oben

durch Zwischen-Böden werden Temperatur-Zonen erzeugt
Böden sind Wannen-artig mit Öffnungen durch die die Dämpfe der wärmeren Schicht nach oben steigen können
Begrenzung der Dampf-Bewegung durch Glocke-artige Abdeckungen auf den Öffnungen
kondensierte Flüsigkeit kann über einen Überlauf wieder in die untere Ebene zurückfließen
dadurch können höher-siedende Bestandteile wieder in die untere Ebene zurückkommen

niedriger siedende Bestanteile wandern weiter nach oben, sammeln sich dort in den Ebenen
aus den Ebenen können dann Stoff-Gemische mit bestimmten Siedepunkten (Bereiche) entnommen werden

Aperatur ist vielschichtige Anordnung von Glocken-Wannen
unten Zufuhr von auf 360 bis 400 °C erwärmten Roh-Öl
unten sammeln sich im sogenannten Sumpf die Betsandteile mit Siede-Temperaturen über 360 °C, diese können aber nicht weiter erhitzt werden, da sie dann zerfallen
es sind aber noch viele interessante / gewünschte Verbindungen enthalten
der Sumpf der ersten Kolonne wird deshalb in einer zweiten Kolonne nochmals fraktioniert destilliert
Um dem Problem der eigentlich notwendigen höheren Siede-Temperaturen aus dem Weg zu gehen, wird bei Unterdruck (rund 50 hPa = 0,05 atm) destilliert

die Fraktionen, die in größerer Menge vorkommen, als sie gebraucht werden, können bei höheren Temperaturen in kleine Moleküle zerlegt werden (→ z.B. Cracken) und die Produkt-Gemische dann wieder in die Fraktionierungs-Kolonnen zugeführt werden



chemische Fabrik mit den typischen Fraktionier-Kolonnen und Reaktoren

(c,p) 2009-2026 lsp: dre

Fraktion	Siedepunkts-Bereich [°C]		Dichte-Bereich [g/cm³]		Viskosität			typische Bestandteile	(weitere) Verwendung
Benzine									
Leichtbenzin	40 – 80		0,63 – 0,68						
Mittelbenzin	80 – 110		0,68 – 0,73						
Schwerbenzin	110 – 140		0,73 – 0,78						
Mitteldestillate									
Petroleum / Kerosin	150 – 250		0,77 – 0,83						
Diesel-Öl / leichtes Heiz-Öl	250 – 360		0,81 – 0,86						
schweres Heiz-Öl	nur im Vakuum abtrennbar		0,90 – 0,98						
Schmier-Öle	nur im Vakuum abtrennbar		0,80 – 0,95						

(c,p) 2009-2026 lern-soft-projekt: drews

Cracking

praktisch zu viele langkettige, größer-molekulare Bestandteile
Bedarf an Benzinen deutlich höher als Fraktionierung hergibt

Lösung ist die kontrollierte Spaltung von lang-kettigen Molekülen

näheres wird dann Beispiel-haft bei den Alkanen besprochen (→ 2.1.1.2.2. chemische Eigenschaften – Reaktionen der Alkane)

Reforming

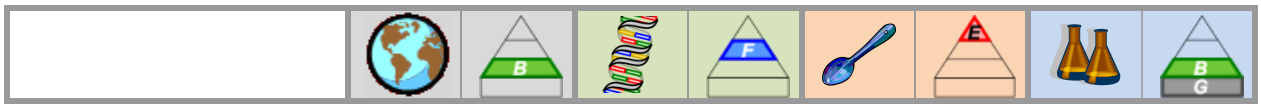
meist als katalytisches Reforming
mit Hilfe unterschiedlicher Katalysatoren werden verschiedene – weniger nutzbare – Fraktion in Folge-Produkte gewandelt

typische Reforming-Prozesse	
• **Ring-Schluss**	aus kettenförmigen Molekülen werden ringförmige gebildet Alkane ⟶ Cycloalkane + Wasserstoff → 2.1.1. Alkane → 2.1.1.1.3. ringförmige Alkane – Cycloalkane
• **Dehydrierung**	aus gesättigten Alkanen / Cycloalkanen werden ungesättigte oder aromatische Verbindungen hergestellt Alkane ⟶ Alkene + Wasserstoff Alkane ⟶ Alkine + Wasserstoff Cycloalkane ⟶ Aromaten + Wasserstoff → 2.2.1. Alkene → 2.2.2. Alkine → 2.2.3. Aromaten - Arene
• **Isomerisierung**	aus kettenförmigen Molekülen werden verzweigte produziert n-Alkane ⟶ iso-Alkane → 2.1.1.1.2. verzweigte Alkane
• **Dampf-Reforming**	Herstellung von Wasserstoff und Cohlenstoffmonoxid aus Erdgas und leicht-flüchtigen Fraktionen Alkane ⟶ Cohlenstoffmonoxid + Wasserstoff
• **…**	

Der gebildete Wasserstoff und das Cohlenstoffmonoxid sind wichtige Rohstoffe in der chemischen Industrie.

(c,p) 2009-2026 lern-soft-projekt: drews

1.4.x. Verwendung



praktisch die gesammte moderne organo-chemische Industrie basiert auf Erdöl und Erdgas

produzierte Stoffe:

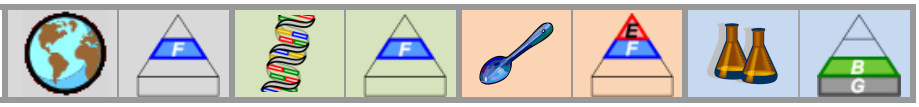
- Treibstoff (Benzin / Diesel / Flugbenzin / Schiffs-Diesel)
- Haushalts-Gas (auch Propan / Butan)
- Kunststoffe (Plaste / Elaste)
- Kunstfasern
- Gummi
- Schmiermittel
- Brennmittel (Brennpaste, Kerzen)
- Teer / Bitumen
- Farbstoffe
- Waschmittel / Reinigungsmittel
- Medikamente
- Labor-Chemikalien
- Gase für Kühlmaschinen
- Kosmetika
- Pflanzenschutzmittel
- …

Heute werden vermehrt biologische Systeme zur nachhaltigen Produktion von organischen Stoffen genutzt.
Produktion von Bio-Diesel

Produktion von Bio-Ethanol

Herstellung von Biogas; Methan-Produktion aus Gülle

2. Kohlenwasserstoffe (Cohlenstoffhydride)



Problem-Fragen für Selbstorganisiertes Lernen
Wie sind Kohlenwasserstoffe zusammengesetzt? Wieso bildet eine Stoffgruppe, die nur aus so wenigen Elementen besteht eine so bedeutsame Klasse von Stoffen? Kommen Kohlenwasserstoffe in der freien Natur vor? Können Kohlenwasserstoffe beliebig groß werden?

nur aus Cohlenstoff- und Wasserstoff-Atomen zusammengesetzt (KWS)
Bindung zwischen Cohlenstoff-Atomen ist eine reine Atom-Bindung
auch die Bindung zwischen den Cohlenstoff- und Wasserstoff-Atomen ist einer Atom-Bimdung sehr ähnlich. Sie ist zwar leicht polar. In der Praxis hat es sich aber als ausreichend bewährt, die Bindung als unpolar zu betrachten. Die Abweichungen sind minimal.

Cohlenstoff-Atom ist vier-bindig, das Wasserstoff-Atom immer nur ein-bindig
bei Beachtung dieser Bedingungen können die Atome praktisch beliebig, wie in einem Baukasten-System (a'la LEGO ©) zusammengesteckt werden.

modern als **Cohlenstoffhydride** bezeichnet

werden (oft) als Stammverbindungen angesehen, abgewandelte Stoffe mit anderen Atomen sind dann Derivate (Abkömmlinge)

Unterscheidung nach Bau:

- Form des Moleküls (I)
  - unverzweigt
  - verzweigt
- Form des Moleküls (II)
  - kettenförmig (aliphatisch)
  - ringförmig (cyclisch)
- Art der enthaltenden Bindungen (zwischen den C-Atomen)
  - nur Einfachbindungen (gesättigt)
  - eine oder mehrere Mehrfachbindungen (ungesättigt)
    - Sonderform: aromatisch (cyclisch mit alternierenden Mehrfachbindungen (HÜCKEL-Regel!))

(c,p) 2009-2026 lsp: dre

Unterscheidung nach Eigenschaften

- …
- Säuren
- Basen
- Farbstoffe
- Tenside
- …

Definition(en): Kohlenwasserstoffe (Cohlenstoffhydride)
Kohlenwasserstoffe sind chemische Verbindungen, die sich nur aus Cohlenstoff und Wasserstoff zusammensetzen.

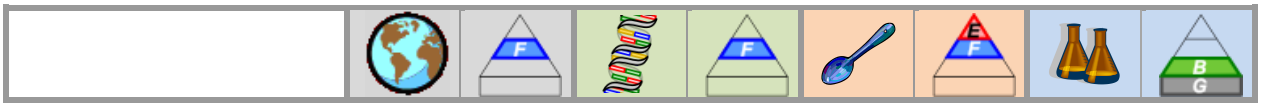
Aufgaben:

1. *Lassen Sie sich aus einem Molekül-Baukasten 5 Cohlenstoff-Atome geben! Verbinden Sie diese zu einem Molekül! Wieviele Wasserstoff-Atome müssen Sie anfordern, um das Molekül vollständig zu machen? (Wer kommt mit den wenigsten Wasserstoff-Atomen aus, aber ohne die Verbindungen zu zerbrechen oder übermäßig zu belasten?)*
2. *Können Sie noch zwei andere Moleküle aus den gleichen Teilen bauen? Skizzieren Sie immer die entstanden Moleküle mit einfachen LEWIS-Formeln!*
3. *Wieviele verschiedene Moleküle wurden im Kurs gefunden?*

(c,p) 2009-2026 lsp: dre

2.1. gesättigte Kohlenwasserstoffe

2.1.1. Alkane



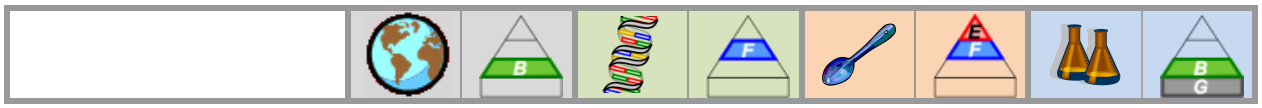
Problem-Fragen für Selbstorganisiertes Lernen
Wieso sind bestimmte Kohlenwasserstoff gesättigt? Hinsichtlich was sind sie satt? Welche typischen Eigenschaften charakterisieren die Alkane? Was ist eine homologe Reihe? Woran kann man eine solche sicher erkennen? Wenn man Alkane mit bis zu 100 Cohlenstoff-Atomen betrachtet, gibt es dann mehr als 100? Was sind Isomere? Wie funktionieren Gitter-Struktur-Formeln? Warum greift man zu solchen Darstellungs-Mitteln in der organischen Chemie? Kann man das Prinzip auch auf die anorganische Chemie übertragen? Was ist Hybridsierung? Wie benennt man so ähnliche Stoffe eindeutig? Sind die Namen international gleich? Wozu braucht man Nomenklaturen? Wie werden die Namen für Alkane gebildet? Kann man aus den Namen auch wieder die Struktur ableiten? Warum ist der Bindungs-Winkel am C-Atom rund 109°? Müsste er bei einem vier-bindigen Atom nicht 90° (= 360°/4) betragen? ?

Alkane sind Kohlenwasserstoffe mit **ausschließlich Einfachbindungen** im Cohlenstoff-Gerüst. Alle weiteren Bindungen sind mit Wasserstoff belegt. Alkane wurden früher als Paraffine (parum affinis = lat. wenig verwandt) bezeichnet. Heute benutzt man den Begriff Paraffin meist eher für längerkettige Alkane.

Definition(en): Alkane
Alkane sind Cohlenwasserstoffe, die zwischen den Cohlenstoff-Atomen nur über Einfach-Bindungen verfügen.
Alkane sind Cohlenwasserstoffe, die sich durch Hydrierung nicht weiter sättigen lassen.

(c,p) 2009-2026 lsp: dre

2.1.1.1. Bau, Struktur und Bennenung der Alkane



Der Name eines Alkans setzt sich aus dem Stamm und einem Suffix (Endung) zusammen. Der Stamm beschreibt die Anzahl der enthaltenen Cohlenstoff-Atome in einem Molekül. Dazu werden folgende Stämme benutzt:

Anzahl C-Atome	Namensstamm
1	**Meth-**
2	**Eth-**
3	**Prop-**
4	**But-**
5	**Pent-**
6	**Hex-**
7	**Hept-**
8	**Oct-**
9	**Non-**
10	**Dec-**
11	Undec-
12	Dodec-
13	Tridec-
14	Tetradec-
15	Pentadec-
16	Hexadec-
17	Heptadec-
18	Octadec-
19	Nonadec-
20	Cos- (Eicos- / Icos-)

Anzahl C-A.	Namensstamm
21	Heneicos- / Henicos-
22	Docos-
23	Tricos-
24	Tetracos-
25	Pentacos-
26	Hexacos-
27	Heptacos-
28	Octacos-
29	Nonacos-
30	Triacont -
40	Tetracont-
50	Pentacont-
60	Hexacont-
70	Heptacont
80	Octacont-
90	Nonacont-
100	Hect-

Anzahl C-A.	Namens-stamm
101	Henhect-
200	Dict-
222	Docosadict-
300	Trict-
400	Tetract-
500	Pentact-
600	Hexact-
700	Heptact-
800	Octact-
900	Nonact-
1000	Kili-
2000	Dili-
3000	Trili-
4000	Tetrali-
5000	Pentali-
6000	Hexali-
7000	Heptali-
8000	Octali
9000	Nonali-
10000	Decali-

einige Extrem-Beispiele:

$C_{403}H_{808}$ Tritetractan (Tri tetract an) Tritetractan
3 400

$C_{4728}H_{9458}$ Octacosaheptactatetralian (Octa cosa heptacta tetrali an) Octacosaheptactatetralian
8 20 700 4000

$C_{9999}H_{20000}$ Nonanoncontanonactanonalian (Nona nonconta nonacta nonali an) Nonanoncontanonactanonalian

Als Endung wird **–an** verwendet. Diese steht für **gesättigte Kohlenwasserstoffe**. Auch im Stoffgruppennamen Alk**an**e kennzeichnet es den gesättigten Zustand aller Bindungen des Cohlenstoffs untereinander.



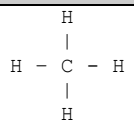
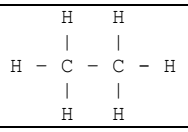
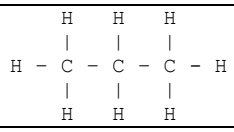
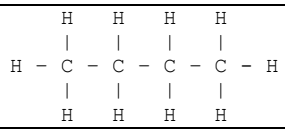
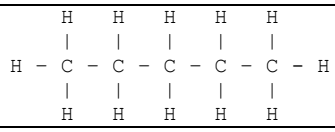
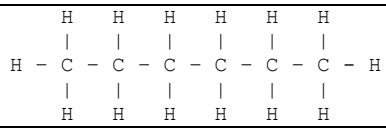
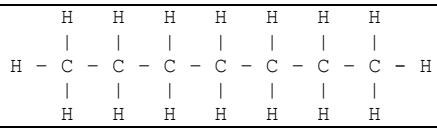
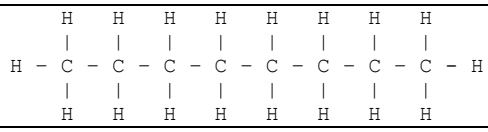
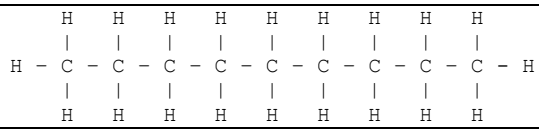
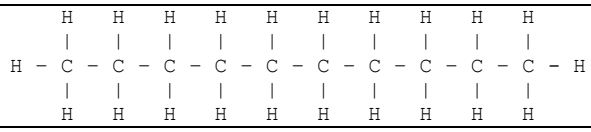
Die Namensstämme für die Cohlenstoff-Atom-Anzahl und die Endungen für die Stoffgruppen sind notwendig für das Verständnis vieler Begriffe und den Charakter vieler organischer Stoffe. Ihre Beherrschung (1-10 bzw. fett gedruckte) ist deshalb als obligatorisch anzusehen!!!

Einfache lineare Alkane haben die **allgemeine Formel C_nH_{2n+2}** , wobei **n** die natürlichen Zahlen (1, 2, 3, …) vertritt.

Die organische Chemie kennt folgende wichtige (unverzweigte, lineare) Alkane (n-Alkane):

Anzahl C-Atome	Name	Summen-formel	Woher od. als Was kennt man es? (Verwendung)
1	Methan	CH_4	Stadtgas (Erdgas)
2	Ethan	C_2H_6	
3	Propan	C_3H_8	Flaschen- / Camping-Gas
4	Butan	C_4H_{10}	Feuerzeug-Gas, Flaschen- / Camping-Gas
5	Pentan	C_5H_{12}	Feuerzeug-Benzin
6	Hexan	C_6H_{14}	Leichtbenzin (Kerosin)
7	Heptan	C_7H_{16}	Leichtbenzin
8	Octan	C_8H_{18}	Benzin
9	Nonan	C_9H_{20}	Benzin
10	Decan	$C_{10}H_{22}$	
11	Undecan	$C_{11}H_{24}$	
12	Dodecan	$C_{12}H_{26}$	Diesel
13	Tridecan	$C_{13}H_{28}$	Diesel
14	Tetradecan	$C_{14}H_{30}$	Diesel
15	Pentadecan	$C_{15}H_{32}$	Schweröl, Heizöl
16	Hexadecan	$C_{16}H_{34}$	Schweröl, Heizöl
17	Heptadecan	$C_{17}H_{36}$	
18	Octadecan	$C_{18}H_{38}$	Stearin, Kerzenwachs, Hartparaffin
19	Nonadecan	$C_{19}H_{40}$	Hartparaffin
20	Eicosan	$C_{20}H_{42}$	Hartparaffin
…			

Neben den **systematische**n (offiziellen) **Namen**, die nach den Vorschriften der **IUPAC** (International Union of Pure and Applied Chemistry) gebildet werden, gibt es oft auch ältere, umgangssprachliche oder populäre Namen. Diese werden **Trivialnamen** genannt. Die meisten sind neben den offiziellen Namen zugelassen. Viele Chemiker – aber auch Techniker usw. – verwenden lieber die Trivialnamen. Sie sind kürzer, oft eingängiger und eindeutiger (in der Aussprache). Für lange und komplizierte Namen werden auch Abkürzungen benutzt. Auf diese kommen wir an geeigneter Stelle noch genauer zu sprechen. Die Nomenklatur-Vorschriften der IUPAC wurden 1980 weitgehend geregelt und für verbindlich erklärt. Sie sollten auch in der Schul-Chemie vorrangig benutzt werden.
Die **Summenformel**n sind bei der Vielzahl organischer Verbindungen wenig informativ. Wie wir später sehen werden, gibt es sehr viele Summenformeln, die zu mehreren Stoffen passen. Zum genauen Aufzeigen der molekularen Struktur haben sich mehrere Darstellungs-Modelle (Formeln) herauskristallisiert.
Die übersichtlichste Variante ist die **vollständige Strukturformel**. Sie werden gern benutzt, wenn man die genauen Bau-Detail's eines Stoffes braucht oder man Reaktions-Abläufe genauer darstellen will.

Anzahl C-Atome	Name	vollständige Strukturformel
1	Methan	
2	Ethan	
3	Propan	
4	Butan	
5	Pentan	
6	Hexan	
7	Heptan	
8	Octan	
9	Nonan	
10	Decan	

Man sieht schnell ein, dass solche Formeln für den täglichen Gebrauch etwas unpraktisch sind. Deshalb haben sich verschiedene Vereinfachungen durchgesetzt. In den **verkürzte**n **Struktur-Formel**n (Halbstruktur-Formel) werden alle Anhänge an einem C-Atom – außer benachbarte C-Atome – zusammengefasst. Treten Wiederholungen von Zusammenfassungen auf, dann dürfen diese auch wieder zusammengefasst werden.

Anzahl C-Atome	Name	verkürzte Strukturformel (Halbstrukturformel)
1	Methan	CH_4
2	Ethan	$CH_3 - CH_3$
3	Propan	$CH_3 - CH_2 - CH_3$
4	Butan	$CH_3 - CH_2 - CH_2 - CH_3$ $CH_3 [- CH_2]_2 - CH_3$
5	Pentan	$CH_3 - CH_2 - CH_2 - CH_2 - CH_3$ $CH_3 [- CH_2]_3 - CH_3$
6	Hexan	$CH_3 - CH_2 - CH_2 - CH_2 - CH_2 - CH_3$ $CH_3 [- CH_2]_4 - CH_3$
7	Heptan	$CH_3 - CH_2 - CH_2 - CH_2 - CH_2 - CH_2 - CH_3$ $CH_3 [- CH_2]_5 - CH_3$
8	Octan	$CH_3 - CH_2 - CH_2 - CH_2 - CH_2 - CH_2 - CH_2 - CH_3$ $CH_3 [- CH_2]_6 - CH_3$
9	Nonan	$CH_3 - CH_2 - CH_2 - CH_2 - CH_2 - CH_2 - CH_2 - CH_2 - CH_3$ $CH_3 [- CH_2]_7 - CH_3$
10	Decan	$CH_3 - CH_2 - CH_2 - CH_2 - CH_2 - CH_2 - CH_2 - CH_2 - CH_2 - CH_3$ $CH_3 [- CH_2]_8 - CH_3$

Wie man gut erkennen kann, unterscheiden sich zwei aufeinanderfolgende Alkane immer durch die Baugruppe $-CH_2-$. Solche Stoffe bilden dann eine **homologe Reihe** (homo = lat. gleich, logos = lat. Sinn, Lehre).

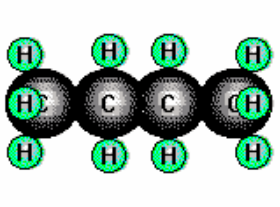
Weitere Begriffs-bestimmende Merkmale für eine homologe Reihe sind eine charakteristische allgemeine Formel, gleiche chemische Eigenschaften (z.B. → 2.1.1.2.1. chemische Eigenschaften – Reaktionen der Alkane), deren jeweilige Reaktionsfreudigkeit i.A. in der Reihe abnimmt sowie physikalische Eigenschaften (z.B. → 2.1.1.2.1. physikalische Eigenschaften der Alkane), die sich kontinuierlich in der Reihe ändern oder auch bleiben.

Aber auch die verkürzten Strukturformeln sind mit einem erheblichen Schreibaufwand verbunden. Und Chemiker sind insgeheim ein "faules" Völkchen. Also haben sie sich auf eine noch einfachere und z.T. klarere Schreibung geeinigt, die zudem Sparsamkeit und Übersichtlichkeit in sich vereint. In **Gitterstruktur-Formeln** (**Skelett-Formeln**) schreibt man nur noch das C-Atom-Gerüst auf. Selbst die C-Atome werden weggelassen. An jedem C-Stoff-Atom wird ein Knick in der Linie gemacht. Somit entspricht immer eine Ecke bzw. ein Knick einem C-Atom. Alle Wasserstoff-Atome, die direkt an ein C-Atom gebunden sind, werden ebenfalls einfach weggelassen. Jeder Chemiker weiss um die Vierbindigkeit des Cohlenstoff's und ergänzt an den freien Bindungen einfach in Gedanken die H-Atome.

Anzahl C-Atome	Name	Gitter-Struktur-formel (Skelett- bzw. Linien-Formel)	Bemerkungen
1	Methan	•	wird aber nicht genutzt, da eine Verwechslung mit einem freien Elektron denkbar wäre
2	Ethan	–	wird aber selten genutzt, da z.B. eine Verwechslung mit einem freien Elektronpaar denkbar wäre
3	Propan	/\	
4	Butan	/\/	
5	Pentan	/\/\	
6	Hexan	/\/\/	
…	…	…	
10	Decan	/\/\/\/	

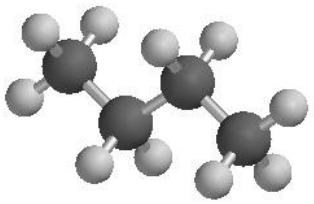
Zur Darstellung der dreidimensionalen Molekülstruktur mittels Gitter-Strukturen kommen noch einige Darstellungsvereinbarungen dazu. Die beschreiben wir dann später, wenn sie wirklich gebraucht werden.
Trotzdem ist die räumliche Anordnung für Chemiker sehr interessant, da erfahrungsgemäß die äußeren Strukturen besonders gut reagieren können.
Die wichtigsten räumlichen Modelle sollen hier beispielhaft kurz vorgestellt werden:

Kugel-Modell



Die Atome einer Verbindung werden als Kugel dargestellt. Die Größe der Atome wird nur relativ zueinander in Kugel-Größen umgesetzt. Bindungen werden durch die Kontakt-stellen der Kugeln verdeutlicht.

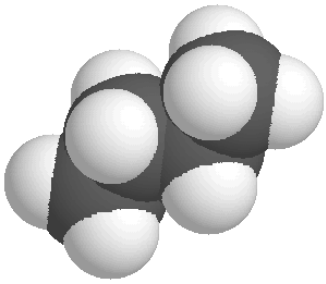
Kugel-Stab-Modell



Q: lpmfs.lpm.uni-sb.de

Dieses Modell ist eine erweiterte Form des Kugel-Modell's. Die Bindungen werden durch Stäbe (od. bogen-förmige Verbindungen) verlängert / auseinandergezogen dargestellt.
Mit Kugel-Stab-Modellen lässt sich die Beweglichkeit in-nerhalb der Struktur gut nachvollziehen und dadurch ein anschaulicher 3D-Eindruck erzeugen.

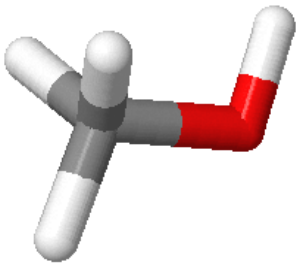
Kalotten-Modell



Q: commons.wikimedia.org (Algarech); bearb.: drews

Im Kalotten-Modell werden die Bindungen eher natürlicher gezeigt. Dadurch verschmelzen die Kugeln. In Modell-Baukästen findet man solche unvollständigen Kugeln – Kalotten genannt – als Bausteine.
In der Praxis haben sich bestimmte Farben für die Ele-mente durchgesetzt. Diese können aber abweichen.
Typisch ist z.B. dunkelgrau für Cohlenstoff, weiß für Was-serstoff und rot für Sauerstoff.

Stäbchen-Modell

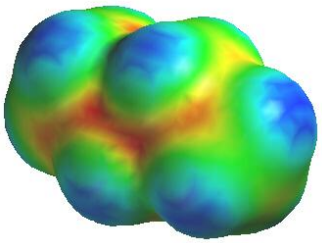


Q: Jmol

Im Stäbchen-Modell werden praktisch nur die Bindungen gezeigt. Die Stäbchen-Enden werden in der Atom-Farbe dargestellt. Dieses Modell ist dicht an der Gitter-Struktur-Formel angelehnt.

(c,p) 2009-2026 lsp: dre

Ein interessantes Modell ist die **elektrostatische Molekül-Oberfläche**.
Hierbei zeigt man farblich die Verteilung von Polarisierungen an der Oberfläche eines Molekül's. Aus dieser Verteilung und der Intensität der Polarisierung können Chemiker sehr gut die potentiellen Reaktions-Gebiete abstecken.

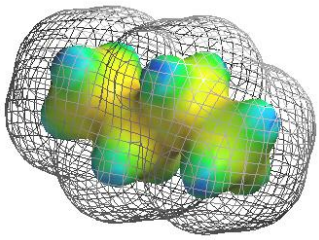


Q: lpmfs.lpm.uni-sb.de

In ähnlicher Weise können aber auch andere Molekül-Eigenschaften abgebildet werden. Dazu benötigt man spezielle Computer-Programme, die die Verteilung der Eigenschaften berechnen können.

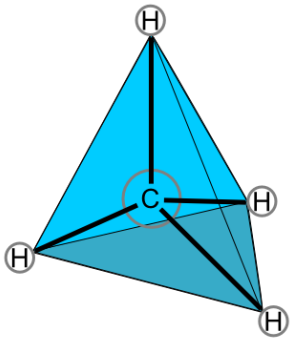
wasserundurchdringliche Molekülоberfläche

Mit der Wasser-undurchdringlichen Molekül-Oberfläche wird der Raum um ein Molekül abgetrennt, in den das polare Wasser nicht eindringen kann. Unpolare Stoffe können sich dichter annähern.
Die Oberfläche wird z.B. mit einem Gitternetz oder einer transparenten Hülle angezeigt.



Q: lpmfs.lpm.uni-sb.de

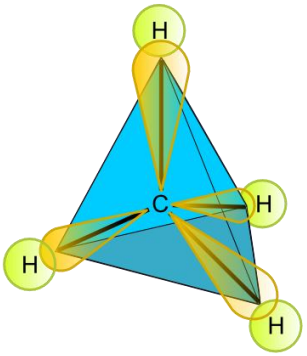
Die räumlichen Modelle holen uns schnell aus der abstrakten zweidimensionellen Papier-Ebene in die Realität zurück. Da sieht ein komplexeres Molekül schnell mal ganz anders aus, als man es vielleicht vermuten würde. Deshalb werden wir ab und zu auch mal ein räumliches Molekül-Modell mit einstreuen.



Mit Hilfe der App bzw. der Browser-Erweiterung **Jmol** lassen sich Moleküle in verschiedensten Arten veranschaulichen und auch bewegen.

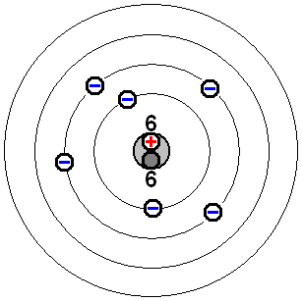
Bei den verschiedenen Darstellungen fällt auf, dass die Cohlenstoff-Atome nicht einfach eine Kette bilden, sondern eher eine Zick-Zack-Linie.

Schauen wir uns dazu zuerst einmal das Methan-Molekül in einer anderen Darstellung an. Die Bindungen – es handelt sich ja um negativ geladene Elektronen-Paare – stoßen sich maximal voneinander ab. Im Raum entsteht ein **Tetrader**, in dessen Zentrum der Cohlenstoff-Atomkern steckt. Die Spitzen zeigen die Bindungs-Richtungen an. Hier sitzen die Wasserstoff-Atome. Auch deren positiv geladenen Kerne (nur ein Proton) nehmen zueinander einen möglichst großen Abstand ein.



Das diese Struktur wirklich existiert, wissen wir von Untersuchungen mit Wärme-Strahlung (IR-Strahlung, infrarotes Licht). Hätten wir ungleichlange Bindungen im Moelkül, dann würde das Moelkül ins Schlingern kommen und dafür eine bestimmte Strahlungs-Frequenz (entspricht einer Resonanz-Frequenz) brauchen. Diese finden wir nicht, also kann Methan nur zum Rotieren um das Cohlenstoff-Zentrum angeregt werden (- was einer anderen Frequenz entspricht).

Mit unseren bekannten Atom-Modellen können wir das auch gut erklären: Cohlenstoff hat vier Außen-Elektronen auf seiner zweiten Elektronen-Schale und die stoßen sich maximal ab, da sie alle negativ geladen sind.



vereinfachtes Atom-Modell für Cohlenstoff

Aber spätestens bei den folgenden Stoff-Gruppen werden wir sehen, dass die Außen-Elektronen von Cohlenstoff gar nicht so gleich sind. Die Elektronen-Schalen ab der zweiten Ebene sind intern nochmals aufgeteilt in Unterschalen. Sie werden auch als Orbitale verstanden (dazu mehr im Skript →). Jedes dieser Orbitale kann aber nur zwei Elektronen aufnehmen. Für die zweite Elektronen-Schale gibt es vier Orbitale.

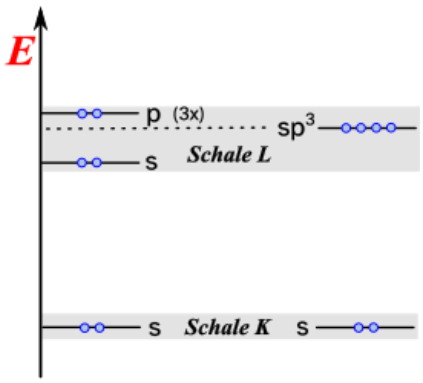
Eines davon wird s-Orbital genannt und ist das Energie-ärmste. Daneben gibt es drei p-Orbitale, die etwas Energie-reicher sind. Das zusammengefasste Energie-Niveau aller Orbitale entspricht dem Niveau der Elektronen-Hülle.

Würde nun diese diese Orbital-Struktur auch auf die Bindungen wirken, dann müssten wir zwei verschiedene Bindungen vorfinden – zwei Energie-ärmere und zwei Energie-reichere. Das wiederum würde bedeuten, dass die Bindungen unterschiedlich lang wären und das Molekül unsymmetrisch wäre.

Die Orbitale im Methan sind aber gleichlang – sie müssen also energetisch gleich sein.

Dieses Phänomen beruht auf der Hybridisierung (Verschmelzung) der äußeren Orbitale eines Cohlenstoff-Atom's (→ 1.1. Element Cohlenstoff). Der Raumwinkel zwischen den Bindungen beträgt 109°28'.

Die kugelförmigen s-Orbitale des Wasserstoff-Atoms (in der Abb. grünlich) verschmelzen mit den hantel- bzw. keulenförmigen p-Orbitalen zu sogenannten sp^3-Hybrid-Orbitalen (ocker-gelblich) in den Bindungen (gemeinsam genutzte Elektronen-Paare).

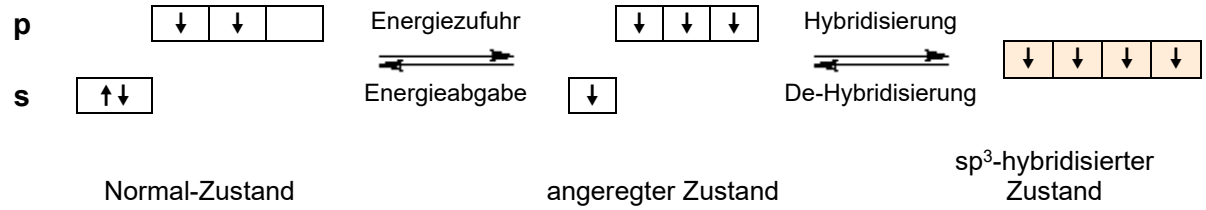


C-Atom hybridisiertes C-Atom

Energieniveau-Schema der Elektronen-Schalen und Orbitale

(c,p) 2009-2026 lsp: dre

Orbital (Unterschale in der Atom-Hülle)



Modellhaft kann man sich die maximale Abstoßung der Bindungen an vier prallen Luftballons (≡ vier Bindungen) vorstellen, die alle mit ihren Öffnungen zusammengebunden (≡ Atomkern) sind. Sie ordnen sich so an, dass jeder Ballon den gleichen Raum (≡ geringste Energie) einnehmen kann.

Modell-Versuch: Raum-Struktur am vierbindigen Cohlenstoff

Durchführung:

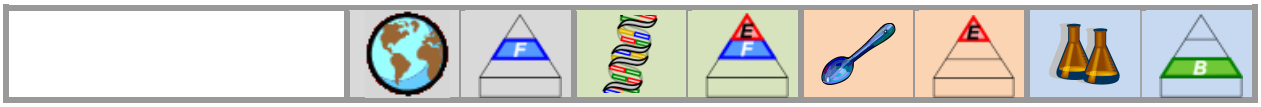
- Blasen Sie vier Kugel- bis Tropfen-förmige Luft-Ballon gut auf und verschließen die Öffnung mit einem Band / dickeren Fadel (rund 1 m lang)
- Fädeln Sie die Fäden durch einen Schlüssel-Ring (od.ä.)
- Ziehen Sie nun an den Fäden, dass alle Ballon-Öffnungen dicht am Ring landen

Beobachtungen?

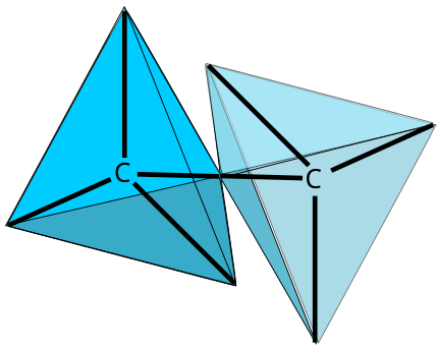
weitere Versuche:

- Versuchen Sie mindestens drei Ballons flach auf eine Ebene zu bringen
- Was bedeutet das für die Molekül-Struktur sowie notwendige Energie-Aufwändungen?

räumliche Struktur der längerkettigen Alkane



In längerkettigen Alkanen finden wir nun auch Cohlenstoff-Cohlenstoff-Bindungen. Sie bilden das Rückrat der Moleküle.
Die C-C-Bindungen entsprechen in unserem Tetraeder-Modell dem Aufeinander-Treffen der Spitzen. Statt dem Wasserstoff ist ja nun ein Cohlenstoff-Atom gebunden.
Die Wasserstoff-Atome bzw. andere angelagerte Atome sind immer leicht versetzt (gestaffelt) angeordnet. Bei äußeren Einwirkungen (z.B. durch Erwärmung, Kontakt mit anderen Teilchen), kann es auch zur Verdrehung an der C-C-Achse kommen.
Liegen die Wasserstoff-Atome in Linie hintereinander (ekliptisch), dann liegt eine energetisch sehr ungünstige Konformation vor.

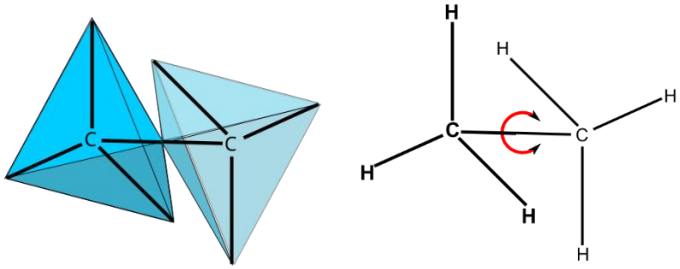


 (c,p) 2009-2026 lsp: dre

Die Elektronen der Bindungen – aber auch die Wasserstoff-Atome – stoßen sich räumlich ab und nehmen wieder die normale gestaffelte Stellung ein. Wir sprechen von einer **sterische**n **Behinderung**. Der Bindungs-Länge für die C-H-Einfachbindung beträgt 0,109 nm.

Bei längeren Molekülen ordnen sich auch die Wasserstoff-Atome der Nachbar-Atome immer so an, dass sie sich maximal voneinader abstoßen.

Dies gilt auch für die Nachbar-Atome bzw. deren Anhänge.Die Bindung zwischen den C-Atomen hat eine Bindungs-Länge von 0,154 nm und ist praktisch frei drehbar.



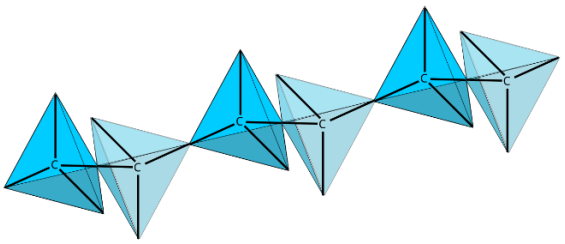
Eine Drehung bedeutet aber eine erhöhte Abstoßung zwischen den H-Atomen. Zum Verdrehen der Cohlenstoff-Atome gegeneinander ist dann zusätzliche Energie notwendig.

Moleküle nehmen – wie Atomen usw. – immer die Konstellation ein, die mit einer möglichst geringen Energie verbunden ist. So liegen praktisch immer – mehr oder weniger - langgestreckte Moleküle vor. Je länger die Ketten sind und je mehr Energie die Moleküle besitzen, umso mehr verwirren sich die Ketten.



stabile und instabile Anordnung von zwei CH_3-Gruppen zueinander
Q: www.3dchem.com

Zur Darstellung der Verdrehungsstrukturen nutzt man in der organischen Chemie gern die **Sägebock-** oder **NEWMAN-Projektion**. Bei dieser stellen Auge und die betrachtete C-C-Bindung eine gedachte Linie dar. Das Molekül wird nun so auf dem Blatt Papier positioniert, dass die Linie sektrecht auf der Projektionsebene (Blatt) steht.

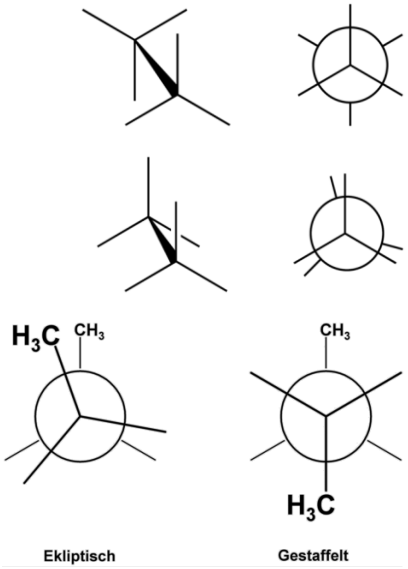


Hexan im Tetraeder-Modell

Das sichtbare C-Atom wird als Kreis angedeutet und die Substituenten sind außerhalb des Kreises angeordnet. Die Bindungen werden als Strahlen vom Kreis-Mittelpunkt nach außen gezeichnet. Für das unsichtbare, hintere C-Atom werden nur die noch sichtbaren Bindungs-Strahlenenden mit den Substituenten dargestellt.

Verdeckte (ekliptische) Bindungen werden leicht verdreht aufgezeichnet.

Für Ethan in verschiedenen Konformationen sähe die NEWMAN-Projektion etwa so aus, wobei die gestaffelte Form energetisch stabiler ist.

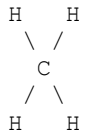


Definition(en): Konformations-Isomerie
Unter Konformations-Isomerie versteht man die Bildungen unterschiedlicher räumlicher Atom-Anordnungen bei gleicher Struktur-Formel. Die verschiedenen Konformations-Isomere entstehen durch Drehung von Atom-Gruppen um Einfach-Bindungen.

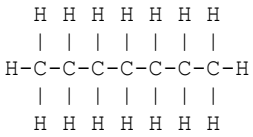
Aufgaben:

1. *Bauen Sie mit Hilfe eines Molekül-Baukasten ein Butan-Molekül nach!*
2. *Beschreiben Sie den Aufbau einer homologen Reihe!*
3. *Stellen Sie die vollständigen Struktur-Formeln von Heptan, Octan und Nonan auf und kennzeichen Sie farblich den Unterschied zum Vorgänger-Molekül! Welchen chemischen Begriff / Sachverhalt stehen die farblichen Markierungen?*
4. *Notieren Sie in einer Tabelle für die Alkane mit 11 bis 20 Cohlenstoff-Atomen außer dem Namen auch die verkürzte und die Gitter-Struktur-Formel!*
5. *Bilden Sie die regulären Namen zu den folgenden Struktur-Formeln! (Notieren Sie sich ev. auf einem Kladde-Zettel die einzelnen Zwischenschritte, um später ev. Fehler(-Quellen) zu ermitteln!)*

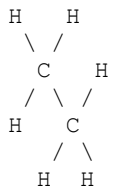
a)



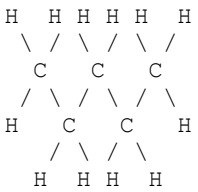
b)



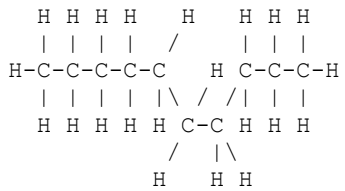
c)



d)



e)



f)



g)



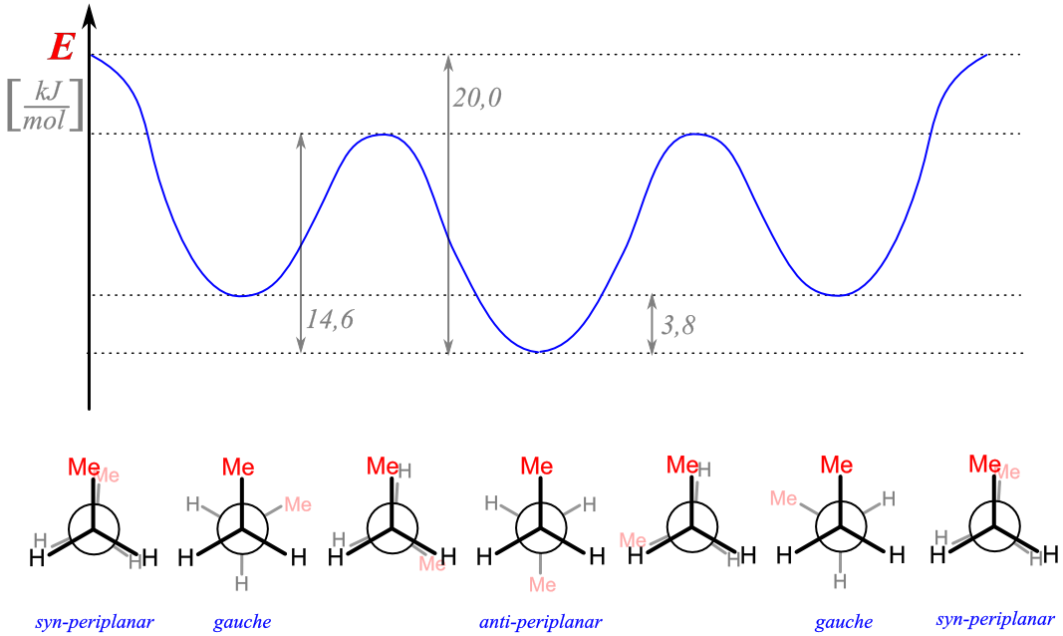
6. *Geben Sie die im folgenden geforderten Formeln an!*
   a) Summen-Formel von Nonan
   b) vollständige Struktur-Formel von Octan
   c) verkürzte Struktur-Formel von Hexan
   d) vollständige Struktur-Formel von Pentan
   e) Gitter-Struktur-Formel von Dekan
   f) Gitter-Struktur-Formel von Propan
   g) verkürzte Struktur-Formel von Hectadecan
   h) Gitter-Strukturformel von Octan

(c,p) 2009-2026 lsp: dre

7. Bauen Sie ein Ethan-Modell (aus einem Molekül-Baukasten) und bringen Sie die Atome so in Position, dass die syn-periplanare bzw. ekliptische Stellung der endständigen Gruppen erreicht ist! Welche Stellung werden die Moleküle bevorzugt einnehmen? Begründen Sie Ihre Meinung!
8. Bauen Sie ein Propan-Modell und ordnen Sie die Wasserstoff-Atome so an, dass die energetisch günstigste Stellung vorhanden ist!
9. Lassen Sie sich die folgende Seite auf extra dickem Papier oder auf (Kopier-)Folie kopieren! Bauen Sie dann den / die Tetraeder zusammen!
10. Probieren Sie es aus! Beim Zusammenkleben wird in den Tetraeder ein "Cohlenstoff"-Atom (z.B. eine Papier- oder Alu-Folien-Kugel) eingelegt. Die Kugel kann dann mit Hilfe von Zahnstochern in der Mitte des Tetraeder's positioniert werden. Die Zahnstocher können dann als Modell für die Bindungen stehen oder weitere Papierkugeln als "Wasserstoff"-Atome aufnehmen.
11. Bauen Sie ein Ethan-Modell aus Tetraedern zusammen!

für die gehobene Anspruchsebene:

12. Interpretieren Sie das nachfolgende Diagramm!

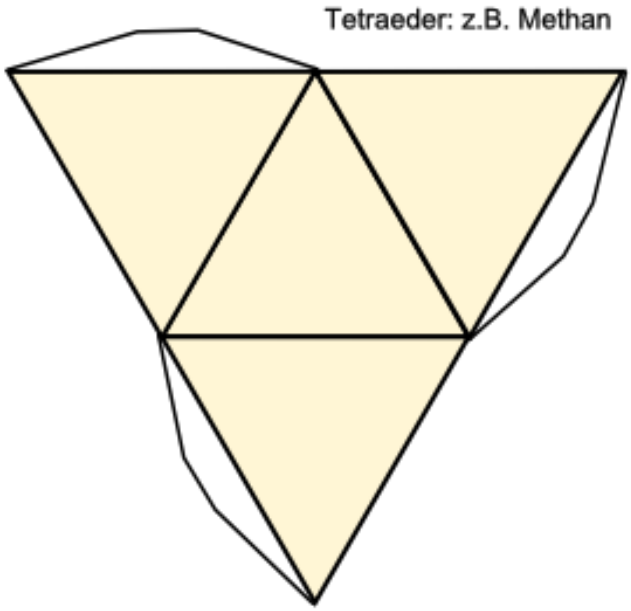


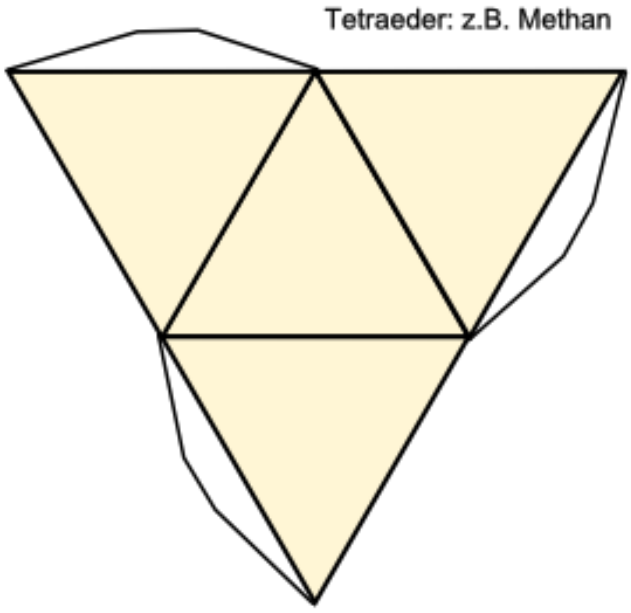
13. Vollziehen Sie die an einem Butan-Modell möglichen Stellungen (s.a. obiges Diagramm) nach! (Me .. Methyl-Rest = CH_3-Gruppe)
14. Überlegen Sie, wie ein hypothetisches Methan-Molekül mit unterschiedlichen Bindungen (einzeln über die s- und die p-Orbitale) aussehen müsste! Wie werden sich das hypothetische und ein echtes Methan-Molekül verhalten, wenn man es mit bestimmten Frequenzen elektromagnetischer Strahlung zur Dreh- und Rotations-Bewegung anregt (Bewegungs-Resonanz)?

weiterführende Links

https://jmol.sourceforge.net/ (Open Source JAVA Molekül-Visualisierer)
https://molvis.cup.uni-muenchen.de/3d-molekule/ (Internetseite mit einer guten Sammlung von Jmol-Modellen)

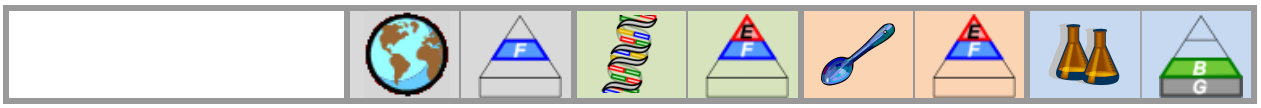
(c,p) 2009-2026 lsp: dre



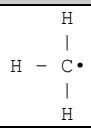
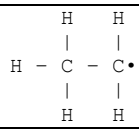


 (c,p) 2009-2026 lsp: dre

2.1.1.1.1. Molekül-Rümpfe – die Alkyle



Für viele unserer nachfolgenden Betrachtungen brauchen wir Molekül-Bruchteile der Alkane. Besonders bei Reaktionen, aber auch bei Benennungs-Fragen (Nomenklatur) spielen diese eine große Rolle in der organischen Chemie.
Bei der – eigentlich nur theoretischen – Stoffgruppe der **Alkyle** geht man davon aus, dass den Alkanen ein H-Atom fehlt. Meist ist dies ein endständiges. Das ist aber keine Bedingung. Statt der Endung –an erhalten Alkyle die Endung **–yl**. Der aufmerksame Leser wird es schon abgeleitet haben.
Die ersten Alkyle sind also:

Anzahl C-Atome	Name	verschiedene (Struktur-)Formel
1	Methyl	
2	Ethyl	
3	Propyl	
4	Butyl	$CH_3 - CH_2 - CH_2 - CH_2\bullet$
5	Pentyl	
6	Hexyl	$CH_3 - CH_2 - CH_2 - CH_2 - CH_2 - CH_2\bullet$
7	Heptyl	$CH_3 [- CH_2]_5 - CH_2\bullet$
8	Octyl	$CH_3 [- CH_2]_6 - CH_2\bullet$
9	Nonyl	$CH_3 [- CH_2]_7 - CH_2\bullet$
10	Decyl	$CH_3 [- CH_2]_8 - CH_2\bullet$
…		

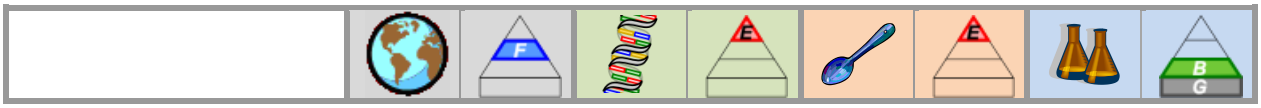
Unter bestimmten Bedingungen (z.B. durch UV-Licht-Bestrahlung bzw. noch höhere Energien) bilden sich solche Molekül-Rümpfe auch wirklich. Die freien (ungepaarten) Elektronen sind aber so Reaktions-freudig, dass sie sich bei nachfolgenden Stoff-Kontakten möglichst schnell wieder zu Bindungen vereinigen. Moleküle oder Atome mit ungepaarten / freien Elektronen werden **Radikal**e genannt. Diese entstehen bei einer gleichmäßigen Verteilung der Bindungs-Elektronen auf die Bruchstücke (**homolytische Spaltung**).
Bei der heterolytischen Spaltung bekommt ein Bruchstück die beiden Bindungs-Elektronen, die sich als negatives Ion (Anion) stabilisieren. Das zweite Bruchstück bekommt keine Bindungs-Elektronen ab. Es wird ein Kation – also ein positiv geladenes Ion. Heterolytische Spaltungen sind bei Alkanen eher nicht zu erwarten!

Aufgaben:

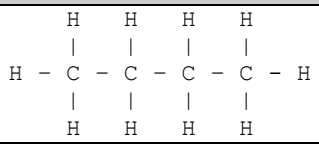
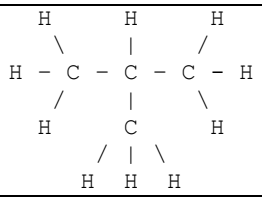
1. *Handelt es sich bei den Alkylen auch um eine homolge Reihe? Begründen Sie Ihre Meinung!*
2. *Ein Mitschüler behauptet, dass die Alkyle eigentlich gar keine echte Stoff-Gruppe sind! Setzen Sie sich mit der Behauptung auseinander!*
3. *Berechnen Sie die molaren Massen der Alkyle von C1 bis C10!*

Definition(en): Radikal
Ein Radikal ist ein Atom oder ein Molekül (Atom-Gruppe) mit einem ungepaarten – sehr reaktionsfreudigen – (Außen-)Elektron (Valenz-Elektron). Als Kennzeichnung des freien Elektron's verwendet man einen Punkt (•).
Radikale sind elektrisch neutrale Teilchen mit einem ungepaarten Elektron. Radikale sind instabil und hochreaktiv. Sie lösen radikalische Reaktionen aus.

2.1.1.1.2. verzweigte Alkane

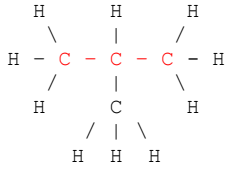
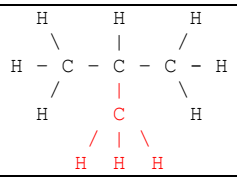
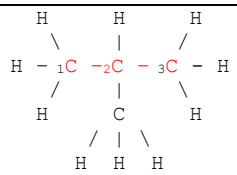


Bei unseren bisherigen Betrachtungen sind wir davon ausgegangen, dass die C-Atome immer schön hintereinander aufgereiht sind. Solche **unverzweigten Alkane** sind nur ein Teil der Realität. Daneben gibt es **verzweigte Alkane**, bei denen ein C-Atom auch mal mit bis zu vier anderen C-Atomen verbunden ist. In der Zusammenfassung ändert sich zwar die Summenformel nicht, aber Namen und Eigenschaften sind jeweils neu und oft deutlich anders.
Ab vier C-Atomen im Molekül tritt das Phänomen der **Struktur-Isomerie** auf. Die Substanzen haben die gleiche Summenformel, aber andere Namen, Eigenschaften usw. usf.

Namen	**Summenformel**	**Strukturformeln**
n-Butan	C_4H_{10}	
iso-Butan, 2-Methyl-Propan	C_4H_{10}	

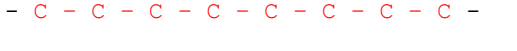
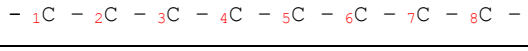
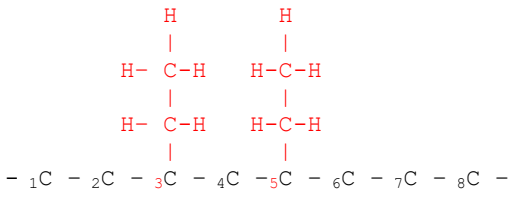
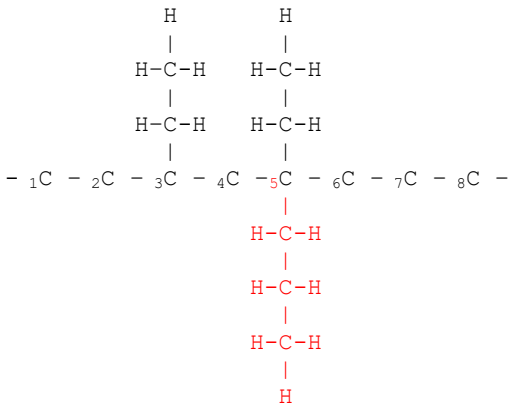
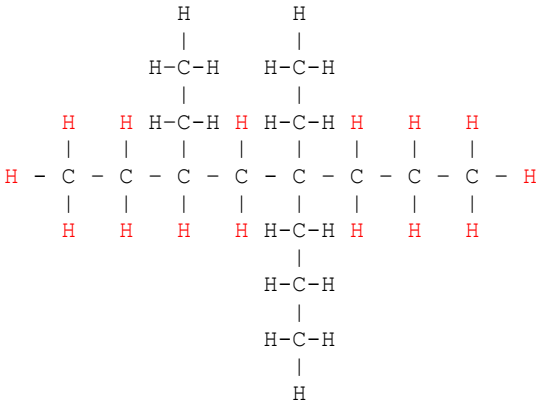
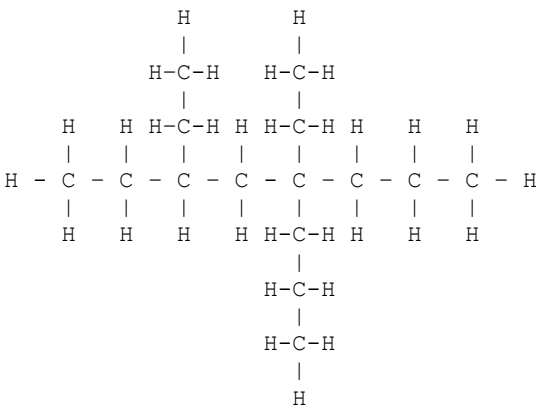
Rein lineare Moleküle oder Molekül-Teile bekommen den Vorsatz **n-** (von: neo; steht für ***normal***) vor dem Namen. Der Vorsatz **iso-** deutet auf eine symetrische Verzweigung des Moleküls hin.
Komplizierter sind die IUPAC-Namen. Dafür kann man aber aus den Namen später die Struktur ohne große Verränkungen rekonstruieren.

Die Namengebung folgt dabei den folgenden Regeln, die auch in dieser Reihenfolge verwendet werden müssen:

Regel	Darstellung für das Beispiel	Namensbildung
1. Der Namenstamm ergibt sich aus der längsten möglichen C-Kette *(Natürlich könnte man hier auch die Kette von rechts oder links nach unten nehmen. Am Ende muss man dann noch Regel 5 beachten! Ev. muss man also probieren!)*		Propan
2. Bennung der alkylischen Anhänge		Methyl-Propan
3. Zusammenfassung gleicher Anhänge und Angabe eines Zahlensuffix (z.B.: 2 .. di; 3 .. tri; …)	entfällt hier	
4. Sortierung der Anhänge nach dem Alphabet	entfällt hier	
5. Angabe der Positionen für die Anhänge (Hier gilt die Regel zur Verwendung der kleinsten Zahlen! Besonders für die quartiären und tertiären C-Atome sollte dies so sein!)		2-Methyl-Propan
→ fertiger Name	→	2-Methylpropan
gesprochen:		*zwei-Methylpropan*

Als Hilfe kann man sich merken, dass die Anzahl der C-Atome im Substituenten immer kleiner als die Positions-Nummer sein muss. Sollte dieses nicht so sein, hat man mit ziemlich großer Sicherheit nicht die längste Cohlenstoff-Kette herausgefunden.
Am Ende werden die Namen der Stoffe zusammengeschrieben und nur bei Angaben von Positionen oder anderen Struktur-Informationen durch Bindestriche unterbrochen. Der Stoffname wird nur am Anfang großgeschrieben.
Die Schreibung der Namen ist für Anfänger recht schwer zu lesen. Da hilft primär nur üben. In diesem Skript benutzen wir an geeigneter Stelle die farbliche Unterlegung von Silben. Sehr häufig wird die vorletzte oder letzte Silbe bei wissenschaftlichen Namen besonders betont. Aber auch hier heißt es: **Üben, üben und nochmals üben.**

Äquivalent lassen sich die Namen in Strukturformeln umsetzen. Schauen wir uns das bei einem etwas komplizierteren Beispiel an: 3,5-Diethyl-5-propyloctan (3,5-Diethyl-5-propyloctan) an:

Regel	Namens-Teil	Formel
1. Der Namenstamm ergibt die längsten mögliche C-Kette (Hauptkette)	3,5-Diethyl-5-propyloctan	
2. Nummerierung der Kette		
3. (schrittweise) Bildung und Positionierung der Anhänge (Seitenketten) → 2x Ethyl an den Positionen 2 und 4	3,5-Diethyl-5-propyloctan	
	3,5-Diethyl-5-propyloctan	
4. Auffüllen der restlichen Bindungen mit H (→ Vierbindigkeit des Cohlenstoffs)		
→ fertige Formel	→	
→ Summenformel	→	$C_{15}H_{32}$

Kommen wir aber auf die Isomerie zurück. Die Eigenschaften der Isomere unterscheiden sich voneinander. Wir müssen also unterschiedliche Stoffe betrachten.

Namen	**Summen-formel**	**Eigenschaften**
n-Butan	C_4H_{10}	Fp = –138,3 °C; Kp = –0,5 °C ; ρ = 0,601 g/cm^3
iso-Butan, 2-Methylpropan i-Butan	C_4H_{10}	Fp = –159,4 °C; Kp = –11,7 °C; ρ = 0,594 g/cm^3

Dazu später noch genaueres (→ 2.1.1.2.3. Eigenschaften von Isomeren).
Mit steigender Kettenlänge wächst auch die Zahl der (Struktur-)Isomere.

C-Atome	Isomere
1	1
2	1
3	1
4	2
5	3
6	5
7	9
8	18
9	35
10	75

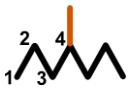
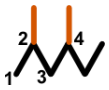
C-A.	Isom.
11	159
12	355
13	802
14	1'858
15	4'347
16	10'359
17	24'894
18	60'523
19	148'284
20	366'319

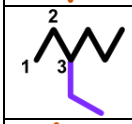
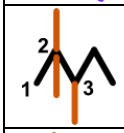
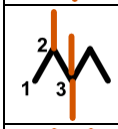
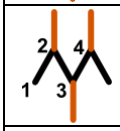
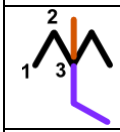
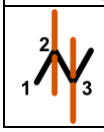
C-A.	Isomere
21	910'726
22	2'278'658
23	5'731'580
24	14'490'245
25	36'797'588
26	93'839'412
27	240'215'803
28	617'105'614
29	1'590'507'121
30	4'111'846'763

C-A.	Isomere
31	10'660'307'791
32	27'711'253'769
33	72'214'088'660
34	188'626'236'139
35	493'782'952'902
36	1'295'297'588'128
37	3'404'490'780'161
38	8'964'747'474'595
39	23'647'478'933'969
40	62'491'178'805'831

(c,p) 2009-2026 lsp: dre

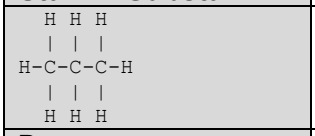
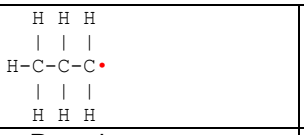
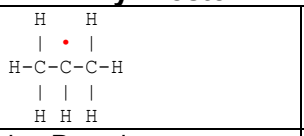
Isomere des Octans

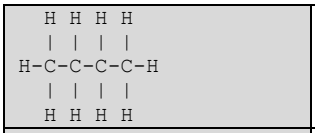
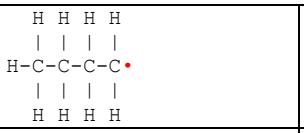
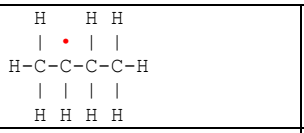
Struktur-Formel	Name
	n-Octan
	2-Methylheptan
	3-Methylheptan
	4-Methylheptan
	2,2-Dimethylhexan
	2,3-Dimethylhexan
	2,4-Dimethylhexan
	3,3-Dimethylhexan

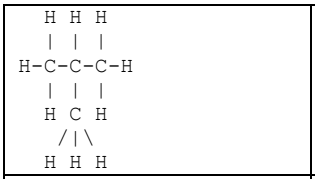
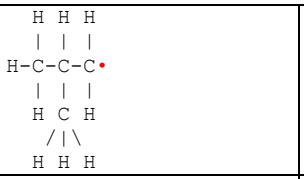
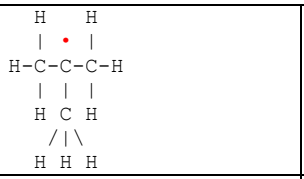
Struktur-Formel	Name
	3,4-Dimethylhexan
	3-Ethylpentan
	2,2,3-Trimethylpentan
	2,3,3-Trimethylpentan
	2,3,4-Trimethylpentan
	3-Ethyl-2-methylpentan
	3-Ethyl-3-methylpentan
	2,2,3,3-Tetramethylbutan

(c,p) 2009-2026 lsp: dre

Beispiele und Benennung verzweigter Reste

Stamm-Substanz	Alkyl-Reste		
			
Propan (Pr)	n-Propyl- (nPr-)	iso-Propyl- (iPr-)	

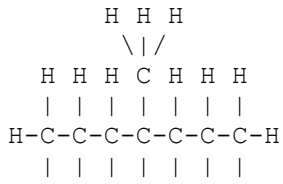
			
Butan (Bu)	n-Butyl- (nBu-)	sec-Butyl- (sBu-)	

			
iso-Butan (iBu)	iso-Butyl- (iBu-)	tert-Butyl- (tBu-)	

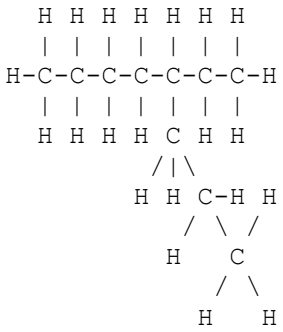
Aufgaben:

1. Bilden Sie die systematischen Namen zu den folgenden Struktur-Formeln!

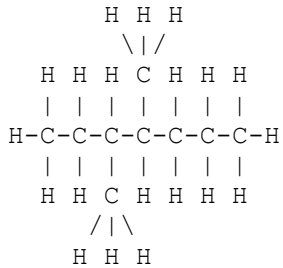
a)



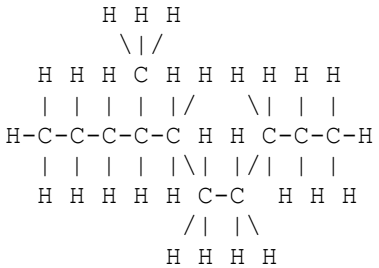
b)



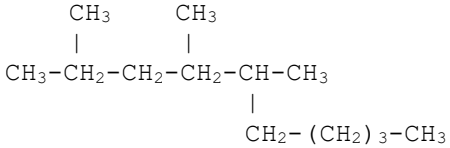
c)



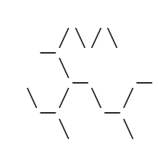
d)



e)



f)



 (c,p) 2009-2026 lsp: dre

2. **Kennzeichnen Sie bei den folgenden Stoffnamen die Sprech-Silben entweder mit verschiedenen Textmarkern oder durch senkrechte Striche! Lesen Sie die Namen laut und deutlich vor! Achten Sie auch auf die Betonung!**

a) 3,4-Dimethylhexan
b) 3,5-Diethyl-4,6-dimethylnonan
c) 2-Methyl-4-ethyl-5-propyloctan

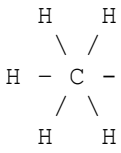
3. **Kennzeichnen Sie in den obigen Stoff-Namen die chemischen Namens-Silben bzw. Wortteile! Erläutern Sie jeweils deren Bedeutung bzw. Entsprechung!**

4. **Leiten Sie die vollständigen Struktur-Formeln zu den nachfolgen Stoffnamen ab! Stellen Sie dann die Gitter-Struktur-Formeln auf!**

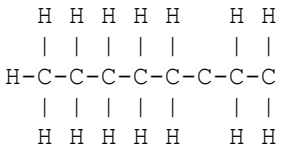
a) 3-Ethylhexan
b) 2-Methyl-4-ethyl-5-propylnonan
c) 2,3,4,5,6-Pentamethylheptan

5. **Finden Sie die Fehler in den Namen bzw. den Formeln!**

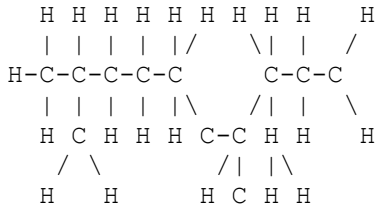
a) 1-Propylhexan
b) 2-Ethyl-4-dimethyl-2-propyloctan
c) 2,2,2,3,3-Pentamethylheptan
d)



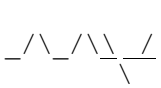
e)



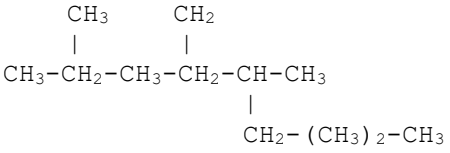
f)



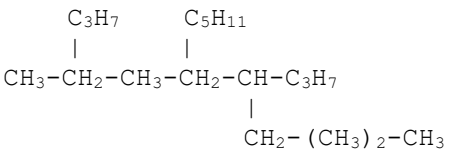
g)



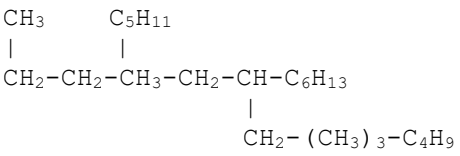
h)



i)



j)



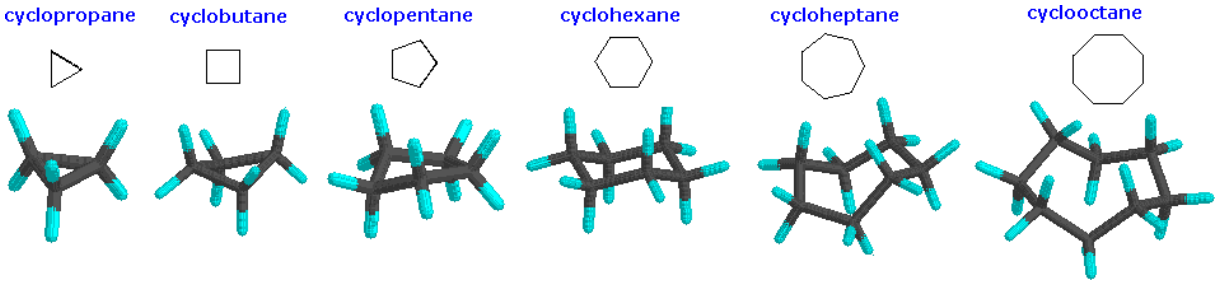
6. **Welche Alkyle sind von Pentan möglich? Zeichnen Sie die Strukturen auf!**
7. **Was versteht man unter der Konformation eines Moleküls? Erläutern Sie das am Beispiel eines Ethan-Molekül-Modell's!**
8. **Welche Merkmale haben Isomere eines Alkan's gemeinsam? Oder gibt es gar keine, weil es eigentlich völlig andere Stoffe sind?**

interessanter Link:
http://www.mathe2.uni-bayreuth.de/sascha/papers/alkane.pdf (Skript über die Berechnung von Isomeren)

(c,p) 2009-2026 lsp: dre

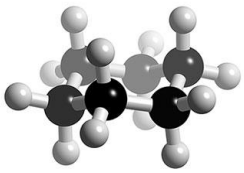
2.1.1.1.3. ringförmige Alkane – Cycloalkane

Neben den Verzweigungen ist auch denkbar, dass sich ringförmige Strukturen bilden. Tatsächlich gibt es auch solche Alkane, die als **Cycloalkane** (cyclus = lat.: Kreis) geführt werden. In der organischen Chemie nutzt man auch den Namen **Naphthene** für gesättigte, cyclische Kohlenwasserstoffe. Die allgemeine Formel lautet $\mathbf{C_nH_{2n}}$. In den Namen wird das cyclo- vor den Stammnamen (normales Alkan, lt. Anzahl der C-Atome) gesetzt. Dabei sind erst ab drei C-Atomen cyclische Strukturen denkbar.

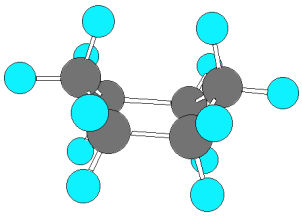


Q: www.cem.msu.edu

Da die Bindungswinkel in den C-Ringen von den normalen Tetraeder-Winkel abweichen, sind die Bindungen gespannt, was sich in einer erhöhten Reaktivität zeigt.
Erst ab sechs C-Atomen im Ring entstehen stabile Strukturen. Auch die Cycloalkane mit fünf bzw. sieben Cohlenstoff-Atomen weisen noch gewisse Ringspannungen auf, diese können aber schon vernachlässigt werden.
Für das Cyclohexan C_6H_{12} werden zwei verschiedene (stabile) Raumstrukturen beschrieben.

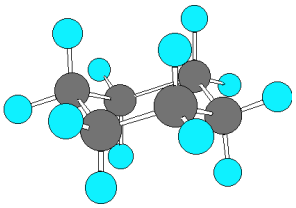


Q: www.3dchem.com



Wannenform, Bootform





Sesselform



Die jeweils unteren Abbildungen zeigen die Gitterstruktur-Formeln mit 3D-Informationen. Dicke Linien kennzeichnen die vorne liegenden Bindungen. Bindungen, die aus der Ebene herauslaufen würden, sind durch dünner bzw. dicker werdende Linien angedeutet. Manchmal werden nach hinten laufende – oder hinten liegende – Bindungen durch gestrichelte Linien dargestellt.

Die Sesselform ist energetisch günstiger und somit häufiger anzutreffen. Treten bei einem Stoff verschiedene Raumstrukturen auf, dann nennen wir dies Konformationen. Je größer Moleküle werden, umso bedeutsamer wird die Konformation-Isomerie. In der Biologie spielen Konformations-Unterschiede eine sehr große Rolle.

Durch die Wärmebewegung der Teilchen kommt es bei entsprechender Anregung zu Umwandlungen der Raum-Strukturen ineinander:



Aufgaben:

1. *Erstellen Sie eine Tabelle (C-Anzahl, Name, vollständige, verkürzte und Gitter-Struktur-Formel) mit den ersten 6 Mitgliedern der homologen Reihe der cyclo-Alkane!*
2. *Bauen Sie mit Hilfe eines Molekül-Baukasten's cyclo-Propan, cyclo-Hexan und Cyclo-Nonan nach! Welche strukturellen Merkmale fallen dabei auf?*
3. *In Ringen können sich gut andere Stoffe (mehr oder weniger fest) einlagern. Welche Eigenschaften müssen dies Stoffe haben? Erklären Sie, warum die Stoffe gerade in Ring-förmigen Strukturen so gut eingelagert werden können!*

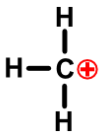
für die gehobene Anspruchsebene:

4. *Rechercieren Sie die Schmelz- und Siedepunkte sowie die Dichte der cyclo-alkane bis C10! Stellen Sie die Daten in passenden Diagrammen dar! (Behalten Sie die Diagramme erst einmal unter Verschluß!)*
5. *Erklären Sie die Kurven-Verläufe!*

(c,p) 2009-2026 lsp: dre

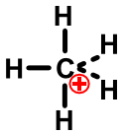
2.1.1.1.4. Alkan-Reste als Ionen

Positiv geladenene Cohlenstoff-Ion innerhalb einer Cohlenwasserstoff-Struktur werden **Carbo-Kation** genannt. Ihnen feht praktisch ein Außen-Elektron. Die restlichen drei Außen-Elektronen stecken in Bindungen zu Wasserstoff- oder Cohlenstoff-Atomen.



Carbenium-Ion

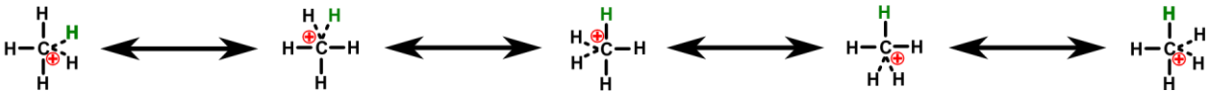
Eine Variante des Carbo-Kation's ist das **Carbenium-Ion**. Es besitzt drei Bindungs-Partner, wobei einzelne Atome auch mehrfach gebunden sein können. Das Carbenium-Ion ist durch ein Elektronen-Sextett gekennzeichnet. Es besteht Elektronen-Mangel (→ Oktet-Regel) – das C-Atom ist also positiv geladen.



Carbonium-Ion

Die zweite Variante ist das **Carbonium-Ion**. Hier ist ein vollständiges Elektronen-Oktett vorhanden. Ein positiv geladenes Wasserstoff-Ion (Proton) interagiert mit einer Bindung und die drei Atome bilden eine sogenannte Dreizentren-Bindung (Zwei-Elektronen-Drei-Zentren-Bindung) aus. Im Falle des Methan-Abkömmling – dem Methonium-Ion CH_5^+ – befinden sich noch drei normal gebundene Wasserstoff-Atome am Cohlentoff.

Der Elektronen-Mangel an der Dreizentren-Bindung bewirkt ein Abziehen der Bindungs-Elektronen von einem der Nachbar-Wasserstoff-Atome, so dass eine neue Dreizentren-Bindung entsteht, während an der alten Position ein Wasserstoff wieder normal gebunden ist.

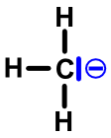


Der Effekt betrifft praktisch irgendwann mal alle Wasserstoff-Atome. Zur Veranschaulichung ist ein Wasserstoff-Atom grün markiert. Alle Situationen treten gleichwahrscheinlich auf. Praktisch nimmt das Molekül eine immaginäre Übergangs-Form ein, die wir aber nicht darstellen können. Man spricht von **Mesomerie**. Die Hin-und-Rück-Pfeile heißen übrigens Mesomerie-Pfeile und stellen immer Molekül-interne Umstrukturierungen dar. Es sind keine Reaktions-Pfeile, da hier eben keine chemischen Veränderungen ablaufen!

Den Begriff Mesomerie erläutern wir später genauer (→ 2.2.3.1. Bau und Struktur der Aromaten).

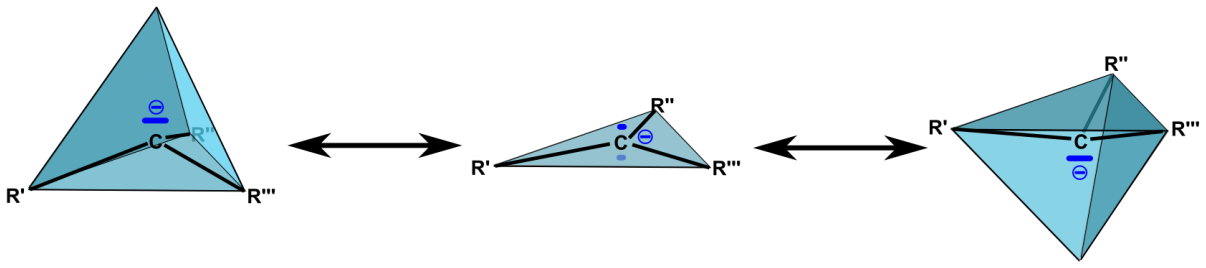
Durch Abspalten des einen Wasserstoff-Ion's (Proton's) und Übernahme auf eine Base (nach BROENSTEDT) stabilisiert sich die Cohlenwasserstoff-Struktur als Methan.

Das negativ geladenene Cohlenstoff-Ion innerhalb einer Cohlenwasserstoff-Struktur heißt **Carb-Anion** (selten Carbo-Anion). Es ist energetisch stabiler als das Carbenium-Ion. Trotzdem kommt es praktisch nur als temporäre Zwischen-Produkt in Reaktions-Mechanismen vor. In den Zwischen-Produkten wird das Carb-Anion jeweils durch Mesomerie stabilisiert.



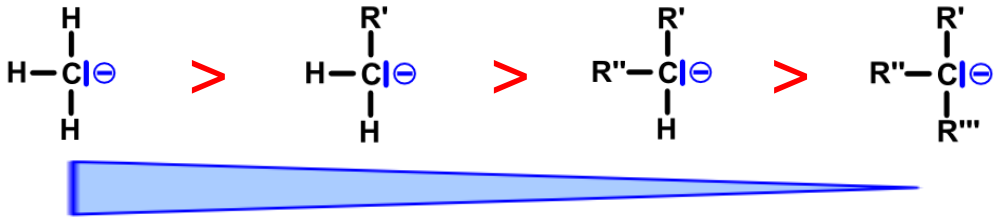
Carb-Anion

Interessant ist beim Carb-Anion der Umstand, dass die Tetraeder-Struktur quasi die Richtung bzw. Orientierung wechseln kann.



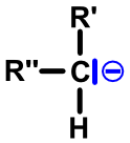
Das freie Elektronen-Päarchen kann praktisch zwischen oben-unten (s. Abb.) bzw. links-rechts usw. hin und her springen. Einen wesentlichen Anteil auf die Lage haben dabei die Wärme-Bewegungen der Reste. Werden sie nach oben oder unten gedrückt, weicht das Elektronen-Päarchen auf die andere Seite aus. Durch diese Bewegungen sind u.U. bei optisch-aktiven Stoffen bestimmte Wechsel (zwischen den Stereo-Isomeren) möglich (Stereo-Isomerie → 🕮 **organische Chemie – Teil 2**).
Sind statt der Wasserstoff-Atome ein oder mehrere Alkyl-Reste an dem geladenen Cohlenstoff-Ion gebunden, dann spechen wir von primären, sekundären oder tertiären Carb-Anionen. Bei einem Alkyl-Rest spricht man von einem primären, bei zwei von einem sekundären und bei drei eben von tertiären Carb-Anionen.
Im Allgemeinen sind sekundäre Carb-Anionen stabiler als tertiäre. Primäre Carb-Anionen sind nochmals stabiler als sekundäre.

Stabilität der Ladung



Aufgaben für die gehobene Anspruchsebene:

1. *Wie erklärt sich die fallende Stabilität der verschiedenen Carb-Anionen?*
2. *Hat eigentlich ein Carb-Anion mit den Alkyl-Resten nach oben und unten eine kleinere oder größere Stabilität als das angegebene! Erklären Sie!*

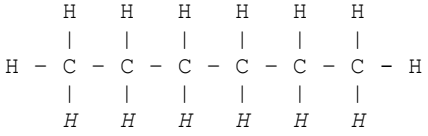


3. *Ein Carb-Anion hat jeweils einen Methyl-, Ethyl- und Propyl-Rest. Wieviele verschiedene Molekül-Konstellationen sind denkbar? Bauen Sie die Strukturen ev. mit einem Molekül-Baukasten (auch modellhaft möglich: z.B. für Methyl eine blaue (Atom-)Kugel, für Ethyl eine rote usw.) zusammen!*

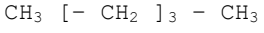
Aufgaben:

1. Bilden Sie die Namen für folgende Alkane!

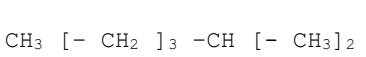
a)



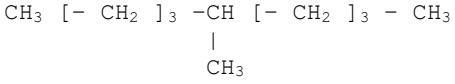
b)



c)



d)



e)



f)



2. Stellen zu folgenden Namen die Summen- und die vollständige Struktur-Formeln auf!

a) n-Nonan *b) 2-Methylhexan*

c) 3-Ethylpentan *d) 5-Butyldecan*

e) 3,3-Diethylpentan *f) 2,3,4-Triethyloctan*

3. Skizzieren Sie die Isomere des Hexans in verkürzten oder Gitter-Strukturformeln!

4. Finden Sie die Isomere des Heptans! Geben Sie jeweils eine Struktur-Formel und den exakten Namen des Isomers an!

5. Geben Sie zu den folgenden Namen jeweils eine passende Struktur-Formel an!

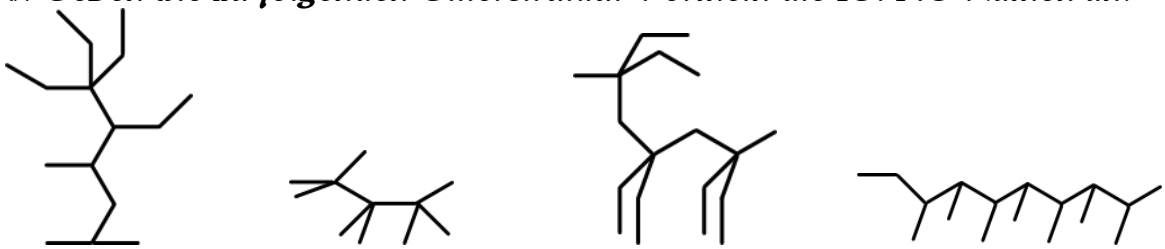
a) 4-Propylnonan *b) 3,4-Diethylhexan*

c) 4,4,6-Trimethyldecan *d) 4-Ethyl-7-methyl-5-propyldecan*

e) 5-Ethyl-4-methyl-7-propyldecan *f) 2,3,4-Triethyl-2,4-dimethyloctan*

für das gehobene Anspruchsniveau:

6. Geben Sie zu folgenden Gitterstruktur-Formeln die IUPAC-Namen an!

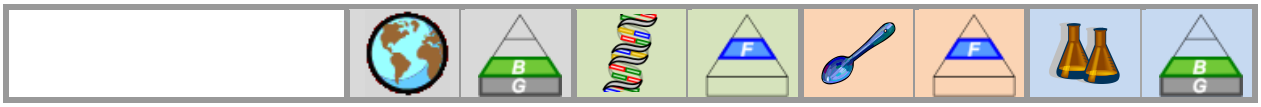


7. Finden Sie eigene Gitterstrukturformel-"Tiere" bzw. –"Pflanzen"! Geben Sie die exakten Namen an!

8. Jeder Kursteilnehmer Ihrer Gruppe denkt sich eine beliebige Strukturformel eines Alkans aus! Die längste Kette sollte 10 C-Atome nicht überschreiten. Als nächstes bilden Sie den Namen Ihres Alkans und veröffentlichen diesen an der Tafel! Die anderen Kursteilnehmer bilden dann die Strukturformeln aus den Namen! Am Schluß vergleichen Sie Ihre Struktur mit den Lösungen der anderen!

(c,p) 2009-2026 lsp: dre

2.1.1.2. Eigenschaften der Alkane



Problem-Fragen für Selbstorganisiertes Lernen

Welche Eigenschaften charakterisieren Alkane?
Wie sind die Alkan-Moleküle gebaut?

Was sind typische Reaktions-Arten der Alkane?

Welche Aussagen über die physikalischen und chemischen Eigenschaften kann man innerhalb einer geordneten Reihe von Alkanen feststellen?

Wofür kann man so langweilige Stoffe überhaupt gebrauchen?

?

In den folgenden Abschnitten gehen wir zuerst einmal von einfachen kettenförmigen Alkanen aus. Wo andere Strukturformen eine Rolle spielen, weisen wir darauf explizit hin. Im Prinzip gelten die Aussagen zu den kettenförmigen auch für die verzweigten und ringförmigen Alkane. Meist ändern sich die Zahlenwerte. Die allgemeinen Regeln und Gesetzmäßigkeiten gelten für alle Formen.

Versuch: Viskosität von Alkanen

Durchführung:

- *Füllen Sie immer einzeln 20 ml eines flüssigen Alkan's oder einer Fraktion in eine Maß-Pipette und bestimmen Sie die Auslauf-Zeit!*

Versuch: Löslichkeit von Alkanen in Wasser

Durchführung:

- *Füllen Sie für jedes zu untersuchende Alkan ein Reagenzglas mit 3 ml Wasser und geben Sie 3 Tropfen des Alkan's dazu!*
- *Beobachten Sie Phasen! Schütteln Sie zuerst vorsichtig und dann kräftig! Beobachten Sie dabei und lassen sich die Gemische dann immer noch kurz beruhigen!*

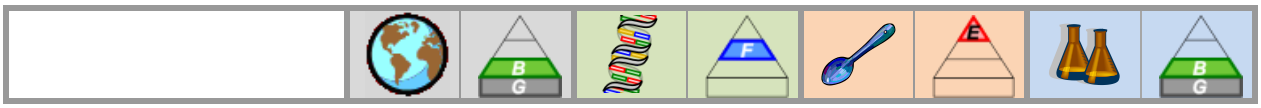
Versuch: Löslichkeit von Alkanen in Ethanol (Brennspiritus)

Durchführung:

- *Füllen Sie für jedes zu untersuchende Alkan ein Reagenzglas mit 3 ml Brennspiritus / Ethanol und geben Sie 3 Tropfen des Alkan's dazu!*
- *Beobachten Sie Phasen! Schütteln Sie zuerst vorsichtig und dann kräftig! Beobachten Sie dabei und lassen sich die Gemische immer kurz beruhigen!*

(c,p) 2009-2026 lsp: dre

2.1.1.2.1. physikalische Eigenschaften



Betrachten wir zuerst einmal die Aggregatzustände der Alkane. Ableiten kann man diese aus den Schmelzpunkten (Gefrierpunkt, Flusspunkt, Fp) und den Siedepunkten (Kochpunkt, Kondenspunkt, Kp). Für den Aggregatzustand wird standardmäßig der Zustand verwendet, in dem sich der Stoff bei 20 °C (293 K) (selten 25 °C (298 K)) befindet.

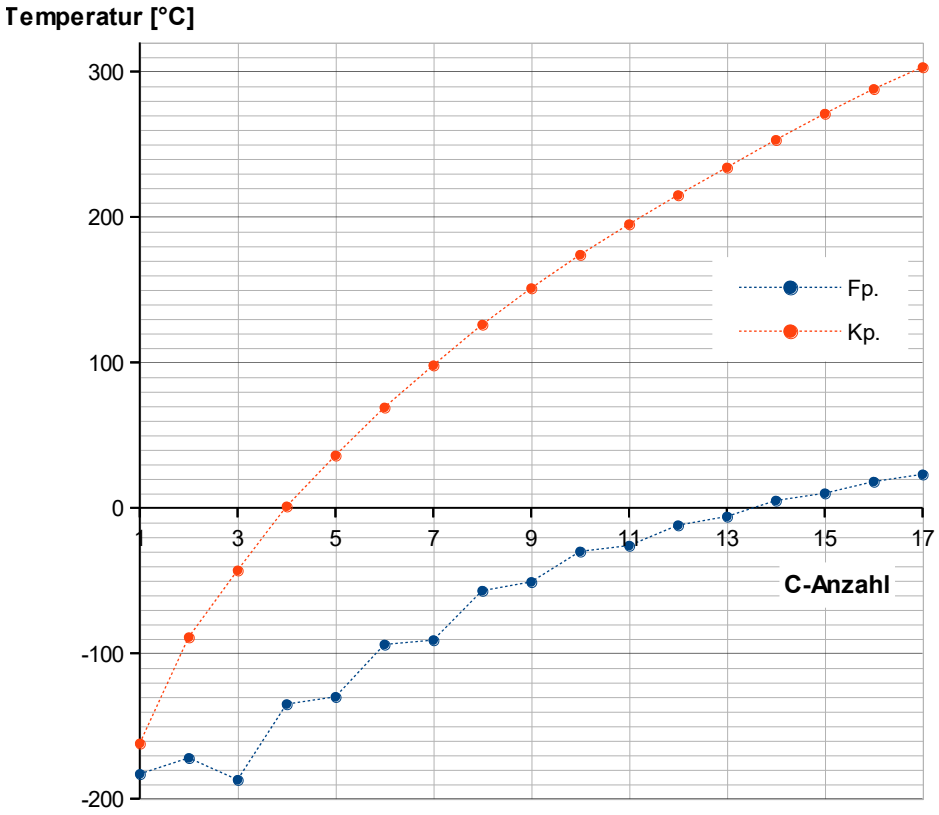
Anzahl C-Atome	**Name**	**Sum-men-formel**	**Schmelz-Temp. Fp [°C]**	**Siede-Temp. Kp [°C]**	**Aggre-gatzu-stand**	***Geruch***	**Dichte ρ [g/cm³]**
1	Methan	CH_4	-183	-162	gasförmig	*geruchlos*	0,5547 #)
2	Ethan	C_2H_6	-172	- 89	gasförmig	*geruchlos*	0,509 ##)
3	Propan	C_3H_8	-187	- 43	gasförmig	*geruchlos*	0,5005
4	Butan	C_4H_{10}	-135	+ 1	gasförmig	*geruchlos*	0,5787
5	Pentan	C_5H_{12}	-130	+ 36	flüssig	*Benzin-artig*	0,5572
6	Hexan	C_6H_{14}	- 94	+ 69	flüssig	*Benzin-artig*	0,6603
7	Heptan	C_7H_{16}	- 91	+ 98	flüssig	*Benzin-artig*	0,6837
8	Octan	C_8H_{18}	- 57	+126	flüssig	*Benzin-artig*	0,7026
9	Nonan	C_9H_{20}	- 51	+151	flüssig	*Benzin-artig*	0,7177
10	Decan	$C_{10}H_{22}$	- 30	+174	flüssig	*Benzin-artig*	0,7299
11	Undecan	$C_{11}H_{24}$	- 26	+195	flüssig		0,7402
12	Dodecan	$C_{12}H_{26}$	- 12	+215	flüssig		0,7487
13	Tridekan	$C_{13}H_{28}$	- 6	+234	flüssig		0,7564
14	Tetradecan	$C_{14}H_{30}$	+ 5	+253	flüssig		0,7628
15	Pentadecan	$C_{15}H_{32}$	+ 10	+271	flüssig		0,7685
16	Hexadecan	$C_{16}H_{34}$	+ 18	+288	flüssig	*geruchlos*	0,773
17	Heptadekan	$C_{17}H_{36}$	+ 23	+303	fest		0,777
18	Octadecan	$C_{18}H_{38}$	+ 28	+308	fest	*geruchlos*	0,777
19	Nonadecan	$C_{19}H_{40}$	+ 32	+330	fest		0,786
20	Eicosan	$C_{20}H_{42}$	+ 36	+205 *)	fest	*geruchlos*	0,7886
60	Hexacontan	$C_{60}H_{122}$	+ 98	+331 *)	fest	*geruchlos*	0,93
0	Wasser	H_2O	+ 0	+100	flüssig	*geruchlos*	1,0

*) im Vakuum bei 20 mbar; → bei Normaldruck vorher zersetzlich
#) bei 0 °C; ##) bei -60 °C

interessante Links:
https://www.chemicalbook.com (diverse Daten verschiedener Chemikalien / Stoffe)

Aufgaben:

1. *Erstellen Sie ein Diagramm, in dem die Schmelz- und die Siede-Temperatur in Abhängigkeit von der C-Atom-Anzahl dargestellt wird!*
2. *Erstellen Sie das Diagramm mit einer Tabellenkalkulation! (Wenn Sie keine zwei Graphen in einem Diagramm hin bekommen, dann können Sie auch zwei Diagramme erstellen.) Ordnen Sie Tabelle und das / die Diagramm(e) so an, dass alles auf ein DIN A4-Blatt passt (ev. Blatt quer nehmen) und drucken Sie dies dann aus!*
3. *Erstellen Sie ein Diagramm, in dem die Dichte in Abhängigkeit von der C-Atom-Anzahl dargestellt wird!*
4. *Wie können Sie anhand der Temperatur-Diagramme erkennen, ob ein Alkan fest, flüssig oder gasförmig ist? Erklären Sie Ihr Vorgehen!*



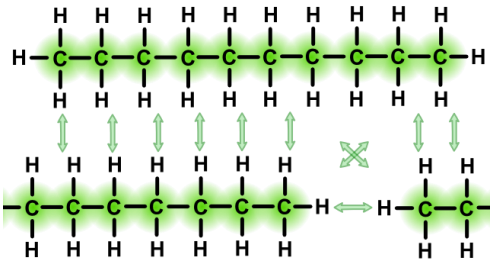
Zusammenfassend lässt sich sagen, dass mit steigender C-Anzahl im Molekül sowohl Schmelz- als auch Siedepunkt regelmäßig zunimmt. Die sehr kurzkettigen Alkane (C_1 – C_4) sind gasförmig. Die mittelkettigen bis C_{17} sind leicht- bis schwerflüssig. Ab C_{18} sind die Alkane dann fest. Man nennt sie auch Wachse, da sie in der Konsistenz dem Kerzenwachs ähneln. Kerzenwachs ist auch nichts anderes als ein Gemisch langkettiger Alkane.
Aber wie lassen sich die Schmelz- und Siedepunkte erklären? Sehr großen Einfluß auf den Siedepunkt haben zwei Faktoren. Einmal die Größe des Molekül's an sich – dies muss ja mit soviel Energie versorgt werden, da es sich aus der Flüssigkeit herauslösen muss und erst dann frei – im Gas – bewegen kann. Weiterhin spielt der Zusammenhalt der Moleküle untereinander eine Rolle. Existieren nur schwache Adhäsions-Kräfte (Haftungskräfte, VAN-DER-WAAHLS-Kräfte), dann wird das Heraustrennen einzelner Moleküle leichter möglich sein. Bei starken Adhäsions-Kräften müssen diese ebenfalls durch die externe Energiezufuhr überwunden werden, damit die Teilchen den flüssigen Zustand verlassen können.

Die Molekülgrößen haben wir schon betrachtet, da ist uns das Verhalten schon klar. Nur müssten ja eigentlich die Schmelz- und Siedetemperaturen immer gleichmäßig steigen, da die Zunahme der Teilchengröße ja auch gleichmäßig erfolgt.
Die Unregelmäßigkeiten zu Beginn der Schmelzpunktkurve lassen sich nur teilweise durch stark voneinander abweichenden Molekül-Geometrien erklären. Auch Zunahme-Effekte werden hier mit ins Spiel gebracht. Von Methan zu Ethan verdoppelt sich fast das Molekulargewicht (100% Zuwachs), während von Ethan zu Propan nur noch ein Zuwachs von 50 % zu verzeichnen ist. Mit zunehmender Kettenlänge wird der Zuwachs-Effekt immer kleiner.
Je größer die Teilchen werden, umso mehr Kontaktflächen bieten sie den Nachbarn für Adhäsions-Effekte. So sind die Unregelmäßigkeiten bei den Schmelz- und Siedepunkten z.T. zu erklären. Die Adhäsions-Kräfte sind hier sogenannte VAN-DER-WAALS-Kräfte (VAN-DER-WAALS-Wechselwirkungen, V-D-W-Bindungen). Diese basieren nicht auf Ladungen, sondern auf der gemeinsamen Nutzung von Elektronen – ähnlich wie bei Bindungen. Zwischen den Teilchen, Molekülen usw. treten kurzzeitig sehr kleine Dipole auf, die die Haftung verursachen. Insgesamt sind die Kräfte hier rund 1000x geringer als bei Bindungen. Sie haben einen sehr kleinen Wirkungsradius und nehmen mit der Entfernenung sehr schnell ab (mit der sechsten Potenz). Man kann sich die VAN-DER-WAALS-Kräfte aber auch über kurzfristige Ladungs-Verschiebungen in den Bindungen erklären. Die Elektronen des Elektronen-Paares bewegen sich schließlich. Mal sind sie dichter an dem einen und mal dichter am anderen Bindungs-Partner. Dort wo die Elektronen gerade sind, entsteht eine Partial-Ladung (Teil-Ladung). Die teil-Ladungen von gegenüberliegenden Molekül-Abschnitten können sich dann anziehen und stabiliseren. Hier haben wir dann gefühlt eine VAN-DER-WAALS-Bindung.
Bei höheren Temperaturen nehmen die VAN-DER-WAALS-Kräfte schnell ab, da die Abstände zwischen den Molekülen – durch die immer größer werden Bewegungen der Moleküle selbst – auch immer größer werden.
Bei sehr langkettigen Alkanen kommt es beim Erhitzen dazu, dass die Moleküle durch die Bewegungen und die Haftungskräfte zu anderen Molekülen (VAN-DER-WAALS-Kräfte) eher brechen, als dass sie in den gasförmigen Zustand überzugehen. In der Praxis arbeitet man dann in einem Vakuum. Die Teilchen haben nicht so einen großen Gegendruck (sonst ja der Luftdruck) und gehen so eher in die gasförmige Phase über. Es reichen also schon kleinere Temperaturen aus, was wiederum weniger Teilchen-Eigenbewegung bedeutet.
Prinzipiell könnten auch noch polare Kräfte zwischen den Molekülen wirken. Um die abzuschätzen, betrachtet man die Elektronegativitätswerte der einzelnen Atome im Molekül und vergleicht sie mit den jeweiligen Bindungspartnern. Je größer die Differenz, umso größer ist die Fähigkeit des Partners mit dem größeren Elektronegativitätswert, die Elektronen aus der Bindung zu sich zu ziehen. Das Ergebnis wäre eine negative (Voll-)Ladung oder eine Partial-Ladung, wenn die Elektronen nur teilweise angezogen werden.
Beim Betrachten der Elektronegativitäten in Alkanen finden wir nur zwei Fälle:

Bindung	C – C	C – H
Elektronegativität (EN)	2,5 2,5	2,5 2,1
Differenz der EN-Werte	0	0,4
resultierende Polaritäten	keine	sehr schwach σ^+ σ^- C ▸ H
resulierender Bindungs-Charakter	Atom-Bindung kovalente Bindung	praktisch Atom-Bindung

Da die Differenz gleich Null oder sehr gering ist, liegen keine bzw. sehr geringe Polaritäten vor. Aus der Praxis wissen wir, dass man Differenzen in dieser Größenordnung vernachlässigen kann. Im Allgemeinen werden deshalb in den Kohlenwasserstoffen keine Polaritäten betrachtet.
In der Reihe der Alkane verändern sich die Eigenschaften scheinbar relativ gleichmäßig und systematisch. Auch hierüber lässt sich der Begriff der homologen Reihe (homo = lat. gleich, logos = lat. Sinn, Lehre) herleiten. Wie wir noch sehen werden, bezieht sich diese Homologizität nicht

nur auf physikalische Eigenschaften, sondern ist ein allgemeines Prinzip in der organischen Chemie.
Die Alkane lösen sich nicht in Wasser. Das unpolare Wasser hat im Prinzip keine Angriffs-Punkte an den unpolaren Molekülen. Lediglich Methan löst sich in Wasser. Dies liegt daran, dass die relativ kleinen Methan-Moleküle sehr gut in die Lücken zwischen den Wasser-Molekülen passen. Die Wasser-Löslichkeit von Methan ist ein sehr typisches Beispiel für einen rein physikalischen Lösungs-Vorgang. Es kommt zu keinen chemischen Wechselwirkungen zwischen Methan- und Wasser-Molekülen.
In organischen Lösungsmitteln (z.B. Dichlorpropan, Ethylhexanol), die genau wie Wasser polar gebaut sind, lösen sich Alkane ebenfalls nicht. Weitere Beispiele für solche Lösungsmittel sind z.B. Aceton (→ Ketone) und Cohlensäure-Ester (→ Ester).
Sind dagegen im Lösungsmittel unpolare Moleküle oder Molekül-Teile dominierend, dann verbessert sich die Löslichkeit. Zwischen den unpolaren Lösungsmittel-Molekülen und den Alkan-Molekülen bilden sich VAN-DER-WAALS-Kräfte (VDW-Kräfte) aus.



VAN-DER-WAALS-Kräfte (hellgrün) zwischen unpolaren Molekülen
(mit den unpolaren C-H- und C-C-Bindungen)

Exkurs: Elektronegativität nach PAULING

Unter der Elektro-Negativität (Abk.: EN; Formel-Zeichen: χ (chi)) versteht man das Maß für die Fähigkeit eines Atoms die Bindungs-Elektronen zu sich zu ziehen. Diese Eigenschaft ist von den Ladungen innerhalb des Atoms (Anzahl der Protonen), der Größe des Atoms und seiner Ionisierungs-Energie abhängig.
Die Elektronegativität nach Linus PAULING legt eine relative Skala an. Dabei erhält das elektronegativste Element Fluor den (willkürlichen) Wert 4,0 (exakt 3,98 (Referenzwert)). Je weniger die Elemente in Bindungen die Elektronen-Paare zu sich ziehen können, als umso elektropositiver gelten die Elemente.
Die Elemente Cäsium und Franzium sind die elektropositivsten Elemente des PSE und besitzen den Wert 0,7 für ihre Elektronegativität.
Mit der Elektronegativität lässt sich die Art der Bindung zwischen zwei Atomen relativ einfach charakterisieren. Berechnet wird dazu die absolute Differenz zwischen den Elektronegativitäten der beiden Bindungs-Atome.

Δ EN = 0	→	kovalente Bindung (Atom-Bindung) bzw. Metall-Bindung
0 < Δ EN < 1,7	→	kovalente Bindung mit polarem Charakter (Atombindung mit Ionen-Charakter)
Δ EN > 1,7	→	polare Bindung (Ionen-Bindung, Ionen-Beziehung)

Verzweigte Alkane haben immer tiefere Schmelz- und Siede-Temperaturen. Dieses liegt daran, dass die Moleküle immer eine größere "Unordnung" mitbringen, als die unverzweigten Alkane gleicher Ketten-Länge. Je verzweigter die Moleküle werden, umso mehr ähnellt die äußere Molekül-Form einer Kugel. Dadurch wird die Oberfläche immer kleiner und somit können sich auch nur kleinere VAN-DER-WAALS-Kräfte zwischen den Molekülen ausprägen. Beim Erwärmen müssen dann nur geringe Widerstände überwunden werden, um die Moleküle aus dem Kristall (fester Aggregatzustand) oder der Flüssigkeit herauszubrechen.

Ermittlung der Siedetemperaturen von Alkanen

Durchführung:



- *für jedes zu untersuchende Alkan ein Reagenzglas mit einer 2 ml Probe versehen*
- *Reagenzglas vorsichtig erwärmen und mit Digital-Thermometer Siedepunkt messen*

Untersuchung der Flüchtigkeit von Alkanen

Durchführung:

- *Digital-Thermometer immer mit einem Stoff-Stück oder Küchen-Papier umwickeln und mit wenig von dem Alkan benetzen*
- *jeweils die Temperatur über mehrere Minuten messen oder per Daten-Logger Meßwerte aufnehmen*

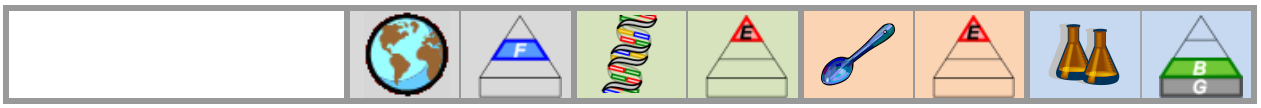
Bestimmung der molaren Masse von Methan

Durchführung:

- *Saugen Sie aus einer Gas-Wägekugel (250 ml) mit einem Kolbenprober 200 ml Luft, wiegen Sie die Kugel!*
- *Füllen Sie 100 ml Methan in die Kugel und wiegen Sie wieder!*
- *Berechnen Sie die Norm-Dichte und daraus dann die molage Masse!*

(c,p) 2009-2026 lsp: dre

2.1.1.2.2. chemische Eigenschaften – Reaktionen der Alkane



!!! Achtung: Das folgende Experiment darf je nach (Bundes-)Land u.U. nicht in der Schule durchgeführt werden!

Versuch: Reaktion von Hexan / Heptan mit Brom

Durchführung:

- *eine drei-geteilte PETRI-Schale wird mit Heptan od. Hexan + Brom, verdünnte Unitest-Lösung sowie Silbernitrat-Lösung befüllt*
- *Schale kommt abgedeckt auf den Tageslicht-Projektor*



Ersatz-Präsentation / Video		
	Reaktion von Brom mit Hexan	
	[AVG Trier Video-Podcast] ⌛ **3:30 min**	*****
	https://www.youtube.com/watch?v=PkrRveM_MWg	
	Woran erkennt man die Reaktion von Hexan und Brom? Welche Rolle hat helles Licht bei der Reaktion?	
Warum haben die Experimentatoren zuerst ein Gefäß mit Alu-Folie umwickelt?		

Versuch: Reaktion von Methan mit Chlor

Durchführung:

- ***unterm Abzug! mit Schutzbrille***
- *in ein großes Reagenzglas wird durch pneumatisches Auffangen durch eine Kochsalz-Lösung Chlor und Methan (Erdgas) im Volumen-Verhältnis 1 : 1 eingefüllt*
- *das leicht verschlossene Reagenzglas wird über einen Dia-Projektor zuerst mit einem Rot-Filter, dann mit einem Blau-Filter belichtet (jeweils langsame Annäherung an die Lichtquelle)*

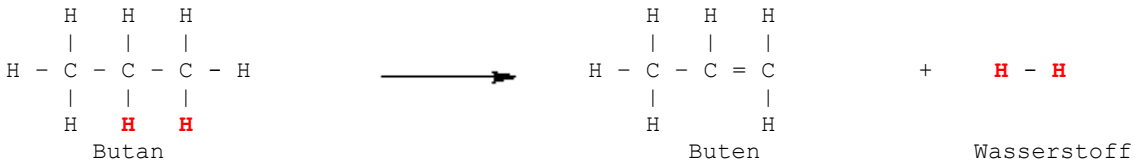


Die geringen Polaritäten und die vollständig abgesättigten Bindungen machen Alkane zu sehr reaktionsträgen Stoffen. Da sie insgesamt gesättigt sind, können keine zusätzlichen Atome oder Atom-Gruppen hinzukommen. Ein Austausch oder ein Abspalten ist dagegen möglich. Austausch-Reaktionen werden in der organischen Chemie **Substitutionen** (lat.: *substituere* = ersetzen) genannt, Abspaltungen sind **Eliminierungen** (lat.: *eliminare* = entfernen).

Substitution von Brom an Butan



Eleminierung von Wasserstoff aus Butan

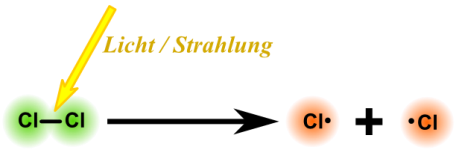


 (c,p) 2009-2026 lsp: dre

radikalische Substitution mit Halogenen:

Recht gut reagieren Halogen (F, Cl, Br, I) mit Alkanen. Auch hier müssen aber zuerst Radikale gebildet werden. Gerade Halogene neigen unter Lichteinstrahlung sehr leicht zur Radikalbildung (→ Fotochemie, fotoaktive Substanzen auf Filmen). Im Dunklen läßt sich die Spaltung auch thermisch induzierern. Dazu sind dann Temperaturen um 250 °C notwendig.

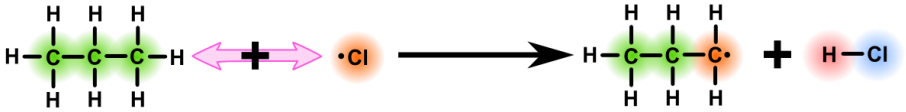
$$Cl_2 \xrightarrow{h * \nu} 2\ Cl\bullet$$



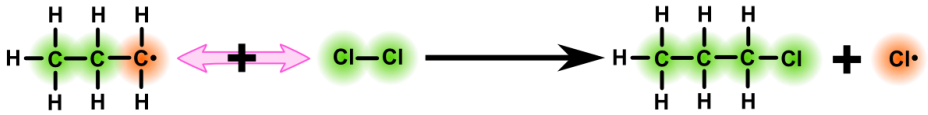
Die eingestrahte Energie regt die Bindungs-Elektronen so stark an, dass es zum Bruch der Bindung kommt. Die gebildeten Chlor-Atome besitzen einzelne ungepaarte Elektronen, die nach einer Sättigung (→ Achter-Schale) streben. Die Chlor-Atome können also auch als Chlor-Radikale gefasst werden.

Diese Radikal-Bildungs-Reaktion ist der Ausgangspunkt einer Kettenreaktion (Startreaktion, Kettenstart). Es folgen "produktive" Reaktionen, bei denen immer ein Radikal mit einem neutralen Teilchen reagiert:

$$CH_3 - CH_2 - CH_3 + Cl\bullet \longrightarrow CH_3 - CH_2 - CH_2\bullet + HCl$$



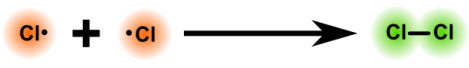
Ein Chlor-Radikal interagiert mit dem Propan-Molekül. Dabei entreißt es dem Propan ein Wasserstoff-Atom. Aus Wasserstoff und Chlor bildet sich Chlorwasserstoff. Das zurückbleibende Propyl kann als Radikal in weitere Reaktionen eingehen. Reagiert es z.B. mit Chlor, dann wird dem Chlor-Molekül ein Atom entzogen, welches nun an der Position des verlorengegangenen Wasserstoff sitzt.



$$CH_3 - CH_2 - CH_2\bullet + Cl_2 \longrightarrow CH_3 - CH_2 - CH_2Cl + Cl\bullet$$

Normalerweise findet die Reaktion vorrangig an den Enden des Alkan-Moleküls statt, da diese exponiert – der Chemiker sagt dazu: sterisch bevorteilt – sind. Neben Reaktionen in der Mitte der Moleküle sind auch mehrfache Austausch-Reaktionen an einem Alkan-Molekül möglich. Dabei sind Cohlenstoff-Atome ohne ausgetauschte jeweils bevorteilt (im Vergleich zu solchen, die schon – meist größere – ausgetauschte Atome besitzen).
Die Kettenreaktionen können sich nun ständig wiederholen, da das reaktive Chlor-Radikal am Ende wieder vorliegt. Reagiert ein Radikal mit einem anderen Molekül, dann bleibt immer wieder ein Radikal übrig.
Treffen aber zwei Radikale aufeinander, dann kommt die Radikal-Bildung – und damit auch die Kettenreaktion – zum Stillstand. Dies nennen wir Kettenabbruch. Dazu kommen alle möglichen Radikal-Kombinationen in Frage:

$$2\ Cl\bullet \longrightarrow Cl_2$$



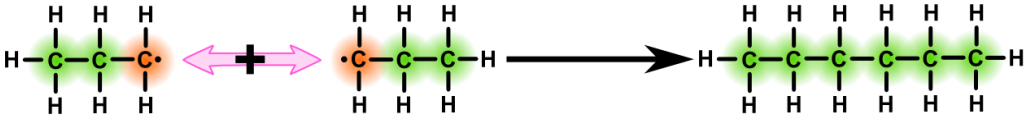
Das Zusammentrffen von zwei Chlor-Radikalen bewirkt in jedem Fall sofort eine Neuknüpfung der Atom-Bindung zwischen den beiden Atomen.

$CH_3 – CH_2 – CH_2\bullet + Cl\bullet \longrightarrow CH_3 – CH_2 – CH_2Cl$



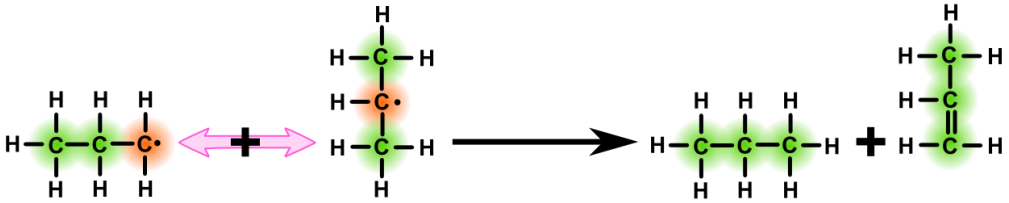
Trifft ein Propyl-Radikal mit seiner reaktiven Seite auf ein Chlor-Radikal, dann bildet sich das gewünschte Produkt.

$2\ CH_3 – CH_2 – CH_2\bullet \longrightarrow CH_3 – CH_2 – CH_2 – CH_2 – CH_2 – CH_3$



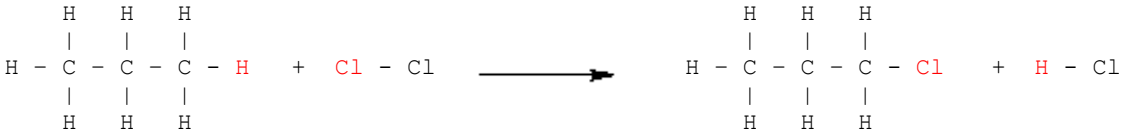
Zwei Propyl-Radikale können sich beim Zusammentreffen an ihren reaktiven Seiten zu einem neuen Alkan (hier: Hexan) kombinieren. Die beiden ungepaarten Elektronen bilden eine übliche C-C-Einfachbindung.

$CH_3 – CH_2 – CH_2\bullet + CH_3 – CH\bullet – CH_3 \longrightarrow CH_3 – CH_2 – CH_3 + CH_3 – CH = CH_2$



Andere Kollisions-Szenarien können auch andere Produkte entstehen lassen. Das gebildete Alken (hier: Propen) kann ebenfalls mit Chlor reagieren. Allerdings handelt es sich um einen anderen Reaktions-Mechanismus!

Kombinieren sich die Stoffe so, dass die gewünschten Produkte entstehen, dann sprechen wir von produktiven Reaktionen. Entstehen die Ausgangsstoffe zurück oder gar andere Verbindungen, dann werden sie den unproduktiven Reaktionen zugeordnet. In den meisten Fällen stellen neuartige Verbindungen dann Verunreinigungen oder Neben-Produkte dar.
Praktisch wird bei den besprochenen Reaktionen am Propan (unserem Ausgangsstoff) ein Wasserstoff-Atom durch ein Chlor-Atom ersetzt.



$CH_3 – CH_2 – CH_3 + Cl_2 \longrightarrow CH_3 – CH_2 – CH_2Cl + HCl$

Solche Reaktionen heißen **Substitution** (substituere = lat.: ersetzen). Wird die Substitution durch Radikale induziert, dann handelt es sich um eine **radikalische Substitution**. In der Literatur findet man häufig die Abkürzung $\mathbf{S_r}$ dafür. Vom Wasserstoff abweichende Anhänge an den Cohlenstoff-Atomen werden allgemein auch **Substituent** genannt. Oftmals sind sie über Substitutions-Reaktionen an die C-Kette gelangt.
Die Anzahl der möglichen Reaktionsprodukte ist beachtlich (→ 3.1.1. einfach halogenierte Kohlenwasserstoffe). Natürlich können bei entsprechenden Bedingungen alle Stoffe auch weiterreagieren (→ 3.1.2. mehrfache halogenierte Kohlenwasserstoffe). So entstehen weitere Substitutionsprodukte, die alle natürlich keine Kohlenwasserstoffe mehr sind. Sie sind so-

genannte Derivate (Abkömmlinge; derivare = lat.: ableiten) (→ 3. Derivate der Kohlenwasserstoffe).
Kommen neben Cohlenstoff und Wasserstoff noch Halogen-Atome (F, Cl, Br od. I) im Molekül vor, dann handelt es sich um Halogen-Derivate (→ 3.1. Halogenderivate).

Definition(en): Substitution
Substitutionen sind chemische Reaktionen, bei denen es zum Austausch von Atomen oder Atom-Gruppen kommt. Man unterscheidet radikalische, elektrophile und nucleophile Substitutionen.

Definition(en): radikalische Substitution / S_R-Reaktion
Bei einer radikalischen Substitution (S_R) werden Atome oder Atom-Gruppen über Zwischen-Produkte bzw. –Schritte ausgetauscht, bei denen Radikale entstehen. Radikalische Reaktionen sind selten Orts-selektiv, vielmehr ist der Ort des zufälligen Zusammenstoßes der Reaktions-Partner entscheidend.

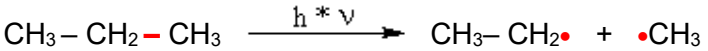
Ob es sich bei einem Stoff um ein Halogen-Alkan handelt, kann mit der BEILSTEIN-Probe vorgetestet werden. Dabei wird zuerst eine Cupfer-Draht-Öse so lange ausgeglüht, bis die Flammenfärbung verschwindet. Dann nimmt man mit der Öse eine kleine Stoff-Probe auf und erhitzt erneut. Färbt sich die Flamme grün, dann ist wahrscheinlich ein Halogen enthalten.

BEILSTEIN-Probe auf halogenierte Kohlenwasserstoffe:

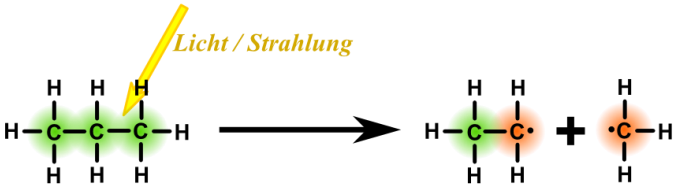
Vorbereitung	Probe	Durchführung	Beobachtungen	Ergebnis
in rauschender Flamme Cupferdraht-Öse ausglühen (bis farblose Flamme)	mit Öse aufnehmen	Öse in leuchtende Flamme halten	grünliche Flammen-Färbung anders	wahrscheinlich halogenierter Kohlenwasserstoff wahrscheinlich kein halogenierter KWS

radikalische Eleminierung / Dehydrierung:

Durch Licht-Energie kann an einzelnen Stellen eine C-C-Bindungen zerlegt werden. Dabei entstehen – wie üblich – zwei Radikale:



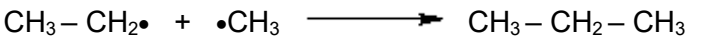
homolytische Spaltung der Bindung

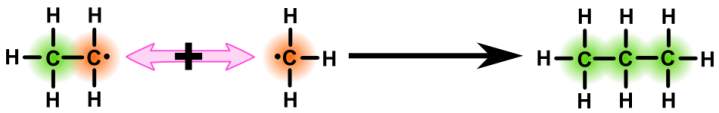


Die Strahlungs-Energie bewirkt eine Aktivierung der (einer) Bindung. Bei ausreichender Energie-Absorption wird die Bindung (homolytisch) aufgespalten. Es entstehen zwei Radikale, die mit ihren ungepaarten Elektronen sehr reaktiv sind.

Weil es sich um Alkyl-Reste handelt, nennt man diese Alkyl-Radikale. Meist kombinieren sich die beiden Radikale sofort wieder (Rekombination). Die Alkyl-Radikale sind viel zu groß, um schnell genug vom zweiten Radiakal wegzudiffundieren.

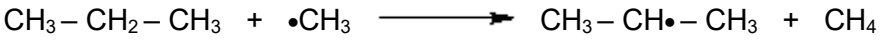
Deshalb können wir Alkane auch unbedenklich im Licht stehen lassen. Zum einen reicht die "normale" Licht-Energie nicht aus, um eine C-C-Bindung zu spalten. Zum anderen reagieren die Radikale in Form einer Rekombination gleich wieder zum Ausgangs-Molekül zurück.

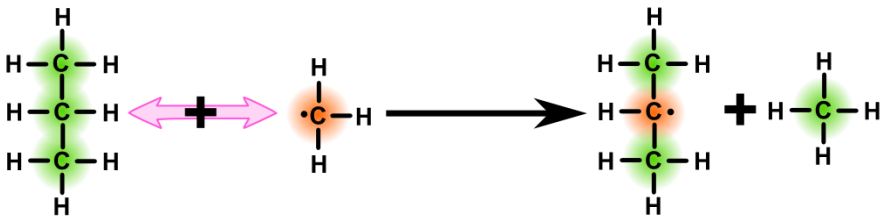




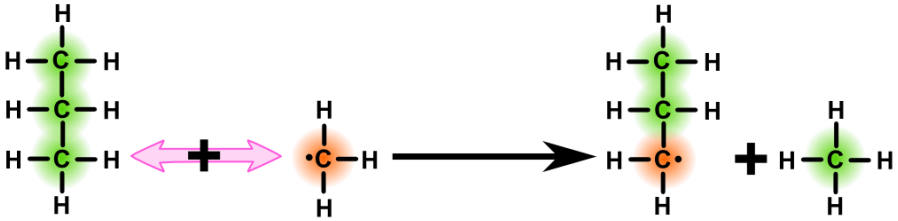
Die ungepaarten Elektronen der Radikale (orange Kennzeichnung) streben Energie-ärmere Zustände (z.B. eine Bindung) an. Sehr häufig reagieren deshalb die gerade gebildeten Radikale gleich wieder zurück.
(Die grüne Kennzeichnung steht für neutrale Verhältnisse bzw. geringe Polaritäten.)

Seltener induziert ein Radikal die Radikal-Bildung an einem Nachbar-Molekül.



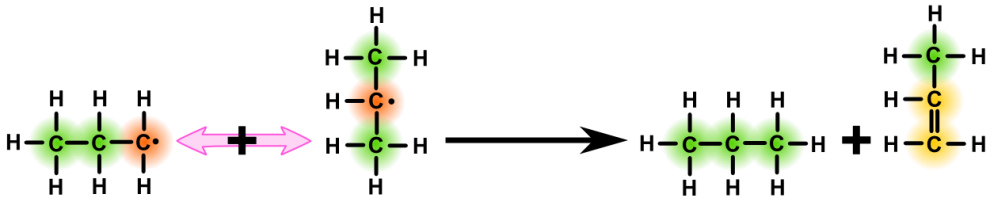


Ein Propan-Molekül reagiert mit einem Methyl-Radikal. Dabei entzieht dieses dem Propan ein Wasserstoff-Atom (quasi ein Wasserstoff-Radikal) und hinterläßt am Propan ein ungepaartes Elektron.
Neben mittelständigen Radikalen können auch endständige entstehen. Entscheidend ist dabei das räumliche Zusammentreffen der beiden Moleküle.

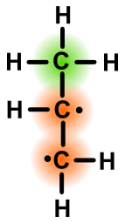


Treffen dann zwei solcher Molekül-Radikale aufeinander, können sie sich u.U. unsymetrisch rekombinieren und es entstehen zwei verschiedene Produkte.

$CH_3 - CH\bullet - CH_3 \;+\; CH_3 - CH\bullet - CH_3 \longrightarrow \underset{\text{Alkan}}{CH_3 - CH_2 - CH_3} \;+\; \underset{\text{Alken (Propen)}}{CH_3 - CH = CH_2}$



Je nach Zusammentreffen der Radikale kann das eine (/ reaktive) Radikal dem anderen (passiven) ein Wasserstoff-Atom entziehen. Am zweiten Radikal tritt kurzzeitig ein zweites ungepaartes Elektron auf (s.a. rechte Abbildung). Die beide ungepaarten Elektronen kombinieren sich sofort zu einer zusätzlichen Bindung. Zwischen den beteiligten Cohlenstoff-Atomen bestehen jetzt zwei Bindungen. Sie wird auch Doppel-Bindung genannt. Sie ist besonders Elektronen-reichen, aber nicht negativ geladen (gelbe Kennzeichnung).



Man nennt so einen Vorgang auch **Disproportionierung** (Dismutation).
Bei der Disproportionierung bzw. bei der unsymetrischen Rekombination entstehen völlig neue Kohlenwasserstoffe (als die Ausgangsstoffe). Sie enthalten wegen des auftretenden Wasserstoff-Mangels (in den Radikalen) eine sogenannte **Doppelbindung** zwischen den Cohlenstoff-Atomen. Mehr dazu bei den Alkenen (→ 2.2.1. Alkene).Die gleichen Kohlenwasserstoffe kann man aus Alkanen gewinnen, wenn man diese direkt dem Sonnenlicht aussetzt oder noch besser – einer sogenannten thermischen **Pyrolyse**. Bei sehr hohen Temperaturen (rund 800 °C) werden die Alkane dabei dehydriert, d.h. Wasserstoff abgespalten.

$\underset{\text{Propen}}{CH_3 - CH_2 - CH_3 \longrightarrow CH_3 - CH = CH_2} \;+\; H_2$

(Damit die Dehydrierung nicht bis zum reinen Cohlenstoff (Ruß) führt, wird Wasserdampf hinzugefügt. Durch spezielle Katalysatoren lässt sich die Reaktion noch weiter gezielt durchführen.)
Bei der **Dehydrierung** wird also eine Atomgruppe abgespalten, deshalb gehört eine solche Reaktion zur Gruppe der **Eleminierung**en (eliminare = lat.: entfernen, über die Schwelle bringen). Bei der Eliminierung an Alkanen entstehen immer sogenannte Mehrfachbindungen. Dies können Doppel- oder Dreifachbindungen zwischen Cohlenstoff-Atomen sein. Da nicht alle Bindungsmöglichkeiten abgesättigt sind, spricht man auch von ungesättigten Kohlenwasserstoffen (→ 2.2. ungesättigte Kohlenwasserstoffe).
Die Pyrolyse bewirkt bei langkettigen Alkanen vielfach auch eine Spaltung in Radikale (s.a. oben) bzw. in zwei verschiedene kurzkettige Cohlenwasserstoffe (meist ein Alkan und ein Alken).

z.B.: $\underset{\text{Alkan (Decan)}}{CH_3 (- CH_2)_8 - CH_3} \longrightarrow \underset{\text{Alken (Penten)}}{CH_3 (- CH_2)_2 - CH = CH_2} \;+\; \underset{\text{Alkan (Pentan)}}{CH_3 (- CH_2)_3 - CH_3}$

Da wir in der Praxis mehr kurzkettige Cohlenwasserstoffe (z.B. Benzin, Diesel, Kerosin, …) brauchen als langkettige, werden die eher längerkettigen Alkane des Erdöls gerne durch die Pyrolyse passend gemacht.

Aufgaben:

1. *Überlegen Sie sich, wieviele verschiedene Radikale des Propans möglich sind! Begründen Sie Ihre Meinung!*
2. *Stellen Sie mindestens drei weitere Reaktionen auf, die bei der Pyrolyse des Decans auftreten könnten!*
3. *Wie könnte man unproduktive Neben-Produkte prinzipiell von den gewünschten abtrennen?*

für das gehobene Anspruchsniveau:

4. *Welche Reaktions-Produkte können beim Zusammen-Treffen der verschiedenen möglichen Propan-Radikale entstehen? Stellen Sie die verkürzten Struktur-Formeln auf und benennen Sie die Alkane!*

(c,p) 2009-2026 lsp: dre

Versuch: Brenn-Probe einzelner Alkane

Durchführung:



- *Wählen Sie einzelne flüssige Alkane aus, geben Sie immer jeweils einige Tropfen in eine Porzellan-Schale und versuchen Sie die Probe zu entzünden!*
- *Als gasförmigen Alkan können Sie Erdgas oder Propan/Butan aus der Gas-Anlage benutzen.*

Oxidation (Verbrennung):

Wie die meisten Kohlenwasserstoffe, brennen Alkane auch gut. Zumindestens von Methan (Erdgas), Propan (Camping-Gas) und Butan (Feuerzeug-Gas) ist dies den meisten auch bekannt. Wesentlich mehr Alkane werden aber in Benzin und Diesel verbrannt – beides Gemische aus relativ kurzkettigen, flüssigen Alkanen und deren Isomeren. Chemisch handelt es sich hier um Oxidationen – hier im Sinne der Reaktion mit Sauerstoff. Natürlich sind es praktisch Redoxreaktionen, d.h. Reaktionen mit Elektronen-Übergang. Dies betrachtet man im Allgemeinen bei den Verbrennungen aber nicht so vordergründig.

$$CH_3 - CH_2 - CH_3 \;+\; 5\,O_2 \longrightarrow 3\,CO_2 \;+\; 4\,H_2O$$

Verbrennungen mit ausreichend Sauerstoff führt immer zur Bildung von Cohlendioxid und Wasser. Wir sprechen von einer **vollständigen Oxidation**.
Bei einem Mangel an Sauerstoff kommt es zur **unvollständigen Oxidation** (unvollständige Verbrennung). Man erkennt dies an einer rußenden Flamme (reiner Cohlenstoff) bzw. an der Bildung eines mehr oder weniger großen Anteils an Cohlenmonoxid.

$$CH_3 - CH_2 - CH_3 \;+\; 2\tfrac{1}{2}\,O_2 \longrightarrow CO \;+\; 2\,C \;+\; 4\,H_2O$$

Je nach verfügbarer Sauerstoff-Menge entstehen unterschiedliche Anteile C, CO und CO_2.
Die Bildung von Cohlenmonoxid ist bei einer Verbrennung meist nicht gewünscht, da noch reichlich Energie im Cohlenmonoxid verbleibt (CO ist brennbar) und vor allem, weil CO ein sehr giftiges Gas ist. Die Giftigkeit beruht auf der nichtreversiblen Blockierung des Hämoglobins (Hämoglobin = roter Blutfarbstoff). Das Bindungsvermögen (Affinität) von CO zum Hämoglobin ist 300x größer als die von Sauerstoff. Schon geringe Mengen führen also zu nachhaltigen Beeinflussungen des Sauerstoff-Transportes in unserem Blut.

Definition(en): Oxidation
Eine Oxidation ist eine Teil-Reaktion der Redox-Reaktion, bei der sich die Oxidationszahl (OZ) eines Elementes erhöht.
Eine Oxidation (im klassischen Sinne) ist eine Reaktion mit Sauerstoff – mit anderen Worten eine Verbrennung.

Definition(en): vollständige Oxidation
Bei einer vollständigen Oxidation erreicht das betreffende Element seine höchstmögliche Oxidations-Stufe (Oxidations-Zahl).
Die bei einer vollständigen Oxidation hergestellten Produkte können nicht weiter oxidiert werden. In der organischen Chemie entstehen als Verbrennungs-Produkte Cohlendioxid, Wasser (bei Kohlenwasserstoffen) und bei Derivaten zusätzlich ev. Schwefeltrioxid, Distickstoffpentoxid, Diphosphorpentoxid, …

Definition(en): unvollständige Oxidation
Bei einer vollständigen Oxidation erreicht das betreffende Element noch nicht seine höchstmögliche Oxidations-Stufe (Oxidations-Zahl).
Die bei einer unvollständigen Oxidation gebildeten Produkte können noch weiter oxidiert werden. In der organischen Chemie entstehen als unvollständige Verbrennungs-Produkte Cohlenstoff (Ruß) und Cohlenmonoxid bei reinen Kohlenwasserstoffen.

Cracken

In der chemischen Industrie und für die Treibstoff-Wirtschaft werden viel mehr kurzkettige Alkane gebraucht als im Erdöl enthalten sind.
Der Begriff Cracken kommt aus dem englisch-sprachigen Raum und meint das "Spalten". Man kann sich Cracken gut als "Brechen" von Molekülen vorstellen. Dabei entstehen immer kleinere Moleküle.

Beim **katalytischen Cracken** erfolgt die Zerlegung der langkettigen Kohlenwasserstoffe an Zeolith-Katalysatoren. Zeolith ist Aluminiumsilikat und Schwamm-artig strukturiert. Die dadurch vorhandene große Oberfläche ermöglicht eine Vielzahl von Reaktionen.
Es entstehen außer kurzkettigen Alkanen auch Alkene (→ 2.2.1. Alkene; Olephine). Das katalytische Cracken von Hexadecan könnte z.B. in den folgenden Reaktionen ablaufen:

$$\underset{\text{Hexadecan}}{C_{16}H_{34}} \xrightarrow{\text{Kat.}} \underset{\text{Octan}}{C_8H_{18}} + \underset{\text{Octen}}{C_8H_{16}}$$

$$C_{16}H_{34} \xrightarrow{\text{Kat.}} \underset{\text{Decen}}{C_{10}H_{20}} + \underset{\text{Hexan}}{C_6H_{14}}$$

$$C_{16}H_{34} \xrightarrow{\text{Kat.}} \underset{\text{Heptan}}{C_7H_{18}} + \underset{\text{Hexen}}{C_6H_{12}} + \underset{\text{Propen}}{C_3H_6}$$

$$C_{16}H_{34} \xrightarrow{\text{Kat.}} \underset{\text{Nonan}}{C_9H_{18}} + \underset{\text{Buten}}{C_4H_{16}} + \underset{\text{Propen}}{C_3H_6}$$

Gearbeitet wird bei einem leichten Überdruck (1,4 bar = 1,38 atm = 140 kPa) und 450 bis 550 °C

Problematisch sind die meist noch sehr hohen Schwefel- und Stickstoff-Anteile in den Rohstoffen. Auch Ruß (reiner Cohlenstoff) wird in größerer Menge gebildet. Dadurch kommt es zur Vergiftung der Katalysatoren. Zum einen setzen sich dabei Stoffe in die Schwamm-Struktur ab und zum anderen bleiben Fremdstoffe an der Oberfläche des Katalysator's haften.
Bei diesem Verfahren muss der Katalysator regelmäßig aufgefrischt werden.

Eine weitere Möglichkeit andere und vor allem kurzkettige Kohlenwasserstoffe zu gewinnen ist das **thermische Cracken**. Dabei werden in Reaktoren ohne Sauerstoff-Zugang die langkettigen Alkane unter Druck () auf 450 bis 900 °C erhitzt.
Durch die hohen Temperaturen kommen die Moleküle so stark in Bewegung, dass sie auseinanderbrechen. An der Bruchstelle wird die Bindung gleichmäßig aufgeteilt, so dass zwei Radikale entstehen. Die verschiedenen Radikale kombinieren sich wieder. Durch geeignete Bedingungen werden dann immer die kleineren Rekombinanten entfernt und die längerkettigen weiter im Prozess gelassen. Je länger die Ketten sind, umso eher zerbrechen sie bei den hohen Temperaturen.
Als Beispiel nehmen wir hier mal Octadecan.

Radikal-Bildung:

$$\underset{\text{Octadecan}}{C_{18}H_{38}} \xrightarrow{\Delta} \underset{\text{Pentadecyl}}{\bullet C_{15}H_{31}} + \underset{\text{Propyl}}{\bullet C_3H_7}$$

$$\underset{\text{Octadecan}}{C_{18}H_{38}} \xrightarrow{\Delta} \underset{\text{Tetradecyl}}{\bullet C_{14}H_{29}} + \underset{\text{Butyl}}{\bullet C_4H_9}$$

Radikal-Rekombination:

$$\bullet C_{15}H_{31} + \bullet C_{14}H_{29} \longrightarrow \underset{\text{Nonacosan}}{C_{29}H_{60}}$$ *verbleibt im System*

$$\bullet C_4H_9 + \bullet C_3H_7 \longrightarrow C_7H_{16}$$ *wird abgetrennt*

Verwendet werden für das thermische Cracken alle möglichen Kohlenwasserstoffe. Das können auch Abfall-Produkte oder Reste (aus der Fraktionierten Destillation → Fraktionierte Destillation / Rektifikation) sein. Da hier kein Katalysator verwendet wird, gibt es auch keine Vergiftungs-Erscheinungen (der Katalysatoren). Allerdings ist der Prozess sehr Energieaufwändig.

(c,p) 2009-2026 lsp: dre

Aufgaben:

1. *Geben Sie vier weitere Reaktionen zum katalytischen Cracken von Hexadecan an!*
2. *Entwickeln Sie fünf Gleichungen zur Radikal-Bildungen und fünf Gleichungen zur Rekombination der gebildeten Radikale für das thermische Cracken von Hexadecan!*
3. *Zeigen Sie z.B. mit Gitterstruktur-Formeln, wie sich das Cracken von Nonacosan weiter entwickeln könnte? Entstehen da immer größere Moleküle?*

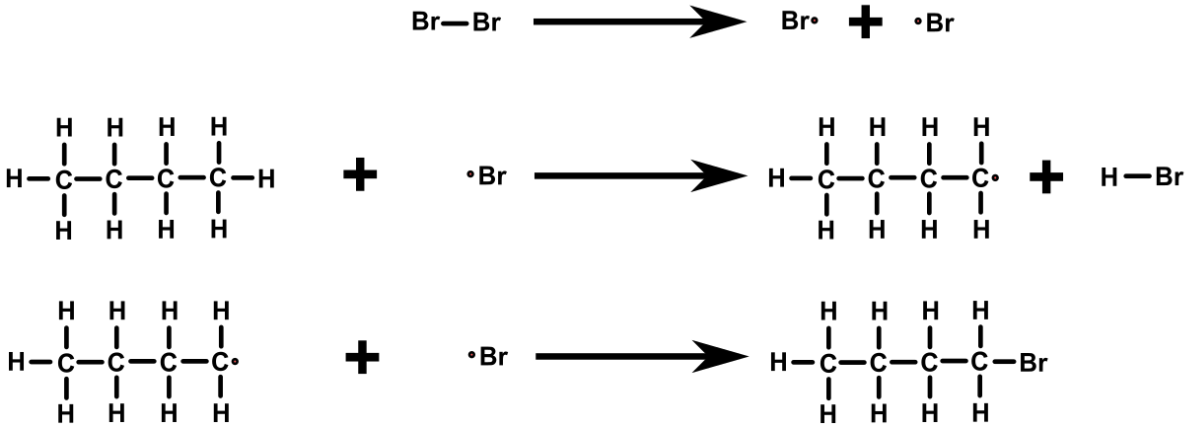
Reforming

auch katalytische Reforming

Ziel ist die Produktion von Kohlenwasserstoffen mit einer größeren Octan-Zahl. Dies erreicht man z.B. durch Eleminierung von Wasserstoff. Die Reaktion haben wir gerade besprochen.
Gerade längerkettige Alkane können beim Abspalten von Wasserstoff an den Enden Ringförmige Strukturen (→ 2.1.1.1.3. ringförmige Alkane – Cycloalkane) bilden.
Eine weitere Möglichkeit ist die Aromatisierung von cyclischen Alkanen. Was genau diese Aromatisierung ist, werden wir später genau besprechen. Praktisch sind die Produkte spezielle cyclische Alkene (→ 2.2.3. Aromaten - Arene).

Aufgaben:

1. *Zu welchen Reaktionen ist Ethan fähig? Stellen Sie die möglichen Reaktionsgleichungen auf!*
2. *Stellen sie folgende Reaktionsgleichungen auf!*
   a) Substitution mit Chlor an Methan
   b) vollständige Verbrennung von Butan
   c) unvollständige Verbrennung von Pentan im Stoffmengen-Verhältnis Pentan : Sauerstoff = 1 : 6
   d) Reaktion von Brom mit Ethan unter Verwendung von Struktur-Formeln
3. *Welche Reaktionsprodukte können bei der Photolyse von Butan entstehen?*
4. *Übernehmen Sie die nachfolgenden Gleichungen! Markieren sie mit Buntstiften (ersatzweise Textmarker) die Ladungs-Verhältnisse, die zum folgenden Reaktions-Verlauf führen! (Es reichen die Verhältnisse an den Reaktions-Orten!)*



5. *Beschreiben Sie mit eigenen Worten, was hier jeweils auf der atomaren / Elektronen-Ebene passiert!*
6. *Stellen Sie die Reaktions-Schritte (als Gleichungen) für die (einmalige) radikalische Substitution von Brom an Pentan auf!*
7. *Definieren Sie den Begriff homologe Reihe (umfassend)!*

für das gehobene Anspruchsniveau:

8. *Informieren Sie sich über den Kennwert Octan(-zahl) beim Benzin! Was bedeutet er? Wie wird er ermittelt? …?*
9. *Was bedeutet die Kennzeichnung eines Kraftstoffes mit ROZ95 E10?*

(c,p) 2009-2026 lsp: dre

Anzahl C-Atome	Name	Summen-formel	Flamm-punkt [°C]			
1	Methan	CH_4	-			
2	Ethan	C_2H_6	-			
3	Propan	C_3H_8	-			
4	Butan	C_4H_{10}	-			
5	Pentan	C_5H_{12}	-48			
6	Hexan	C_6H_{14}	-22			
7	Heptan	C_7H_{16}	-4			
8	Octan	C_8H_{18}	12			
9	Nonan	C_9H_{20}	31			
10	Decan	$C_{10}H_{22}$	46			
11	Undecan	$C_{11}H_{24}$				
12	Dodecan	$C_{12}H_{26}$				
13	Tridekan	$C_{13}H_{28}$				
14	Tetradecan	$C_{14}H_{30}$				
15	Pentadecan	$C_{15}H_{32}$				
16	Hexadecan	$C_{16}H_{34}$	135			
17	Heptadekan	$C_{17}H_{36}$	148			
18	Octadecan	$C_{18}H_{38}$	154			
19	Nonadecan	$C_{19}H_{40}$	164			
20	Eicosan	$C_{20}H_{42}$	176			
60	Hexacontan	$C_{60}H_{122}$				

/Daten-Q: http://www.chemieunterricht.de, /

Aufgaben:

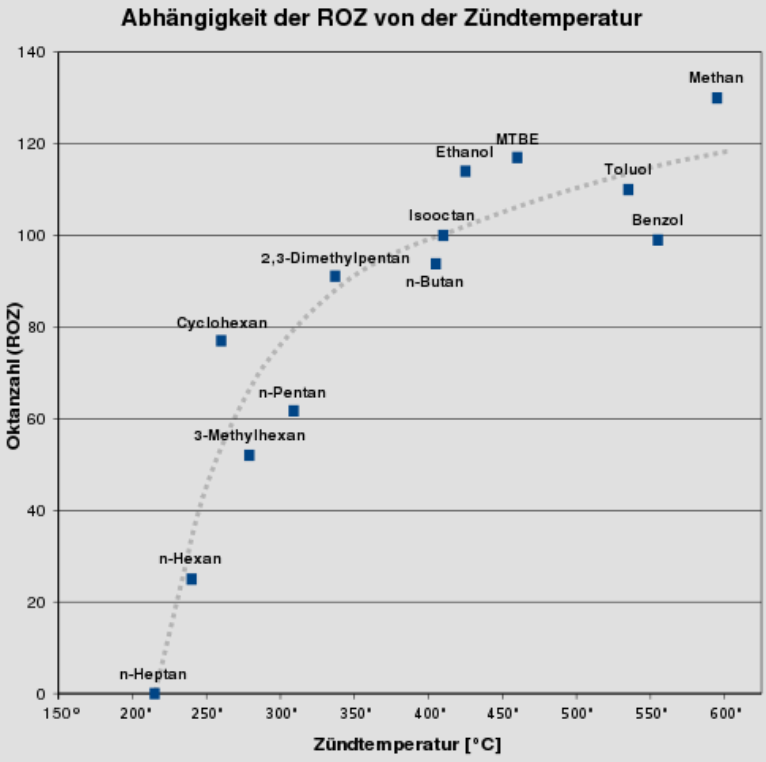
1. *Erstellen Sie ein Diagramm. dass den Zusammenhang zwischen der Kettenlänge eines Alkan's und dem Flammpunkt darstellt! (Diagramm kann auf Millimeterpapier oder mit einer Tabellenkalkulation erstellt werden.)*
2. *Erklären Sie, warum die Flamm-Temperatur prinzipiell mit der Kettenlänge steigt!*
3. *Welche Flammpunkte erwarten Sie für die Stoffe, die in der Tabelle fehlen? Begründen Sie Ihre Voraussage!*
4. *Prüfen Sie Ihre Vermutungen mit einer Recherche im Internet! (Verifizieren Sie die recherchierten Daten durch mehrere Quellen!)*

Exkurs: Oktan-Zahl / ROZ-Kennung des Benzins


n-Heptan


iso-Octan

Die Oktan-Zahl ist das Maß für den Widerstand einer Substanz (/ eines Isomers) gegen die Selbstentzündung (Klopffestigkeit). Die Vergleich-Skala wird von zwei definierten Substanzen bestimmt. Das n-Heptan hat per Definition die ROZ = 0 (ROZ .. Research-Oktanzahl; erforschte Oktan-Zahl) und das iso-Octan erhält die ROZ = 100.
n-Heptan ist zündfreudig, aber auch stark klopfende. Dagegen ist das iso-Octan nicht-klopfend, aber schwer entzündlich.
Hat jetzt ein Stoff / Isomer / Stoff-Gemisch die Klopffestigkeit von 80, dann verhält er sich genauso, wie ein Stoff-Gemisch aus 80 % iso-Octan und 20 % n-Heptan, das eben genau ROZ = 80 besitzt.
Roh-Benzin aus der Fraktionier-Kolonne hat eine Octan-Zahl zwischen 60 und 75. Früher wurde die Klopffestigkeit mit Blei-haltigen Substanzen (z.B.: Tetraethylblei) korrigiert.
Blei-haltiges Benzin ist wegen seiner Umwelt-Gefährdung seit vielen Jahren (ab 1988) verboten.
Heute werden andere Substanzen (z.B. Ethyl-tert-butylether (ETBE); exakt: tert-Butylethylether) zugegeben bzw. das Alkan- und Isomeren-Gemisch anders eingestellt.
Die andersartigen Zusätze werden **Additive** bzw. **Antiklopf-Mittel** genannt. Sie werden Im Allgemeinen sind die Zusätze nur in geringen Mengen (unter 1%) vorhanden.
Bei ETBE liegt der Volumen-Anteil allerdings deutlich höher. Zugelassen sind bis zu 15 %.
ETBE kann aus Ethanol (Bio-Alkohol) gewonnen werden. Ein anderes Additiv – das MTBE – wird dagegen nur aus fossilen Rohstoffen gewonnen. MTBE heißt exakt tert-Butylmethylether. (Ether werden im Skript (→ 🕮 **organische Chemie - Derivate**) besprochen.



Q: de.wikipedia.org (Peter Krimbacher)

Aufgaben:

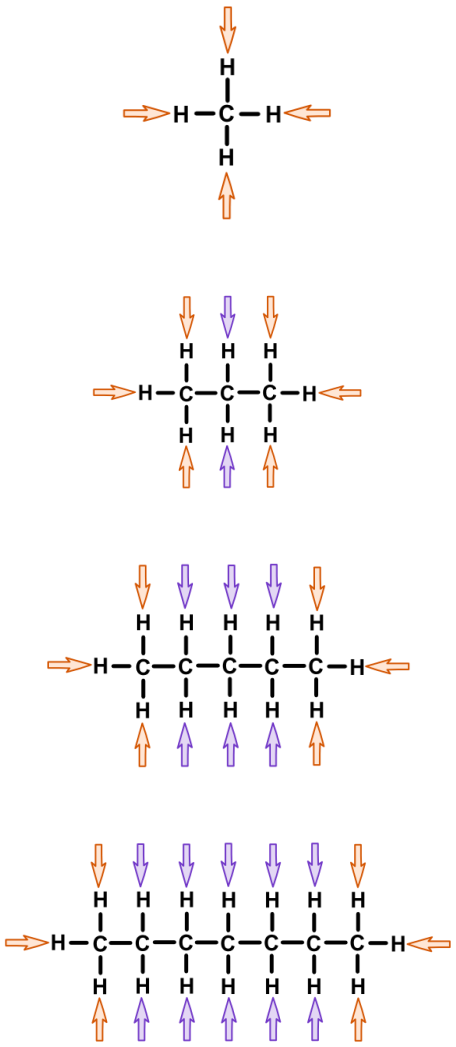
1. *Welche Oktan-Zahl hätte ein Kraftstoff, der nur aus 2,3-Methylpentan besteht?*
2. *Wie sind überhaupt Kraftstoffe mit ROZ über 100, wie z.B. "ultimate 102" herstellbar? Machen Sie mögliche Vorschläge und diskutieren Sie die zu erwartenden (z.B. ökologischen) Konsequenzen!*
3. *Welchen Einfluß auf die Oktan-Zahl hat der Zusatz von Ethanol zu einem "ROZ 95"-Kraftstoff-Gemisch?*

für die gehobene Anspruchebene:

4. *Welche Oktan-Zahl ist eigentlich bei einem Additiv bzw. Antiklopf-Mittel zu erwarten? Begründen Sie Ihre Meinung!*

Reaktions-Verhalten innerhalb der homologen Reihe

Für die Herstellung spezieller halogenierter Cohlenwasserstoffe ist es wichtig abzuschätzen, wo die Substitution stattfinden wird. Damit wir hier eine sinnvolle Analyse machen können vereinfachen wir die Angriffe auf die direkten und effektiven Kontakte. Praktisch finden immer auch indirekte Zusammenstöße – z.B. leicht seitlich usw. – statt. Dies können wir aber für jedes Wasserstoff-Atom annehmen. Ebenso verhält es sich mit den effektiven und uneffektiven Zusammenstößen. Die Chancen sind prinzipiell für alle Kontakte gleich.
Bei Methan wird jeder Angriff (lt. unserem Modell) eines Halogen's einen Effekt haben. Es bildet sich immer ein einfach halogeniertes Molekül.
Bei längeren Ketten kann es neben den terminalen (End-ständigen Halogenen) Substitutionen auch zu mittigen (zentralen) Reaktionen kommen. Hier entstehen u.U. auch Isomere, die ev. gewünscht oder unerwünscht sind.
Die terminalen Angriffe sind in der nebenstehenden Abbildung mit **orangenen** Pfeilen, die zentralen **violett**. Während bei einer einfachen und terminalen Substitution nur ein Produkt entsteht, können bei den zentralen Angriffen z.B. bei Propan ein zusätzliches Isomer, bei Heptan aber schon drei weitere Isomere entstehen. In den meisten Fällen sind aber reine Produkte gewünscht, was wiederum bei so diffusen Reaktions-Verläufen eine aufwändige nachträgliche Trennung der Isomere erfordert.



Aufgaben:

1. Skizzieren Sie die (Modell-)Angriffe für Ethan, Butan, Hexan und Octan mit unterschiedlichen Farben für die Angriffs-Arten!
2. Erläutern Sie, warum die obige Darstellung zu den Angriffs-Möglichkeiten nur ein Modell ist!
3. Geben Sie die verschiedenen Isomere (Struktur-Formel + Name) für das einfach halogenierte Heptan an!
4. Ermitteln Sie, wieviele verschiedene Isomere bei der einfachen Bromierung der Alkane in der Reihe bis Octan jeweils entstehen können! Geben Sie für jedes Isomer die (Modell-)Häufigkeit an!
5. Stellen Sie die Verhältnisse von terminalen zu zentralen (Modell-)Angriffen für die homologe Reihe bis Decan graphisch dar!

(c,p) 2009-2026 lsp: dre

Exkurs: Bestimmung der Summenformel eines KWS mittels Thermolyse

Bei hohen Temperaturen (über 200 °C) zerfallen Kohlenwasserstoffe in die Elemente Cohlenstoff (Ruß) und Wasserstoff.

$C_aH_b \longrightarrow a\,C + b/2\,H_2$

Gebraucht wird die Masse der Stoff-Probe $\mathbf{m_{Verb}}$. Ev. muss diese aus dem Volumen $\mathbf{V_{Verb}}$ und der bestimmten / bekannten Dichte ρ abgeleitet werden.

$$\boldsymbol{m_{Verb} = \rho \cdot V_{Verb}}$$

Über die übliche stöchiometrische Berechnung

$$\frac{\boldsymbol{m_{Verb}}}{\boldsymbol{M_{Verb}}} = \frac{\boldsymbol{m_{H_2}}}{\boldsymbol{M_{H_2}}} = \frac{\boldsymbol{V_{H_2}}}{\boldsymbol{V_M}}$$ mit Umstellen nach: $$M_{Verb} = \frac{\boldsymbol{M_{H_2} \cdot m_{Verb}}}{\boldsymbol{m_{H_2}}} = \frac{V_M \cdot m_{Verb}}{\boldsymbol{V_{H_2}}}$$

ist also die molare Masse berechenbar.
Aus dem gebildeten Wasserstoff-Volumen können wir weiterhin die Stoffmenge Wasserstoff-Gas berechnen:

da: $V_M = \frac{V_{H_2}}{n_{H_2}}$ ist: $n_{H_2} = \frac{V_{H_2}}{V_M}$

Die ist die Hälfte der Stoffmenge von Wasserstoff-Atomen in der Verbindung:

$$b = n_H = \frac{n_{H_2}}{2}$$

Weiterhin kann aus der Massen-Differenz zwischen Verbindung und Wasserstoff die Masse an Cohlenstoff berechnet werden:

$$m_C = m_{Verb} - m_{H_2}$$

Aus dem PSE können wir entnehmen, dass ein Cohlenstof-Atom 12 u und eine Wasserstoffatom 1 u wiegen. Für unsere makroskopische Betrachtung können wir auch für ein Mol von einer masse von 12 g buw. 1 g ausgehen.
Für die betrachtet Formel C_aH_b ergibt sich somit:

$m_C = a \cdot 12g$ sowie $m_H = b \cdot 1g$ bei: $m_{Verb} = m_C + m_H$

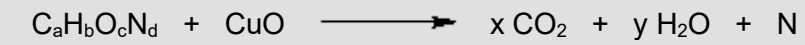
Eingesetzt ergibt sich :

$m_{Verb} = a \cdot 12g + b\,g$ oder bei gekürzter Einheit [g] $m_{Verb}[\frac{1}{g}] = a \cdot 12 + b$

Da wir b schon kennen, können wir nun durch b teilen und erhalten dann zuerst einmal a * 12 und beim weiterbn Teilen durch 12 dann a.
Die Stoffmengen a und b müssen nun so erweitert werden, dass ein annähernd ganzzahliges Verhältnis herauskommt. Dies sind dann die Werte für die Formel: C_aH_b
Kann der gebildete Ruß gewogen werden, dann lässt sich die Differenz-Massen-Berechnung verifizieren.
Über die Molare Masse hat man ein Maß für die maximale / optimale Größe des Molekül's und kann dann auch eine mögliche! Struktur-Formel ableiten.

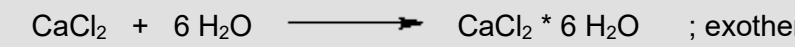
Exkurs: Struktur-Aufklärung mittels Elementar-Analyse

für Ermittlung der Cohlenstoff- und Wasserstoff-Anteile
Erhitzen / Glühen der (eingewogenen) Probe mit der 20 – 30x Masse an Cupferoxid

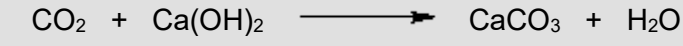


Verbrennungs-/Glühgase werden durch eine Gas-Trocken-Einrichtung mit (frisch geglühtem und) eingewogenem Calciumchlorid (Chlorcalcium) und Gas-Waschflasche mit conc. und eingewogener Kalilauge (Calciumhydroxid) geleitet (die Einwaage erfolgt über die Gesamt-Masse der Gas-Reinigungsflaschen

das Calciumchlorid bindet das Wasser



die Kalilauge bindet das Cohlendioxid



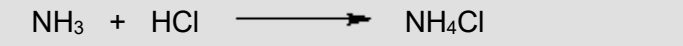
die Rest-Gase der Verbrennung werden durch gereinigte Luft (wie für die Verbrennungs-Gase beschrieben) durch die Gas-Reinigungs-Flaschen geleitet
auswiegen der Gas-Reinigungsflaschen; Masse-Differenzen ergeben das gebildete Wasser bzw. Cohlendioxid
aus der Masse des Cohlendioxids lässt sich der Cohlenstoff-Masse-Teil berechnen

$$\boldsymbol{m_C = \frac{\Delta m \cdot M_C}{M_{CO_2}}}$$

aus der Wasser-Masse lässt sich der Wasserstoff-Masse-Teil berechnen

$$\boldsymbol{m_H = \frac{\Delta m \cdot M_H}{M_{H_2O}}}$$

für den Nachweis von Stickstoff und dann die Ermittlung des Stickstoff-Anteils wird mit Ätz-kali (vorher frisch mit Natronlauge gelöscht) erhitzt
zur Absorption des gebildeten Ammoniaks wird Salzsäure verwendet



hier auswiegen der Gas-Waschflasche (mit der Salzsäure), Masse-Differenz entspricht Ammoniak

$$\boldsymbol{m_N = \frac{\Delta m \cdot M_N}{M_{NH_3}}}$$

Berechnung der Prozent-Anteile für Cohlenstoff, Wasserstoff und Stickstoff;

$$\boldsymbol{\frac{m_{ges}}{100\%} = \frac{m_C}{m\%_C} = \frac{m_H}{m\%_H} = \frac{m_N}{m\%_N} = \cdots = \frac{m_X}{m\%_X}}$$

Rest zu 100% sind Sauerstoff bzw. weitere Bestandteile

$$\boldsymbol{m\%_O = 100\% - m\%_C - m\%_H - m\%_N}$$

Mit den Prozent-Angaben lässt sich unter Benutzung der Atom-Massen das Stoffmengen-

Verhältnis / die Stoffmengen-Anteile berechen; Verhältniszahlen werden so gekürzt, dass glatte Zähler herauskommen a : b : c → **Verhältnis-Formel** (z.B.: $C_aH_bO_c$); die **Molekül-Formel** (**Molekular-Formel**) ist dann die gefundene Anteils-Formel oder ein Viefaches (Multiplum) z.B.: $(C_aH_bO_c)_n$; Ausprobieren verschiedener Struktur-Formeln → ermitteln der **Summen-Formel** (z.B. über die ermittelte molare Masse) (Auswahl einer möglichen **Molekül-Formel** (Entscheidung für ein n) z.B. $(C_aH_bO_c)_2$

Bsp.-Gleichungen und Messwerte bei einer einfachen Elementar-Analyse für eine CHO-Verbindung:

$$C_xH_yO_z + 2x+y/2-z\ CuO \longrightarrow x\ CO_2 + y/2\ H_2O + 2x+y/2-z\ Cu$$

Wasser-Absorption im Trocken-Rohr (ausgewogen (Wasser-freies Calciumchlorid → Calciumchlorid-Hydrat) → **m[H_2O]**

$$CaCl_2 + 2\ H_2O \longrightarrow CaCl_2 * 2\ H_2O$$

CO_2-Volumen im Kolbenprober oder CO_2-Absorption in Gas-Waschflasche (ausgewogen (Bariumhydroxid → Bariumcarbonat)) → **V[CO_2]** od. **m[CO_2]**

$$CO_2 + Ba(OH)_2 \longrightarrow BaCO_3 + H_2O$$

Exkurs: Struktur-Aufklärung über die Dampfdichte-Bestimmung

Bestimmung der molaren Masse der Substanz
Substanz muss flüchtig sein / unzersetzt verdampfen

eine genau abgewogene Menge des Stoffes wird vollständig verdampft und das gebildete Gas-Volumen gemessen

mit der allgemeinen Gas-Gleichung (Zustands-Gleichung idealer Gase) lässt sich aus Masse und Volumen die Molare Masse bestimmen:

$$p \cdot V = n \cdot R_m \cdot T$$

$$p \cdot V = \frac{m}{M} \cdot R_m \cdot T$$

$$M \cdot p \cdot V = m \cdot R_m \cdot T$$

$$M = \frac{m \cdot R_m \cdot T}{p \cdot V}$$

damit läßt sich mit einer Verhältnis-Formel (aus der Elementar-Analyse) eine mögliche Summen-Formel ableiten

Definition(en): Verhältnis-Formel / Elementar-Formel / (Substanz-Formel)

Die Verhältnis-Formel ist eine chemische Formel (Zusammenstellung aus chemischen Symbolen) in der die Atom-Anzahlen im kleinstmöglichen Zahlen-Verhältnis angegeben wird.

Die Verhältnis-Formel (empirische Formel) gibt die kleinstmögliche Kombination von Atomen in einer Formel-Einheit wieder.

Definition(en): Molekül-Formel / Molekular-Formel / Summen-Formel

Die Molekül-Formel ist das Einfache oder ein Mehrfaches einer Verhältnis-Formel.
Die zu den Eigenschaften und der molaren Masse stimmenden Molekül-Formel ist dann die Summen-Formel.

Die Molekül-Formel ist die Formel eines Moleküls eines (molekularen) Stoffes.

Exkurs: Struktur-Aufklärung über die Gefrierpunkts-Erniedrigung bzw. die Siedepunkt-Erhöhung

Bestimmung der molaren Masse der Substanz
Substanzen müssen sich in einem bestimmten Lösungsmittel lösen
Wasser ist bei organischen Stoffen nur eine Möglichkeit, oft besser organische Lösungsmittel verwendet
ein gelöster Stoff beeinflusst die Schmelz- bzw. Siede-Temperatur eines Lösungsmittel
Flusspunkt (Schmelz-Temperatur) … FP; Siede-Temperatur (Kochpunkt) … KP
dabei ist die Veränderung der Temperatur proportional zur eingesetzten Stoffmenge
eine Abhängigkeit von der Größe des Stoffes besteht nicht

$$\Delta T_{FP} = k_{FP} \cdot \frac{n[Substanz]}{m[LsgM]} \quad \text{und / oder} \quad \Delta T_{KP} = k_{KP} \cdot \frac{n[Substanz]}{m[LsgM]}$$

die kyroskopische Konstante k_{FP} und die ebullioskopische Konstante k_{KP} sind für die jeweiligen Lösungsmittel aus Tabellenbücher zu entnehmen

für Wasser ist k_{FP} = 1,86 K*kg/mol und k_{KP} = 0,52 K*kg/mol

die molare Masse kann dann über den bekannten Ansatz M = m/n ermittelt, oder die kombinierten Formeln benutzt werden:

$$\Delta T_{FP} = k_{FP} \cdot \frac{m[Substanz]}{m[LsgM] \cdot M[Substanz]} \quad \text{und / oder} \quad \Delta T_{KP} = k_{KP} \cdot \frac{m[Substanz]}{m[LsgM] \cdot M[Substanz]}$$

für die Molare Masse M ergibt sich dann:

$$M[Substanz] = k_{FP} \cdot \frac{m[Substanz]}{m[LsgM] \cdot \Delta T_{FP}} \quad \text{und / oder} \quad M[Substanz] = k_{KP} \cdot \frac{m[Substanz]}{m[LsgM] \cdot \Delta T_{KP}}$$

Beispiel-Berechnung für eine Elementar-Analyse:

In einer Elementar-Analyse (Luftdruck 1005 hPa; Temperatur 22 °C) wurde ein unbekannter Stoff (Einwaage 0,253 g) mit Sauerstoff vollständig oxidiert. Dabei wurde 0,148 g Wasser 185 ml Cohlendioxid gebildet.
Ermitteln Sie die Verhältnis-Gleichung für den unbekannten Stoff!

geg.: p = 1010 hPa
T = 22 °C = 295 K

ges.: n[H], n[C], n[O]
Verhältnis C : H : O

zuerst berechnen wir die Stoffmenge und die Masse für Cohlenstoff:
(bei Cohlenstoff haben wir lt. Reaktions-Gleichung eine 1 : 1-Beziehung)
(die Masse brauchen wir später, um den Sauerstoff zu berechnen (Rechnung kann auch später erfolgen!))

$$p \cdot V = n \cdot R \cdot T$$

da keine Standard-Bedingungen herrschen, verwenden wir die Allgemeine Gas-Gleichung

$$n[CO_2] = \frac{p \cdot V}{R \cdot T} = \frac{1005\ hPa \cdot 0{,}185\ l}{83{,}1\ \frac{hPa}{K \cdot mol} \cdot 295\ K}$$

$$n[CO_2] = 0{,}00758\ mol$$

$$n[C] = n[CO2] = 0{,}00758\ mol$$

bei vollständiger Oxidation wird aus jedem C im unbekannten Molekül einmal CO_2

$$M = \frac{m}{n}$$

Masse lässt sich aus der Stoffmenge über die molare Masse berechnen

$$m[C] = M[C] \cdot n[C] = 12\ \frac{g}{mol} \cdot 0{,}00758\ mol$$

bei Standard-Bedingungen hätte man auch über die Dichte rechnen können:

$$\rho = \frac{m}{V} \qquad m = \rho \cdot V$$

$$m[C] = 0{,}091\ g$$

als nächstes berechnen wir Stoffmenge und Masse für Wasserstoff:
(auch bei Wasserstoff gibt es eine klare stöchiometrische Beziehung)

$$\frac{n_1 \cdot M_1}{m_1} = \frac{n_2 \cdot M_2}{m_2}$$

wir benutzen den allgemeinen Stöchiometrie-Ansatz für chemische Gleichungen

$$\frac{n[H] \cdot M[H]}{m\{H]} = \frac{n[H_2O] \cdot M[H_2O]}{m[H_2O]}$$

$$m[H] = \frac{m[H_2O] \cdot n[H] \cdot M[H]}{n[H_2O] \cdot M[H_2O]} = \frac{0{,}148\ g \cdot 1\ mol \cdot 1\ \frac{g}{mol}}{\frac{1}{2}\ mol \cdot 18\ \frac{g}{mol}}$$

zu beachten ist die Halbierung der Stoffmenge von H (in der Substanz) zu H_2 im Wasser

$$m[H] = 0{,}0164\ g$$

$$M = \frac{m}{n}$$

Ausnutzung der Beziehung über die Molare Masse

$$n[H] = \frac{m[H]}{M[H]} = \frac{0{,}0164\ g}{1\ \frac{g}{mol}}$$

$$n[H] = 0{,}0164\ mol$$

(c,p) 2009-2026 lsp: dre

Sauerstoff kann nun aus der Massen-Differenz berechnet werden
(eine direkte Ermittlung aus Messdaten ist bei unserer Analyse nicht möglich (Sauerstoff kann sowohl aus dem unbekannten Stoff aus auch aus dem Oxidationsmittel stammen))

$$m[Substanz] = m[C] + m[H] + m[O] + \cdots$$

wir betrachten nur die Elemente C, H und O
ev. könnte noch N dazukommen
auch S möglich, aber schwerer zu ermitteln

$$m[O] = m[Substanz] - m[C] - m[H] - \cdots$$

$$m[O] = 0{,}253\ g - 0{,}091\ g - 0{,}0164\ g$$

$$m[O] = 0{,}146\ g$$

$$M = \frac{m}{n}$$

Ausnutzung der Beziehung über die Molare Masse

$$n[O] = \frac{m[O]}{M[O]} = \frac{0{,}146\ g}{16\ \frac{g}{mol}}$$

$$n[O] = 0{,}0091\ mol$$

nun setzen wir die Stoffmengen in Beziehung zueinander, um die Verhältnis-Formel zu bestimmen

$$n[C] : n[H] : n[O\}$$

$$0{,}00758\ mol : 0{,}0164\ mol : 0{,}0091\ mol$$

als Basis benutzen wir nun C umd die Relationen der anderen in natürlichen Zahlen zu bekommen

$$1 : 2{,}168 : 1{,}2$$

$$1 : 2 : 1$$

gerundet

Die Verhältnis-Formel der unbekannten Substanz lautet also $C_1H_2O_1$.
Diese Formel entspricht der eingesetzten Substanz – es war Glucose. Als Faktor müsste nun die 6 benutzt werden, damit $C_6H_{12}O_6$ herauskommt.

Aufgaben:

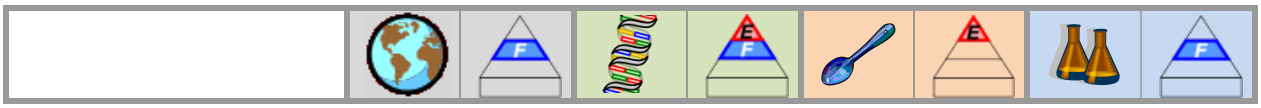
1. *Die Elementar-Analyse eines Stoffes ergab bei 21 °C und 1030 hPa ein CO_2-Volumen von 75 ml und eine Masse Wasser von 0,06 g. Die Einwaage des Stoff's betrug 0,103 g. Ermitteln Sie die Verhältnis-Formel für den beprobten Stoff!*
2. *Untersucht werden soll ein Stoff, der angeblich Ethanol sein soll. Bei der Elementar-Analyse fand man bei eingesetzten 0,483 g die Masse von 0,575 g Wasser und 487 ml Cohlenstoffdioxid. Die Bedingungen im Labor entsprachen dem Standard von 1013 hPa und 25 °C. Prüfen Sie, ob sich anhand der Verhältnis-Formel die Vermutung bestätigen lässt!*
3. *Ein Alkan (10 g) wurde einer Elementar-Analyse unterzogen und dabei nahm die Masse der Waschflasche mit der conc. Calciumhydroxid-Lösung um 12 g zu. Wie groß war der Anteil von Cohlenstoff in der Alkan-Probe?*
4. *Leiten Sie aus dem Ergebnis von 1. ab, wieviel Wasserstoff in der Probe enthalten war!*
5. *Um welche Substanz könnte es sich bei der Probe gehandelt haben? Erklären Sie Ihr Vorgehen!*
6. *Die Verbindung X wurde einer qualitativen Elementar-Analyse unterzogen und dabei festgestellt, dass sie Cohlenstoff, Wasserstoff, Sauerstoff und Stickstoff enthält. Die vollständige Oxidation einer 122 mg schweren Probe von S ergab 84,6 mg Wasser und 155,1 mg Cohlendioxid. Bei der quantitativen Analyse auf Stickstoff bildeten sich aus 115 mg des Probenmaterial's 24,7 ml Stickstoff (unter Norm-Bedingungen). Berechen Sie die Verhältnis-Formel (empirische Formel) der verbindung S!*

Definition(en): Summen-Formel / Brutto-Formel
Die Summen-Formel ist eine Zusammenstellung von chemischen Symbolen, welche die Art und Anzahl der Atome einer Verbindung repräsentiert. Ist der Stoff molekular aufgebaut, dann werden die Anzahlen der in einem Molekül vorhandenen Atome eines Elementes angegeben, sonst wird das kleinstmögliche diskrete Verhältnis der Atome benutzt (Formeleinheit).

Um die genaue Stoffklasse zu bestimmen und dann eine passende **Struktur-Formel** abzuleiten, bedarf es weiterer Identifizierungs-Reaktionen.
Einige Möglichkeiten zeigen wir später auf, nachdem die einzelnen Stoffgruppen und ihre Reaktionen besprochen wurden.

(c,p) 2009-2026 lsp: dre

2.1.1.2.3. Eigenschaften von Isomeren



Auf den ersten Verdacht hin geht wohl jeder davon aus, dass sich die Eigenschaften von Isomeren nicht wirklich unterscheiden. Dem ist aber nicht so. In Wirklichkeit sind es alles einzelne Stoffe mit individuellen Eigenschaften. Einige Merkmale werden sich ähneln und werden vor allem der Stoff-Gruppe oder der Kettenlänge geschuldet sein. Aber viele Eigenschaften sind z.T. sogar deutlich verschieden. Allgemeingültige Regeln sind hierfür allerdings kaum zu finden und existieren wohl auch nur eingeschränkt. Deshalb werden wir hier exemplarisch einzelne Beispiele herausziehen und zumindestens die Existens der Unterschiede und / oder Gemeinsamkeiten daran verdeutlich.

Beispiel: **Butan**

Isomer	Struktur	Schmelz-punkt F. [°C]	Siede-punkt Kp. [°C]	Dichte ρ [g/l]	Dichte ρ [g/cm³]	Dampf-druck [kPa]	Löslichkeit in Wasser L [mg/l]
n-Butan	/\/	-138,3	-0,5	2,71	0,601	210,0	61
2-Methylpropan (iso-Butan)	| /\	-159,4	-11,7	2,70	0,594	301,9	49

Beispiel: **Pentan**

Isomer	Struktur	Schmelz-punkt F. [°C]	Siede-punkt Kp. [°C]	Dichte ρ [g/cm³]	Flamm-punkt [°C]	Zünd-punkt [°C]	Löslichkeit in Wasser L [mg/l]
n-Pentan	/\/\	-130	36	0,63	-49	260	
2-Methylbutan	| /\/	-159	28				
2,2-Dimethylpropan	| /|	- 20	9,5				

Beispiel: **Hexan**

Isomer	Struktur	Schmelz-punkt F. [°C]	Siede-punkt Kp. [°C]	Dichte ρ [g/l]		Zünd-punkt [°C]	Löslichkeit in Wasser L [mg/l]
n-Hexan	/\/\/	- 94	69				
2-Methylpentan	| /\/\	-154	60				
3-Methypentan	/\/\ |	-118	63				
2,2-Dimethylbutan	| /|\/	- 98	50				
2,3-Dimethylbutan	| /\/ |	-129	58				

Beispiel: **Heptan**

Isomer	Struktur	Schmelz-punkt F. [°C]	Siede-punkt Kp. [°C]	Dichte ρ [g/l]		Zünd-punkt [°C]	Löslichkeit in Wasser L [mg/l]
n-Heptan		- 91	98				
2-Methylhexan		-118	90				
3-Methyhexan		-119	92				
2,2-Dimethylpentan		-125	79				
2,3-Dimethylpentan		-119	81				
3,3-Dimethylpentan		-135	93				
3-Ethylpentan		-119	93				
2,2,3-Trimethylbutan		- 25	81				

allgemein wenig Unterschiede bei Dichte, Brechungs-Index und Dampfdruck

je größer die Verzweigungs-Zahl, um so höher liegen Schmelz- und Siede-Temperaturen
damit sind verweigte Alkane eher flüssig oder fest als unverzweigte mit gleicher C-Atom-Anzahl

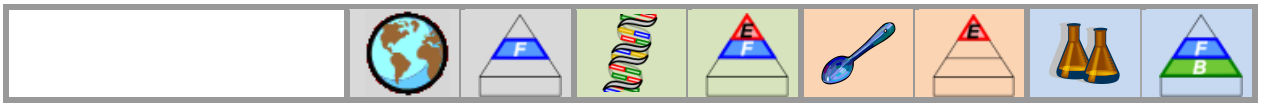
Aufgaben:

1. *Stellen Sie die Struktur-Formeln für die oben in der Tabelle genannten Isomere von Heptan auf!*
2. *Ein Mitschüler behauptet, dass sich bei den Isomeren eines Alkan's die molare Masse umsomehr verkleinert, je mehr Verzweigungs-Stellen vorhanden sind, da ja an den Verzeigungs-Stellen immer ein Wasserstoff fehlt. Setzen Sie sich mit der Behauptung auseinander!*
3. *Recherchieren Sie im Kurs die fehlenden Werte für die obigen Tabellen! In die freien Spalten können Sie weitere Werte aufnehmen.*
4. *Leiten Sie Tendenzen aus den Daten ab!*

interessante Links:
https://www.chemicalbook.com (diverse Daten verschiedener Chemikalien / Stoffe)

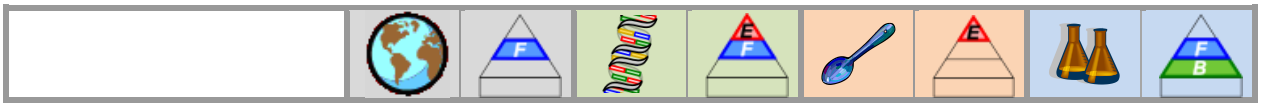
(c,p) 2009-2026 lsp: dre

2.1.1.3. Eigenschaften und Verwendung wichtiger Alkane



Bei der Betrachtung wichtiger Vertreter beschränken wir uns auf solche, die im Bereich der Biologie oder der Ernährungslehre von herausragender Bedeutung sind. In Ausnahmefällen besprechen wir auch solche Vertreter, die zum tieferen Verständnis von Zusammenhängen oder Details beitragen. Sollte der Bedarf an anderen Beispielen bestehen, verweisen wir auf die typischen Chemie-(Lehr-)Bücher. In diesen wird weit systematischer vorgegegangen.

2.1.1.3.1. Methan



Hauptbestandteil im Erdgas und in den meisten Stadtgasen
Brennwert von über 35.000 kJ / m³
es bilden sich nur Wasser und Cohlendioxid als Abgase
bei Methan-Luft-Gemischen mit einem Methan-Anteil zwischen 6 und 12 % besteht Explosionsgefahr (im Bergbau: schlagende Wetter)
im Dickdarm und Pansen von Wiederkäuern (Rinder, Schafe, …) gebildetes Darmgas ist ebenfalls sehr Methan-haltig → Treibhausgas
bei Fäulnis-Vorgängen unter Sauerstoff-Abschluß entsteht ebenfalls Methan (Sumpfgas, Biogas); etwas geringer Brennwert (rund 27.000 kJ / m³) wegen diverser anderer Gase im Gemisch (Cohlendioxid, Stickstoff, andere Gase in Spuren); große Bedeutung bei geschlossenen Stoffkreisläufen, ökologischer und vorbildlicher energetischer Produktion

Aufgaben:

1. *Recherchieren Sie weitere Informationen zu Methan! Sammeln Sie die Informationen zuerst auf kleinen Zetteln!*
2. *Erstellen Sie (aus den gesammelten Zetteln) einen gestalteten Steckbrief für Methan! (Minimal-Forderungen: Überschrift; rechts-oben Struktur-Formel oder Molekül-Modell; Vorkommen / Herkunft; Bau / Struktur; physikalische Eigenschaften; chemische Eigenschaften / Reaktionen; Verwendung / Bedeutung)*
3. *Berechnen Sie das gebildete Volumen an Reaktions-Produkten bei der vollständigen Oxidation von 1 mol Methan!*



Hinweis:
Die Erstellung eines Steckbriefes wird im Skript 🕮 **Chemie++ 7/8** ausführlich dargestellt.

Exkurs: Methanhydrat

bis 1971 praktisch unbekannt; erster Nachweis im Schwarzen Meer
von russischen Forschern vorher schon vermutet
entdeckt von

brennendes Eis ("Esbit")

eine der größten – derzeit aber nur sehr wenig genutzen – Energieträger-Ressource
weltweit wird die Menge auf 10^{13} t geschätzt
praktisch ist das mehr gebundener Cohlenstoff (wahrscheinlich doppelt so viel), als in den üblichen Energie-Trägern (Kohle, Erdöl, Erdgas)
Vorkommen in der Tiefsee an den Kontinentalhängen aber auch im Permafrostboden in Sibirien

entstanden wahrscheinlich durch anaerobe Bakterien

Einlagerungs-Verbindung (Clathrat) Methan-Molekül in einem Wasser-Molekül-Gefängnis (lat.: clathratus = Gefängnis)
Methanhydrat wird auch als Methanklathrat bezeichnet
Dodecaeder

1 Liter Methanhydrat enthält 168 Liter Methan Gas (und 0,8 l Wasser)
1 mol Methan sind in 5,75 mol Wasser gebunden
offizielle Formel $CH_4 * 5{,}75\ H_2O$

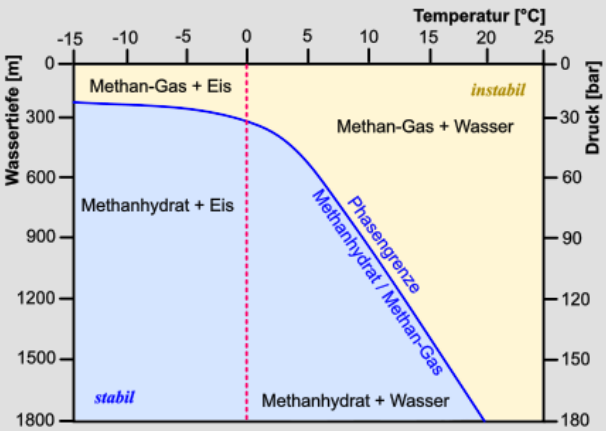


Methanhydrat-Brocken
aus der Subduktionszone
vor Oregan (USA)
Q: de.wikipedia.org (Wusel007)

bildet sich unter Wasser ab 2 MPa (= 20 bar) und Temperaturen zwischen 2 und 4 °C

stabil nur unter hohem Druck (> 35 bar =) und bei niedrigen Temperaturen

Dichte 0,9 g / cm³
bei höheren Temperaturen erfolgt Freisetzung des Gases aus den Wasser-Gefängnissen

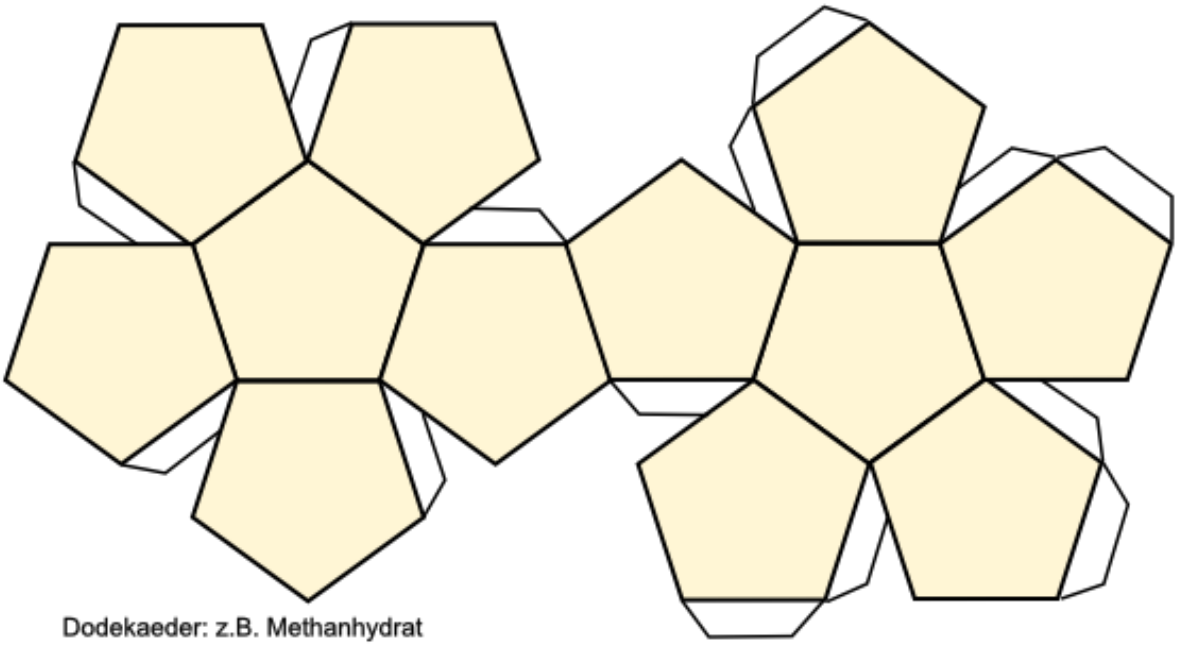


Problem ist, dass Methan ein 28x stärkeres Treibhaus-Gas als Cohlenstoffdioxid ist

Abbau könnte riesige Lücken in den Kontinental-Hängen erzeugen
Gefahr von Abrutschungen (Storegga-Effekt) mit Erdbeben und Tsunami's
weitgehend unbekannte Lebenswelt, die u.a. auf Methan-abbauenden Bakterien als Produzenten basiert
ökologische Folgen derzeit nicht abschätzbar
wahrscheinlich wurde die Heißzeit (vor rund 50 Mio. Jahren) im Paläogen durch eine massi-

ve Methan-Freisetzung verursacht, Temperaturen lagen fast 15 grd. über dem heutigen Mittelwert

neue Fördermethode versucht das Methan durch CO_2 zu ersetzen ("SUGAR"-Projekt)
dadurch würde praktisch kein Volumen entnommen werden
Verfahren würde gewünschte Methan-Förderung mit sinnvoller CO_2-Entsorgung kombinieren
Cohlendioxidhydrat ist zudem noch stabiler als Methanhydrat
ökologische Folgen und Konsequenzen nur ansatzweise untersucht



Dodekaeder: z.B. Methanhydrat

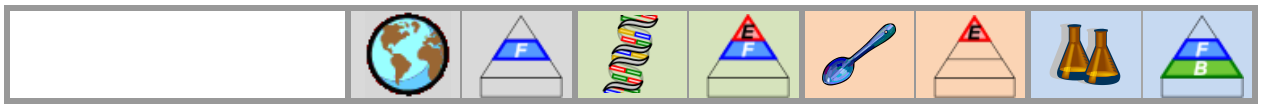
Aufgaben:

1. *Berechne den Massen-Anteil von Methan in Methanhydrat!*
2. *Lassen Sie sich diese Seite auf festerem Papier oder Kopier-Folie kopieren / ausdrucken! Bauen Sie das Modell eines Wasser-Käfigs nach!*
3. *Begründen Sie, warum die derzeitige globale Klima-Erwärmung eine große Gefahr bezüglich der Methanhydrat-Vorkommen darstellt! Forscher sprechen dabei von einem selbstverstärkenden Effekt, erklären Sie das!*

für die gehobene Anpruchsebene:

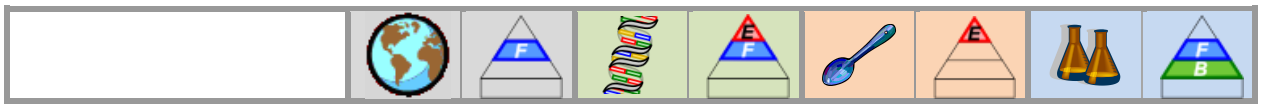
4. *Bauen Sie in den Körper vor dem endgültigen Zusammenkleben noch eine Kugel als Modell für das Methan ein! (Besonders gut sind als Basis-Struktur dafür Dodekaeder geeignet, die aus durchsichtigem Material aufgebaut wurden!)*
5. *Zeichnen Sie zuerst die Sauerstoff-Atome an die richtigen Ecken (vorher informieren!!!) z.B. als rote Flecken! Ergänzen dann die Wasserstoff-Atome und die zugehörigen Bindungen!*

2.1.1.3.2. Propan, Butan



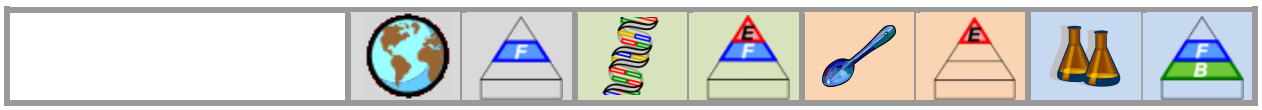
beliebte Gase für dezentralisierte Brennstellen (Camping, entlegene Häuser ohne Stadtgas-Anschluß, Handwerk (Dachdecker, …), …)
Gase lassen sich schon bei geringen Drücken leicht verflüssigen (→ Flüssiggas)
schwerer als Luft, deshalb nicht in unterkellerten Räumen / Gebäuden; bilden mit Luft explosive Gemische

2.1.1.3.3. Pentan, Hexan



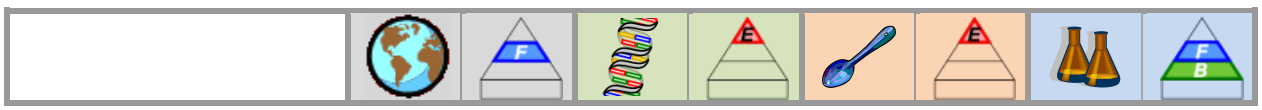
sehr leicht flüchtig, niedrige Siedepunkte, lassen sich gut verdampfen oder zerstäuben
bilden sehr leicht entzündliche Brennstoff-Luft-Gemische
gutes Lösungsmittel für unpolare Stoffe

2.1.1.3.4. Heptan, Octan, Nonan, Decan



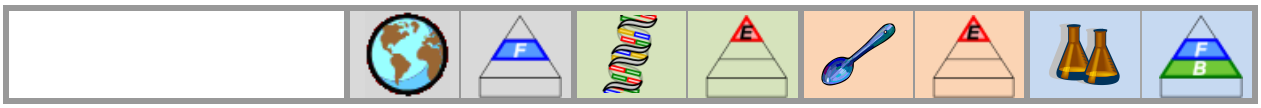
gut als Treibstoff für Flugzeuge (Leicht-Benzin, Kerosin, leichtes Petroleum) geeignet
typische Kerosin-Bestandteile; Kerosin beinhaltet daneben auch cyclische Alkane und aromatische Cohlenwasserstoffe, insgesamt sind 8 bis 13 Cohlenstoff-Atome in den Molekülen typisch

2.1.1.3.5. Alkane mit 11 bis 17 Cohlenstoff-Atomen



typische Benzin-Bestandteile, für Benzin und Diesel sind 9 bis 22 Cohlenstoff-Atome in den Molekülen typisch

2.1.1.3.6. Alkane mit mehr als 17 Cohlenstoff-Atomen - Paraffine



Paraffin ist ein (recht variables) Gemisch aus verschiedenen verschiedenen Alkansäuren mit zumeist 18 bis 32 Cohlenstoff-Atome. allgemein fest, Wachs-artige Eigenschaften, auch in dünnen Schichten Wasser-abweisend und Luft-dicht, leicht zu entfernen und ungiftig → Schutzschicht um Lebensmittel (z.B. Käse, …)
brennbar und einfach zu händeln (Kerze, Teelicht, …)

bei Kerzen wird häufig mehr auf Stearin als auf Paraffin gesetzt, Stearin ist ein Gemisch aus Triglyceriden (Fette od. Fett-ähnliche Stoffe), Gemisch brennt etwas stabiler und weniger rußend als Paraffin

Vaseline ist ebenfalls ein Gemisch aus Alkanen und anderen ähnlichen Stoffen mit einem Schmelzbereich von 38 – 58 °C. Basis für Kosmetika und Salben

Aufgaben:

1. *Erstellen Sie einen gestalteten Steckbrief für ein Alkan mit mindestens 6 C-Atomen! (Minimal-Forderungen: Überschrift; rechts-oben Struktur-Formel oder Molekül-Modell; Vorkommen / Herkunft; Bau / Struktur; physikalische Eigenschaften; chemische Eigenschaften / Reaktionen; Verwendung / Bedeutung)*
2. *Erklären Sie, warum sich längerkettige Alkane besser als Schmierstoffe eignen als kurzkettige!*

Lehrer-Versuch: Wachs-Brand

Durchführung:



- *Reagenzglas mit 2 – 3 ml Paraffin füllen und schräg im Stativ über Brenner positionieren (in Öffnungs-Richtung des RG darf sich über mindestens 2 m kein brennbarer Stoff befinden!*
- *Paraffin erhitzen*
- *RG am Stativ nach unten bewegen (in eine Schale mit Wasser)*

Hinweise:

- ***Achtung!:*** *heftige Reaktion mit Stichflamme*

Lehrer-Versuch: Wachs-Brand (Lösch-Versuch mit Wasser)

Durchführung:



- *in Verbrennungs-Löffel Kerzenwachs schmelzen und soweit erhitzen, das es am Rand angezündet werden kann*
- *mit Pipette nur 1 Tropfen Wasser in das geschmolzene Wachs geben*

Hinweise:

- ***Achtung!:*** *heftige Reaktion mit Stichflamme*

Lehrer-Versuch: Benzin-Brand (Lösch-Versuch mit Wasser)

Durchführung:



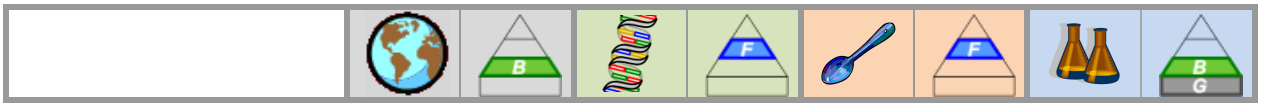
- *in einer Porzellan-Schale auf einem leeren Kachel-Tisch etwas Benzin entzünden*
- *einen Wasser-Strahl aus Wasser-Flasche in die Porzellan-Schale spritzen*

Hinweise:

- ***Achtung!:*** *heftige Reaktion mit Stichflamme, Verteilung von brennbarem Material auf dem Kachel-Tisch möglich*

(c,p) 2009-2026 lsp: dre

2.2. ungesättigte Kohlenwasserstoffe



Praxis-Bezug

Plastik-Tüten – ein Einkaufs-Kulturgut

leicht praktisch
lange Zeit gratis
billig herzustellen
schöne Werbefläche
besonders für Einkäufe bei Edelmarken oder besonderen Händlern oder Butiken ein schönes Zeichen, dass man es sich leisten kann (auch wenn es nur einfach die Tüte war)

für viele zum Status-Symbol geworden, so dass man dann damit auch zur Arbeit oder zur Schule geht, natürlich mit ein paar Schulsachen gefüllt, weil so ausgebeult geht natürlich garnicht

Extreme Beständigkeit ist ihr größtes Problem. Bis eine Tüte auf natürlichen Weg verrottet, dauert es mindestens 500 Jahre.
Allerdings zeigen neue Forschungen, dass die Natur doch wieder einen Weg gefunden hat. Es scheint, als haben sich einige Bakterien auf bestimmte Plastik-Sorten spezialisiert und leben von dessen Zersetzung.

Derzeit größtes Problem ist aber Mikroplastik. Durch mechanische Zerkleinerung, Wellen-Bewegungen usw. werden die Plastik-Teile aus unserem Müll immer kleiner zerrieben. Irgendwann bieten sie dann keine Angriffs-Fläche mehr für die zerreibenden Kräfte und die Teile bleiben erhalten. Nun sind sie aber so fein, dass die Filter der Wasser-Aufbereitungen sie kaum heraus bekommen und kleine Organismen sie mit Nahrung verwechseln. Die nächsten Räuber fressen diese mit Plastik gefüllten Tiere und reichern es in ihrem Körper weiter an. Irgendwann bekommen wir die "leckeren" Plastik-Teile dann wieder auf den Tisch. Zum Glück haben das Meer und die Verdauungssäfte der Tiere aus der Nahrungs-Kette die gefährlichen Weichmacher, Farbstoffe, Stabilisatoren usw. usf. schon ausgewaschen.

(c,p) 2009-2026 lsp: dre

Problem-Fragen für Selbstorganisiertes Lernen
Was bedeutet "ungesättigt" im Zusammenhang mit Kohlenwasserstoffen? Kann man ungesättigte KWS wieder sättigen? Gibt es mehrere Arten von ungesättigten KWS? Was sind Doppel- und Dreifach-Bindungen? Geht das überhaupt? Welche Struktur-Änderungen ergeben sich durch die neuen Bindungen? Was haben unsere allgegenwärtigen Plastik-Tüten mit den Alkenen zu tun?

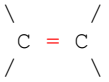
Ungesättigte Cohlenwasserstoffe enthalten mindestens eine Mehrfachbindung zwischen zwei Cohlenstoff-Atomen. Wir kennen die **Doppel-** und die **Dreifach-Bindung**. Die Kohlenwasserstoffe, die eine oder mehrere Doppelbindungen enthalten heißen **Alkene** (→ 2.2.1. Alkene), die mit einer oder mehreren Dreifachbindungen **Alkine** (→ 2.2.2. Alkine).
Als ungesättigt werden sie bezeichnet, weil an den betreffenden C-Atomen nicht die maximale Zahl von Substituenten gebunden sind. Ein Doppel-Bindung ermöglicht die Aufnahme von zwei eine Dreifach-Bindung von vier Substituenten (auf Wasserstoff bezogen).
Bei cyclischen Kohlenwasserstoffen kann dann noch eine besondere Situation auftreten. Bei manchen Ringen treten die Doppelbindungen scheinbar alternierend – also abwechselnd mit Einfachbindungen auf. Diese Konstellation bewirkt u.U. diverse besondere Eigenschaften. Besonders intensiv sind die Eigenschaften-Sprünge dann zu beobachten, wenn bestimmte Zahlen (3, 5, 7, …) an solchen Doppelbindungen auftreten. Die Stoffe mit so einer Konstellation stellen eine ganz besondere Stoffgruppe dar – die **Aromaten** (→ 2.2.3. Aromaten).
Ungesättigte Cohlenwasserstoffe begegnen uns in der biologischen Welt sehr häufig. So sind ungesättigte Cohlenwasserstoffe und deren Derivate z.B. in vielen Fetten, Vitaminen, Duft-, Farb- und Aroma-Stoffen enthalten. Besonders Pflanzen produzieren diese Verbindungen zu Genüge. In vielen Fällen sind Verbindungen mit ungesättigten Bindungen (meist aus pflanzlichen Quellen) für uns lebensnotwendig (essentiell).

Definition(en): ungesättigte Cohlenwasserstoffe
Cohlenwasserstoffe, die zwischen den Cohlenstoff-Atomen neben den Einfach-Bindungen auch mindestens über eine Doppel- oder Dreifach-Bindung verfügen, nennt man ungesättigt.
Ungesättigte Cohlenwasserstoffe sind organische Stoffe, die sich durch Hydrierung zu gesättigten Cohlenwasserstoffen umwandeln lassen.

2.2.1. Alkene



Charakteristisches Merkmal der Alkene ist die **Doppelbindung** (**Zweifachbindung**) zwischen zwei Cohlenstoff-Atomen. In Alkenen kommt mindestens eine dieser Doppel-Bindungen im Molekül vor. Der Klassensuffix ist **–en**.

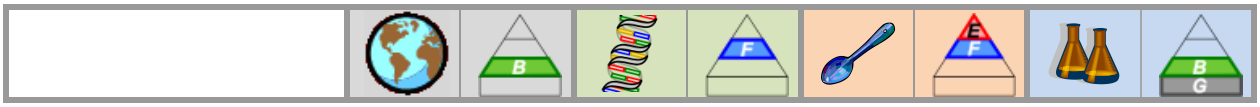


Früher wurden die Alkene auch als **Olefine** bezeichnet. Auch heute findet man diese Benennung noch im Bereich der technischen Chemie.
Doppelbindungen finden wir in biologisch bedeutsamen Molekülen sehr häufig.

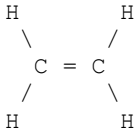
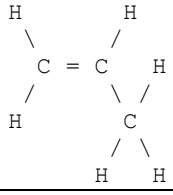
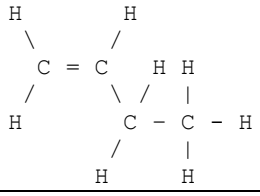
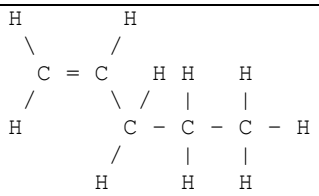
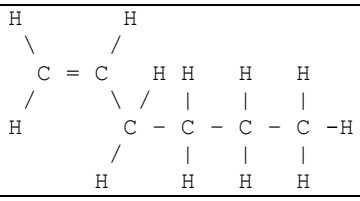
Definition(en): Alkene
Alkene sind Cohlenwasserstoffe, die zwischen den Cohlenstoff-Atomen außer den üblichen Einfach-Bindungen über (mindestens) eine Doppel-Bindung verfügen.
Alkene sind Cohlenwasserstoffe, die sich durch einmalige Hydrierung sättigen lassen.

(c,p) 2009-2026 lsp: dre

2.2.1.1. Bau, Struktur und Benennung der Alkene

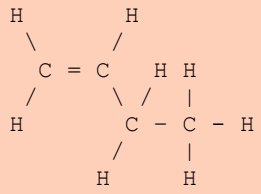


Auch die Alkene bilden eine homologe Reihe. Die einzelnen Glieder unterscheiden sich ebennfals (wie die bei den Alkanen) um jeweils eine CH_2-Gruppe. Aus praktischen Gründen erwähnen wir hier nur die ersten vier Glieder. Die restlichen können Sie sich jederzeit mit ihren Kenntnissen ableiten. Außerdem ist die Bedeutung der reinen Alkene in Biologie und Ernährungslehre begrenzt. Wir wollen Sie hier nur etwas genauer besprechen, um die Doppelbindung kennenzulernen. Sie ist recht bedeutsam.

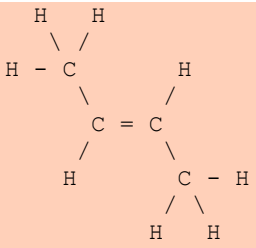
Anzahl C-Atome	Name	Summenformel	Strukturformel	Verwendung
1				
2	Ethen (Äthylen)	C_2H_4		Rohstoff für Polyethen (PE, Polyethylen) → z.B. Plastiktüten
3	Propen (Propylen)	C_3H_6		Rohstoff für Polypropen (PP, Polypropylen)
4	Buten	C_4H_8		
5	Penten	C_5H_{10}		
6	Hexen	C_6H_{12}		
…				

Aus der Folge der Summen-Formeln können wir leicht die **allgemeine Formel C_nH_{2n}** ableiten.
Bei längeren Ketten sind unterschiedliche Positionen für die Doppelbindung möglich. In den Namen wird die Position als arabische Ziffer vor dem **en** (für die Doppelbindung) im Namen angegeben.Bei Ethen und Propen ist dies nicht notwendig, da es jeweils nur ein Isomer gibt. Bei Buten wären die nachfolgenden (kettenförmigen) Möglichkeiten denkbar:

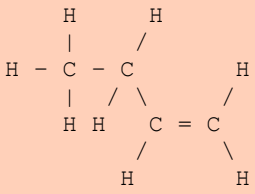
? ? ?



But-1-en



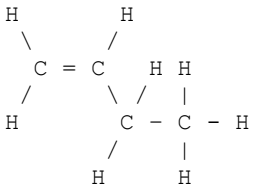
But-2-en



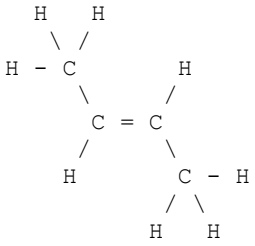
But-3-en

Beim genauen Hinsehen stellen wir fest, dass die Struktur von But-3-en eigentlich der von But-1-en entspricht. Somit muss eine von ihnen gestrichen werden. Hier tritt wieder die Regel der kleinstmöglichen Zahlen in Kraft, so dass wir nur But-1-en und natürlich noch But-2-en überbehalten:

! ! !



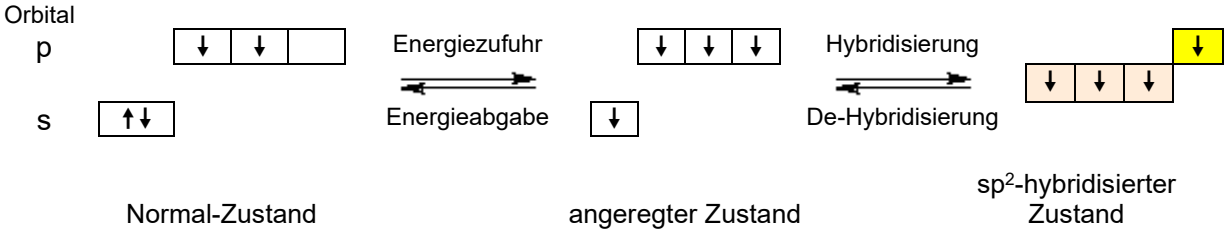
But-1-en
1-Buten
Buten-(1)



But-2-en
2-Buten
Buten-(2)

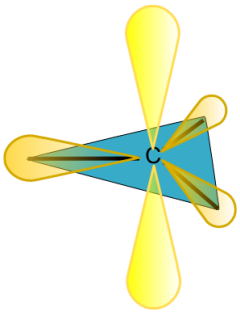
← *alternative Schreibweisen*

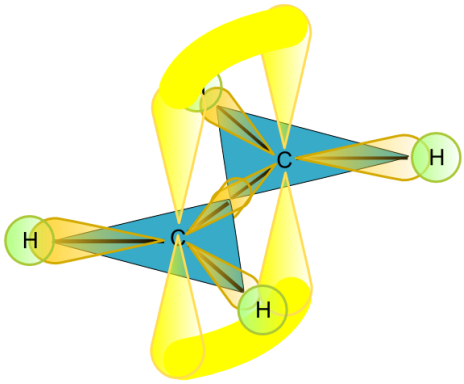
Für die Benennung verzweigter Alkene tritt vor die – von den Alkanen bekannte 1. Regel zur Ketten-Länge – nun eine Regel, die die Kette mit den meisten Mehrfach-Bindungen bevorzugt.
In Cohlenstoff-Doppelbindungen befinden sich die C-Atome im sp^2-hybridisierten Zustand.

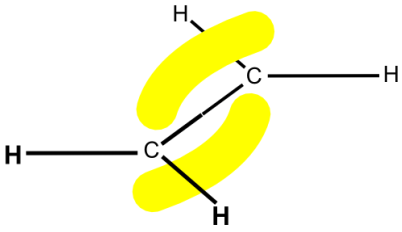


Ein p-Orbital (gelblich) wurde nicht mit in die Hybridisierung einbezogen. Die drei hybridisierten Orbitale (ocker-gelblich) bilden eine planare (ebene) Struktur. Der Bindungswinkel beträgt 120 °. Das freie p-Orbital besteht aus zwei Elektronen-Wolken, die eine Drehung um die C-C-Bindung nun unmöglich machen. Die Elektronen-Wolken stellen sozusagen die zweite Bindung in der Doppel-Bindung (π-Bindung, π = griech.: p (pi)) dar. Auch die hierdrin enthaltenen Elektronen bilden ein Elektronen-Paar – und somit eine Atom-Bindung. Die gebogene Form und die meist gelbliche Farbgebung haben dieser Bindung den Spitz-Namen "Bananen-Bindung" eingebracht.
Die sp^3-C-C-Bindung der Alkane wird zur Unterscheidung σ-Bindung (σ = griech.: s (sigma)) genannt.

(c,p) 2009-2026 lsp: dre







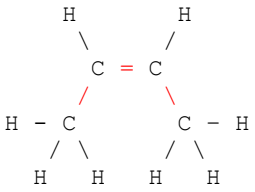
sp^2-hybridisiertes C-Atom Ethen mit Bindungs-Orbitalen "Bananen-Bindung"

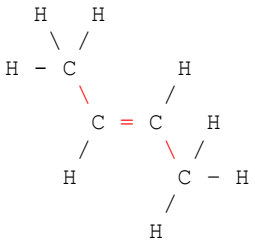
Aufgaben:

1. *Analysieren Sie für n-Hepten die möglichen Stellungen der Doppel-Bindungen und benennen Sie die Stoffe exakt!*
2. *Geben Sie für n-Hex-2-en die Hybridisierung aller C-Atome an!*
3. *Erstellen Sie ein Energieniveau-Schema, in dem die Hybridsierung eines doppelt-gebundenen C-Atom's der sp3-Hybridisierung und dem Normal-Zustand gegenübergestellt wird! Erklären Sie die gewählte Lage der Energie-Niveau's!*
4. *Bauen Sie mit einem Molekül-Baukasten n-Pent-2-en nach! Prüfen Sie die Beweglichkeit des Molekül's über alle Bindungen der C-Kette!*

(c,p) 2009-2026 lsp: dre

Der Wegfall der Drehbarkeit in einer Doppelbindung führt zu neuen Isomeren. Betrachten wir den einfachsten Fall n-But-2-en:



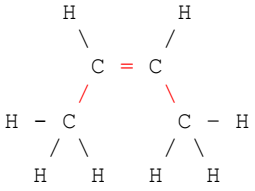


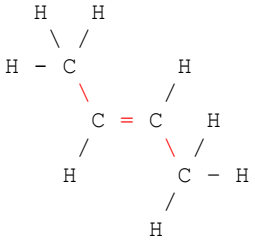
?

But-2-en

But-2-en

Die Methyl-Reste links und rechts von der Doppel-Bindung können ihre Richtungen (oben bzw. unten) nicht mehr tauschen. Im linken Fall stehen die Reste zur gleichen Seite - zusammen. Deshalb nennt man solch ein Isomer die **cis-Form** (Z-Form, z .. zusammen). Das Gegenstück (rechte Abb.) ist die **trans-Form** (E-Form, e .. entgegen).





Z-But-2-en
cis-But-2-en

E-But-2-en
trans-But-2-en

Als Eselsbrücke kann man sich vielleicht merken, dass bei der cis-Form im gewissen Sinne der Buchstabe C an der Doppelbindung entsteht. Die trans-Form kann man sich aus dem Begriff Transit für Durchgang, Durchführung usw. ableiten. Man kann die Doppelbindung sozusagen ohne Richtungsänderung passieren.
Sind mehrere Substituenten an den Doppel-Bindungen zu beachten, dann gelten die Regel der CAHL-INGOLD-PRELOG-Konvention (CIP-Konvention, R-S-System, R-S-Isomerie)! Die Substituenten bekommen dabei Prioritäten, die sich nach Größe und Oxidationsgrad unterscheiden, und werden dann entsprechend geordnet.

Mehrere Doppelbindungen werden durch Angabe der griechischen Zahlwörter (di, tri, tetra, …) vor dem en im Namen angezeigt. Somit ergibt sich dann z.B. –dïen, -trïen. Beachten Sie, dass i und e getrennt gesprochen werden. Manchmal wird dies auch durch zwei i-Punkte gekennzeichnet.
Für die Namengebung ist natürlich auch eine homologe Reihe der Alkylene konstruierbar.
Nach der Stellung der Doppelbindungen zueinander unterscheidet man **isolierte, konjugierte und kumulierte Systeme**. Eine einzelne Doppelbindung wird als isoliert angesehen (Abb.1). Kumulierte Doppelbindungen sind durch zwei direkt benachbarte (Abb.2) Doppelbindungen charakterisiert.

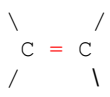


Abb. 1

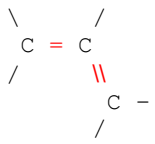


Abb. 2

(c,p) 2009-2026 lsp: dre

Bei konjugierten Systemen liegt zwischen zwei Doppelbindungen jeweils genau eine Einfachbindung (Abb. 3).
Sind mehrere Einfachbindungen dazwischen, dann sieht man die Doppelbindungen wieder als isoliert an (Abb. 4).
Besonders konjugierte Doppelbindungen sind für den Chemiker interessant, da diese meist mit dem Licht wechselwirken. Die Hauptnutzung solcher Stoffe ist deshalb auch bei Farbstoffen usw. zu finden. Hier wechseln sich meist viele Doppel- und Einfach-Bindungen hintereinander ab.

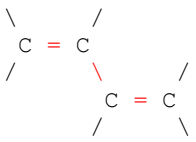


Abb. 3

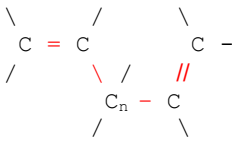
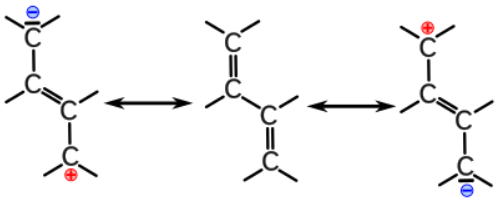


Abb. 4



Die p-Elektronen der beiden Doppel-Bindungen wandern praktisch immer hin und her. Dabei entstehen u.U. Ladungen an einzelnen C-Atomen. Diese Situationen nennen wir mesomere (Grenz-)Zustände. Wenn man allerdings die Struktur analysiert, dann findet man keine der Zustände. Scheinbar ist das System so dynamisch, dass alle drei Zustände zur gleichen Zeit existieren. Da wir das mit unseren üblichen Kennzeichnungen aber nicht darstellen können, hat man sich für Notierung der Grenz-Zustände und der Verbindung mit einem Mesomerie-Pfeil entschieden. Mesomere Übergänge werden nicht als chemische Reaktionen verstanden.
Die Benennung verzweigter Alkene erfolgt ähnlich wie bei den Alkanen. Die Stamm-Verbindung ist hier die längste Cohlenstoff-Kette, die eine oder mehrere Doppel-Bindung enthält.

(c,p) 2009-2026 lsp: dre

Aufgaben:

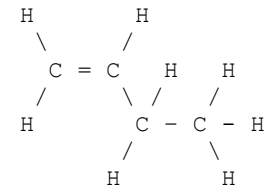
1. Bilden Sie die Namen zu den folgenden Struktur-Formeln!

a) $CH_3-CH=CH-CH_2-CH_3$

b) $(CH_3)_2C=CH-CH_2-CH_3$

c) $CH_3-CH=CH-CH_2-CH_2-CH_2-CH_3$

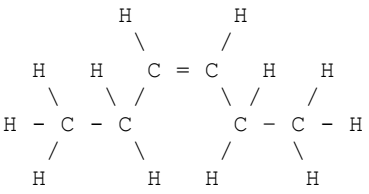
d)



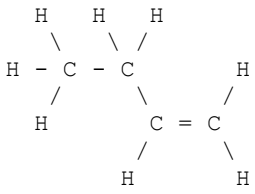
e)



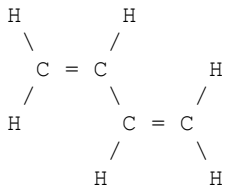
f)



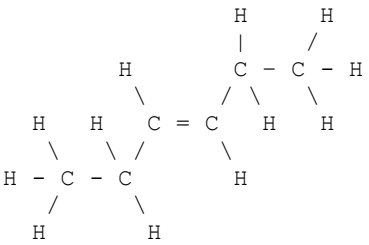
g)



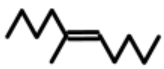
h)



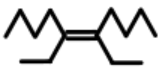
i)



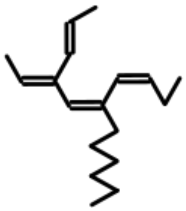
j)



k)



l)



2. Stellen Sie den folgenden Namen die passenden Struktur-Formeln auf!

a) Non-3-en
b) Non-1-en
c) cis-Pent-2-en
d) trans-Hex-3-en
e) Octa-2,4-dien
f) 2,2-Dimethyldec-4-en

3. Stellen Sie die Stellung der Wasserstoff-Atome für das Propadien in der NEWMAN-Darstellung (Sägebock-Darstellung) dar (Gesucht wird der Energie-ärmste Zustand)!

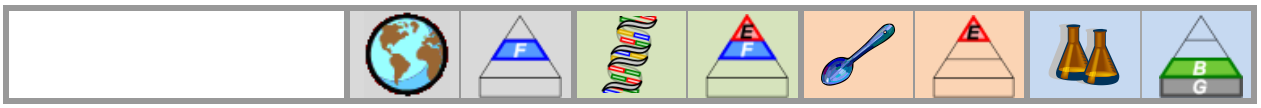
4. Geben Sie die verschiedenen Struktur-Isomere von Hexen an! Benennen Sie alle! Geben Sie die Art der Isomerie an!

für die gehobene Anspruchsebene:

5. Gibt es eigentlich gleichviele Struktur-Isomere von Penten und Pentan? Verdeutlichen Sie Ihren Standpunkt auch mit passenden Struktur-Formeln!

(c,p) 2009-2026 lsp: dre

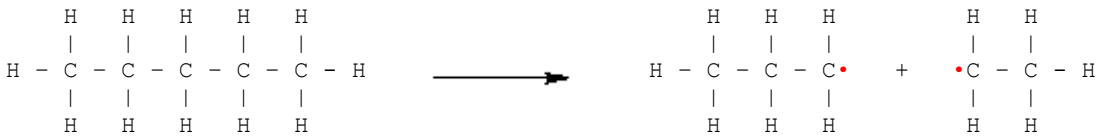
2.2.1.3. Herstellung von Alkenen



Alkene sind gewünschte Stoffe in der technischen Chemie. Im Erdöl ist deren Anteil relativ gering. Ein weiteres Problem ist die Diskrepanz zwischen den Stoff-Anteilen im Erdöl und dem wirklichen Bedarf in der chemischen Industrie.

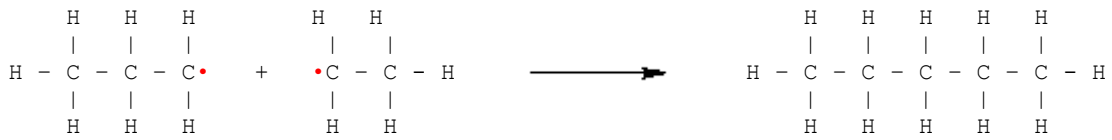
Bestandteil	Herkunft des Rohöl's						Bedarf
	Venezuela	Nigeria	Libyen	Saudi-Arabien	Nordsee		
Gase	1	1	1	2	2		2
Benzine	10	17	22	15	21		33
Mittel-Destillate	29	45	39	26	38		47
Rückstände	60	37	38	57	41		18

Vor allem die (höher-siedenden) längerkettigen Bestandteile der Rohöle werden garnicht gebraucht. Wir haben ja schon erwähnt, dass höhere Temperaturen zur Zerstörung der höher-siedenden Bestandteile führen. Das mancht man sich nun zunutze, um die unerwünschten längerkettigen Bestandteil in kürzer-kettige zu verwandeln.
Das Verfahren, welches hier eingesetzt wird, nennt sich **Cracken** (→ Cracken). Die Übersetzung des englischen Begriff's – *spalten, zerbrechen* – sagt schon alles. Dazu werden höhere Temperaturen (450 – 900 °C) eingesetzt.
Beim Zerteilen von Alkanen würden theoretisch zwei Alkyle entstehen. Zur Verdeutlichung der Abläufe verwenden wir hier mal Pentan als Beispiel:



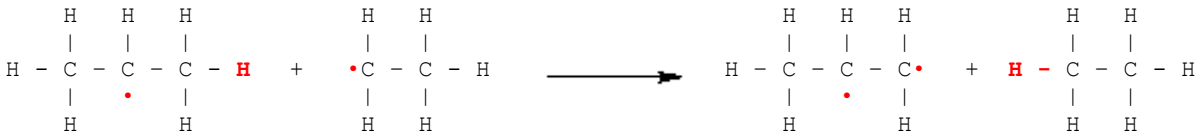
Zuerst kommt es zu einer homolytischen Spaltung in zwei Radikale. Beide C-Atome zerren dabei gleichstark an der Bindung.

Die Alkyle (Alkyl-Radikale) sind aber für sich nicht beständig. Die freien Elektronen lassen die Molekül-Teile zu reaktiven Stoffen werden. Von denen wissen wir ja schon (→ radikalische Substitution), dass sie sehr reaktiv sind. Zwei Radikale reagieren nun z.B. miteinander.
Treffen sich die Seiten mit den freien Elektronen dann kombinieren sich die Moleküle wieder zu einem Alkan (praktisch also die Rück-Reaktion).



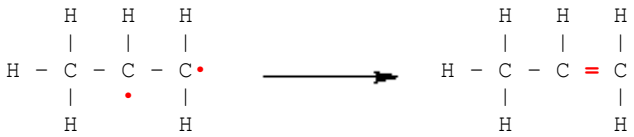
Nahe gelegene ungepaarte Elektronen kombinieren sich wieder zu einer Bindung, da dieser Zustand energetisch günstiger ist. Die Elektronen im Molekül können auch zwischen den Atomen hin und her wandern. Oft stabilisieren sich dann die ungepaarten Elektronen irgendwo in der Mitte des Molekül's.

Viel wahrscheinlicher ist aber ein Kontakt, bei dem nur eines der ungepaarten Elektronen mit einem Alkyl oder Alkan interagiert. Dabei entzieht z.B. das eine Radikal dem anderen ein Wasserstoff-Atom. Dadurch wird das eine Radikal zum Alkan und das andere hat nun zwei frei Elektronen.

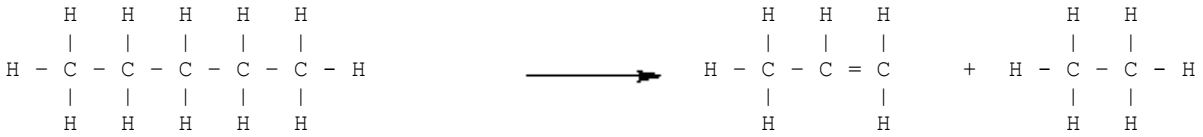


Ein Radikal entzieht dem anderen Radikal bei einem erneuten Kontakt ein Wasserstoff-Atom. Aus der Bindung wird nur ein Elektron mitgenommen, da dieses ja beim angreifenden Radikal für eine neue Bindung fehlt. Somit befinden sich im anderen (angegriffenen) Molekül nun zwei ungepaarte Elektronen. Wenn diese benachbart sind, paaren sie sich zu einer Doppel-Bindung (siehe folgende Gleichung). Weiter entfernte ungepaarte reagieren meist mit anderen Molekülen weiter.

Diese freien Elektronen paaren sich zu einer Doppel-Bindung.



Zusammgefasst ergibt sich diese Summen-Gleichung mit der Verallgemeinerung:



Alkan → **Alken** + **Alkan**

Aus einem länger-kettigen Alkan werden durch **thermisches Cracken** somit ein kurz-kettiges Alken und ein kurz-kettiges Alkan gebildet.
Beim sogenannten **Hydro-Cracken** wird als weiterer Ausgangsstoff Wasserstoff zugesetzt. In diesem Fall werden mehr Alkane gebildet.
Eine weitere Variante arbeitet mit Wasser-Dampf als Ausgangsstoff. Das Verfahren heißt dann **Steamcracking**. Es entsteht ein breites Stoff-Gemisch, deren Stoff-Anteile z.B. durch die verwendeten Temperaturen, Katalystoren und die Menge am zugesetzten Wasser-Dampf beeinflusst werden kann. Es entstehen u.a. auch sogenannte Sauerstoff-Derivate (→ 🕮 **organische Chemie Teil 2 (Derivate)**).

Aufgaben:

1. *Stellen Sie die Tabellen-Daten (Rohöl-Bestandteile) in Summen-Säulen-Diagrammen (Stapel-Diagramme) dar!*
2. *Stellen Sie drei mögliche Reaktions-Gleichungen für das thermische Cracken von Octan auf!*
3. *Wieviel Möglichkeiten für das thermische Cracken von Hexan gibt es? Begründen Sie Ihre Meinung mit einer Liste möglicher Reaktionsprodukt-Kombinationen!*
4. *Stellen Sie die Reaktion-Gleichungen für den schrittweisen Ablauf beim Hydro-Cracken von Pentan auf!*
5. *Stellen Sie eine begründete Hypothese auf, wo langkettige Alkane beim thermischen Cracken am ehesten zerbrechen!*

für die gehobene Anspruchsebene:

6. *Wie könnten die Reaktions-Schritte für das Steamcracking von z.B. Hexan aussehen?*

(c,p) 2009-2026 lsp: dre

Versuch: Cracken von Paraffinöl / Decan

Durchführung:

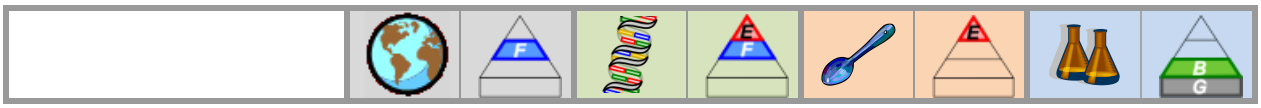


Vorsicht!!!

- *feuerfestes Reagenzglas halb mit einem Gemisch aus Glaswolle und Perl-Katalysator füllen, etwas Paraffinöl oder Decan dazugeben*
- *Ableitung in ein Reagenzglas mit Ableitung (gekühlt in Eis-Wasser)*
- *Ableitung an Verbrennungs-Düse (Rückschlag-gesichert!) und / oder Kolbenprober*
- *feuerfestes Reagenzglas im gefüllten Bereich gleichmäßig erhitzen*

(c,p) 2009-2026 lsp: dre

2.2.1.3. Eigenschaften der Alkene



In der homologen Reihe verändern sich die physikalischen Eigenschaften (z.B. Aggregatzustand) ähnlich schrittweise, wie bei den Alkanen.
Die verschiedenen Isomere und deren Derivate haben z.T. auch sehr unterschiedliche Eigenschaften. Diese aber im Detail auseinander zu pflücken ist für unsere Zwecke nicht sehr zweckmäßig. Bei Bedarf gehen wir auf Details und Spezialitäten an geeigneter Stelle ein.

Anzahl C-A.	Name	Summenformel	Fp [°C]	Kp [°C]	Aggregatzustand	Geruch
2	Ethen	C_2H_4			gasförmig	geruchlos
3	Propen	C_3H_6			gasförmig	geruchlos
4	But-1-en	C_4H_8	-185	-6	gasförmig	geruchlos
4	2- Methylprop-1-en	C_4H_8	-139	+4	gasförmig	geruchlos
4	cis-But-2-en, Z-But-2-en	C_4H_8	-105	+1	gasförmig	geruchlos
4	trans-But-2-en, E-But-2-en	C_4H_8	-140	-7	gasförmig	geruchlos
5	Penten	C_5H_{10}				
6	Hexen	C_6H_{12}				
7	Hepten	C_7H_{14}				
8	Octen	C_8H_{16}				
9	Nonen	C_9H_{18}				
10	Decen	$C_{10}H_{20}$				
11	Undecen	$C_{11}H_{22}$				
12	Dodecen	$C_{12}H_{24}$				
13	Trideken	$C_{13}H_{26}$				
14	Tetradecen	$C_{14}H_{28}$				
15	Pentadecen	$C_{15}H_{30}$				
16	Hexadecen	$C_{16}H_{34}$				
17	Heptadeken	$C_{17}H_{34}$				
18	Octadecen	$C_{18}H_{36}$				
20	Eicosen	$C_{20}H_{40}$				
60	Hexaconten	$C_{60}H_{120}$				

+) im Vakuum bei 20 mbar; → bei Normaldruck vorher zersetzlich

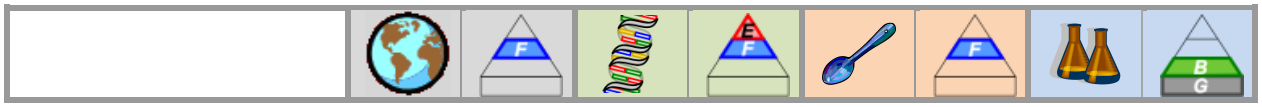
Die Schmelz-Temperaturen von trans-Alkenen liegen über denen der cis-Verbindungen. Dieses liegt daran, dass die trans–Alkene i.A. eine höhere Molekül-Symetrie besitzen. Dadurch lassen sie sich besser in Gitter-Strukturen einbauen. Zwischen den Molekülen bestehen damit auch größere VAN-DER-WAALS-Kräfte.
Die cis-Alkene sind zumeist Dipole. Die Doppel-Bindung stellt dabei einen negativen – Elektronen-reichen – Ladungs-Schwerpunkt dar. Die positiven Partial-Ladungen sind auf die Alkyl-Reste verteilt und weniger auffällig. Bei unsymetrischer Molekül-Form sind auch die Ladungs-Schwerpunkte ungleichmäßig verteilt. Die polaren Anziehungs-Kräfte bewirken höhere Siede-Temperaturen als bei vergleichbaren trans-Alkenen.

(c,p) 2009-2026 lsp: dre

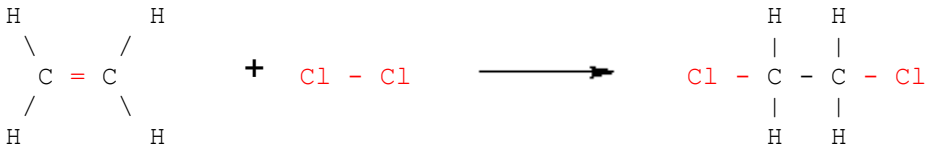
Aufgabe:

1. *Welche Aggregatzustände ergeben sich für die Buten-Isomere, wenn die Normbedingungen mit 1013 hPa und 0 °C festgelegt werden, was in einigen Tabellen-Büchern üblich ist!*

2.2.1.2.1. chemische Eigenschaften – Reaktionen der Alkene

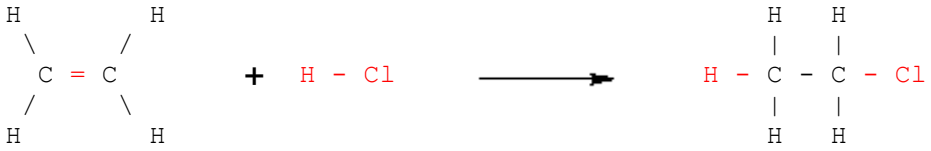


Bei ungesättigten Kohelnwasserstoffen kommt es normalerweise nicht zu Substitution, wenn man Halogene mit ihnen reagieren lässt. Vielmehr wird die Doppelbindung aufgebrochen und die Halogen-Atome lagern sich an.



1,2-Dichlorethan

Das Chlor wird praktisch zum Ethen hinzugefügt. Man spricht dabei von einer **Additions-Reaktion**. Die Doppel-Bindung wird aufgebrochen und die zwei freiwerdenen Elektronen für die neuen Bindungen zu den additierten Atomen genutzt.
Bei Alkenen funktioniert auch die Reaktion mit Halogenwasserstoffen. Diese Reaktion ist deshalb schwieriger, weil zwischen Wasserstoff und Chlor im Chlorwasserstoff eine polare Atom-Bindung (Atom-Bindung mit teilweisen Ionen-Charakter) existiert. Diese ist schwerer zu trennen. Es kommt theoretisch zu einer heterolytischen Spaltung in ein Wasserstoff-Ion (Proton) und ein Chlorid-Ion.



Das Produkt heißt Monochlorethan und ist ein typisches Halogen-Derivat (→ Halogen-Derivate) der Alkane. Bei Derivaten handelt es sich um sogenannte Abkömmlinge. Hier sind die Abkömmlinge einer Stoffgruppe gemeint. Die ehemals ungesättigten Kohlenwasserstoffe enthalten nach der Addition nur noch gesättigte Bindungen.

Aufgaben:

1. *Stellen Sie die Gleichungen für die folgenden Additions-Reaktionen auf!*
2. *Welche Stoffmenge, Masse und welches Volumen von Chlor werden für die Addition an 2 mol Ethen gebraucht?*
3. *Ethen, Buten und Hexen werden jeweils mit Bromwasserstoff zur Reaktion gebracht. Stellen Sie die Reaktions-Gleichungen auf! Bestimmen Sie den Reaktions-Typ!*
4. *Welche Stoffe entstehen bei der Addition von Wasserstoff an Ethen, Buten und Hexen? Verallgemeiner Sie!*

!!! Achtung: Das folgende Experiment darf je nach (Bundes-)Land u.U. nicht in der Schule durchgeführt werden!

Versuch: Reaktion von Hepten mit Brom

Durchführung:



- *ein ERLENMEYER-Kolben (100 ml) wird mit 20 ml Wasser befüllt und dahinein 4 Tropfen Brom gegeben (alternativ: wenig Bromwasser)*
- *Luft über Bromwasser durch Propen ersetzen und Kolben verschließen*
- *kräftig schütteln*

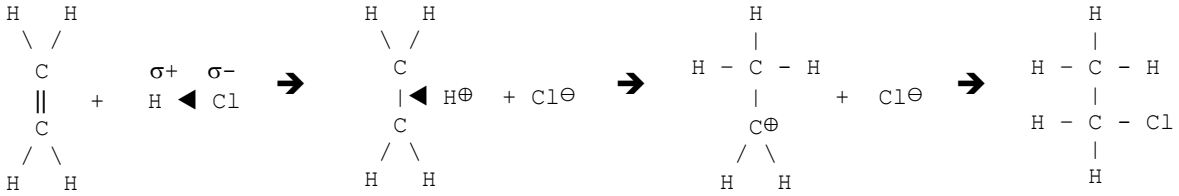
Materialien zur Vorbereitung (z.B. für flipped classroom)	
	Alkane und Alkene reagieren unterschiedlich mit Brom
	[Markus Kohl] ⌛ **4:20 min** *****
	https://www.youtube.com/watch?v=irYs5UUiL4o
	Elektrophile Addition an Doppelbindungen (Brom an Ethen)
	[simple Club] ⌛ **5 min** ****
	https://www.youtube.com/watch?v=l6YfuLAgo5Q
	[] ⌛ **min** *

(c,p) 2009-2026 lsp: dre

Mechanismus der elektrophilen Addition



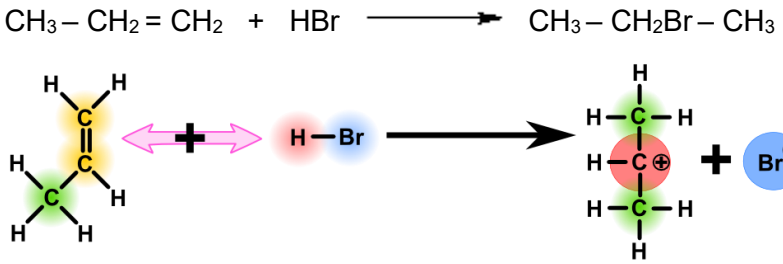
Am Einfachsten ist die Addition von polaren Stoffen, wie z.B. Chlorwasserstoff oder Bromwasserstoff zu erklären. Prinzipiell läuft die Addition von unpolaren, aber polarisierbaren Stoffen – wie z.B. Brom – ganz ähnlich.
Die Doppelbindung ist recht Elektronen-reich. Damit haben wir dort eine Konzentration negativer Ladungsträger. Diese ziehen nun wiederum positive Ladungen (od. Partial-Ladungen) an bzw. polarisieren geeignete Bindungen. Im unten gezeigten Beispiel wird die polarisierte Atombindung im Chlorwasserstoff noch weiter polarisiert. Die Doppelbindung wird zum positiv geladenen Wasserstoff gezogen. aufgelöst und geht schließlich eine neue Bindung ein.



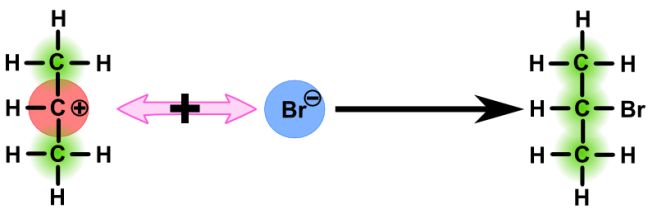
Am anderen C-Atom der ehemaligen Doppelbindung entsteht eine positive Ladung (→ Carbo-Kation). Das bei der Spaltung des Chlorwasserstoffes übrig gebliebene Chlorid-Ion bindet dort.
Insgesamt haben wir es mit einer **Additions-Reaktion** zu tun. Ein positiv geladenes Teilchen, welches Elektronen-liebend (elektrophil) ist, greift die Doppelbindung zuerst an. Deshalb sprechen wir von einer **elektrophilen Addition** (Abk.: $\mathbf{A_E}$).

elektrophile Addition im Detail

Betrachten wir eine abgewandelte Variante dieser Reaktion noch detaillierter. Es sollen Propen und Bromwasserstoff miteinander reagieren.

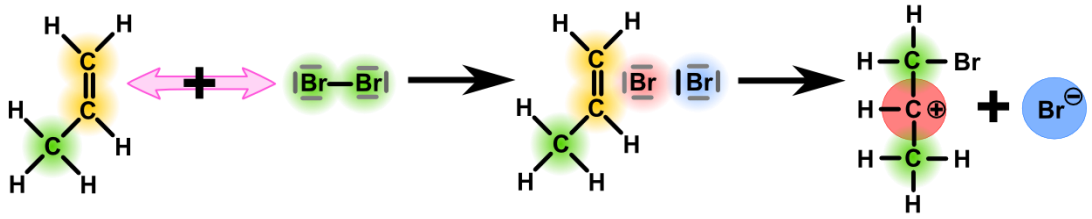


Der teilweise positiv geladene Wasserstoff aus dem Bromwassertsoff-Molekül interagiert mit der Elektronen-reichen Doppel-Bindung des Propens. Die polarisierte Bindung des Bromwasserstoffs wird unsymetrisch aufgelöst. Die Doppel-Bindung übernimmt das Proton. In jedem Fall bildet sich ein – im inneren liegendes – Carbenium-Ion. Dieses reagiert dann mit dem – vom Bromwasserstoff – übrig gebliebenen Bromid-Ion unter Bildung einer Atom-Bindung (siehe Abb. unten).

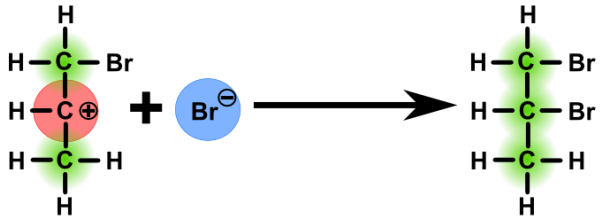


Bei Additionen bilden sich eher Verbindungen mit innen liegenden Substituenten. Wir sprechen auch hier von Substituenten, da scheinbar aus einem gesättigten Molekül einzelne Wasserstoff-Atome durch andere Atome ausgetauscht wurden.
Durch die innere Lage wird das temporäre Carbenium-Ion während der Reaktion stabilisiert. Die nachfolgende Anlagerung des Halogen-Ions ist dann nur noch reine Formsache.
Betrachten wir nun die Reaktion von einem Alken mit einem reinen Halogen.

$$CH_3 - CH_2 = CH_2 \quad + \quad Br_2 \longrightarrow CH_3 - CH_2Br - CH_2Br$$



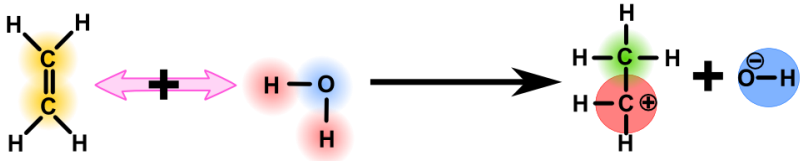
Das Brom-Molekül wird bei Annäherung an die Doppel-Bindung polarisiert. Es kommt letztendlich zur heterolytischen (unsymetrischen)Spaltung des Brom-Moleküls. Diese Spaltung wird durch Verwendung von polaren Lösungsmitteln (bei Brom z.B. Wasser) noch gefördert. Das Bromonium-Ion (Br^+) lagert sich an der Doppel-Bindung an und läßt ein temporäres Carbenium-Ion entstehen.



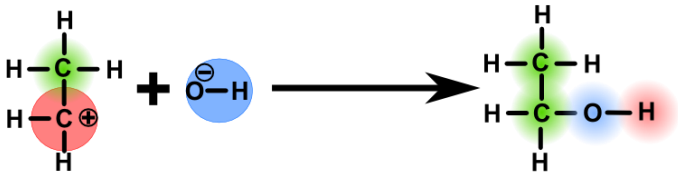
Das Carbenium-Ion reagiert dann umgehend mit dem zurückgebliebenen Bromid-Ion (Br^-).

Die Addition von Brom wird auch als Nachweis für Doppelbindungen benutzt. Dabei nutzt man die Entfärbung einer Brom-Lösung (z.B. Brom-Wasser, $Br_2 \bullet H_2O$) aus. Das Bromwasser hat die typische rotbraune Brom-Farbe – die Additionsprodukte (Brom-Alkane) sind dagegen farblos. Diese Reaktion lässt sich sogar für semiquantitative Untersuchungen gebrauchen, indem man z.B. die verbrauchten (entfärbten) Brom-Wasser-Tropfen zählt.
Für genauere quantitative Untersuchungen des Doppelbindungsgehaltes eigent sich die BAYERsche Probe (→ Nachweis von Mehrfachbindungen mittels BAEYERscher Probe / BAEYERschem Test:). Leider ist diese nicht nur für Mehrfachbindungen spezifisch.
Ethen lässt sich durch elektrophile Addition von Wasser in Ethanol (Alkohol) umwandeln. Als Katalsator werden Säuren verwendet, um ein Proton als elektrophile Agenz zu haben.

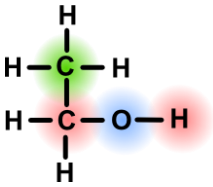
$$H_2C = CH_2 \quad + \quad H_2O \longrightarrow H_3C - CH_2 - OH$$
Ethanol (C_2H_5OH)



Die partiell positiv geladenen Wasserstoff-Atome des Wasser-Moleküls können sehr gut mit der Doppel-Bindung interagieren. Das Wasser-Molekül wird in ein Wasserstoff-Ion (Proton) und ein Hydroxid-Ion gespalten. Hier helfen Säuren besonders gut als Katalysator. Das Proton wird in das Ethen-Molekül eingebaut und es entsteht ein Carbenium-Ion.



Das Hydroxid-Ion kann nun im zweiten Schritt am Carbenium-Ion anlagern. Die quasi substituierte OH-Gruppe wird in der organischen Chemie Hydroxyl- oder Hydroxi-Gruppe genannt. Praktisch ist auch die Bindung zwischen Cohlenstoff und Sauerstoff polarisiert (s.a. rechte Abb.). Da diese Bindung aber gewissermaßen geschützt im Inneren des Moleküls liegt und meist erst nach der Abspaltung des Wasserstoffs aus der Hydroxyl-Gruppe an Reaktionen teilnimmt, wird diese Bindung vorerst als unpolarisiert betrachtet (s.a. obere Abb.).



Dieser sogenannte **technische Alkohol** darf nicht für Trinkzwecke verwendet werden. Vor dem in den Handelbringen muss dieser Alkohol vergällt (Veränderung des Geschmacks) werden. Dazu wird z.B. Benzin oder Campher genutzt. Beide Zusätze lassen sich nicht durch Destillation aus dem vergällten Produkt entfernen. Z.B. als Brennspiritus ist der Alkohol dann noch gut für Lösungs- und Brennzwecke nutzbar. Trinken lässt er sich aber nicht. Das Vergällen hat vor allem steuerrechtliche Gründe. Trinkalkohol (aus natürlichen Quellen) wird sehr hoch besteuert.

Definition(en): Addition
Additionen sind chemische Reaktionen, bei denen Atome oder Atom-Gruppen angelagert werden (, ohne dass dafür andere Atome oder Atom-Gruppen abgespalten werden). Additionen finden vornehmlich an Mehrfachbindungen statt. Man unterscheidet radikalische, elektrophile und nucleophile Substitutionen.
Eine Addition ist die Vereinigungs-Reaktion von mindestens zwei Molekülen. Dabei wird eine Mehrfachbindung aufgespalten.

Definition(en): Elektrophil
Ein Elektrophil ist ein Atom oder eine Atom-Gruppe, die sich durch einen Elektronen-Mangel auszeichnet und deshalb besonders Elektronen-liebend (= elektrophil; Elektronen-freundlich) ist. Der Reaktions-Partner eines Elektrophils ist immer ein Nucleophil (Kern-liebender Partner).
Elektrophile sind vollständig oder teilweise positiv geladene Atome oder Atom-Gruppen.
Elektrophile sind positiv geladene (Ionen) oder positiv polarisierbare Atome oder Atom-Gruppen, die mit Elektronen-Lücken negativierte C-Atome angreifen. Das angreifende Teilchen (Elektrophil) übernimmt ein Elektronen-Päarchen (vom angegriffenen / meist größeren od. unbeweglicheren Teilchen) für eine neue Bindung.

(c,p) 2009-2026 lsp: dre

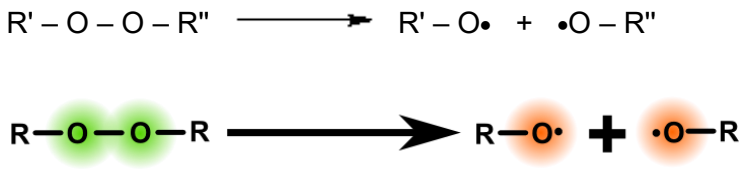
Definition(en): elektrophile Addition; A_E-Reaktion
Elektrophile Additionen (A_E) sind Additions-Reaktionen, bei denen der Elektronen-liebende Reaktions-Partner (er selbst besitzt eine verringerte Elektronen-Dichte) – auch Elektrophil genannt – an einer Elektronen-reichen Stelle des anderen Reaktions-Partners (dieser ist eher nucleophile / Kern-liebend / hat vergrößerte Elektronen-Dichte) angreift und reagiert.
Elektrophile Reaktionen sind Orts-selektiv, da sie an Orte mit hoher Elektronen-Dichte – z.B. Mehrfach-Bindungen – gebunden sind.

Aufgaben:

1. ***Stellen Sie die Gleichungen für den Mechanismus der elektrophilen Addition von Wasser bei Verwendung einer Säure (also Hydronium-Ionen) als Katalysator jeweils an Ethen und Propen auf!***
2. ***Informieren Sie sich darüber, warum man Benzin oder Campher als Vergällungs-Mittel benutzt! Gibt es eine Chance aus billigem technischen (und vergällten) Alkohol den guten Trink-Alkohol zu machen (und damit viele Steuern zu sparen)?***
3. ***Geben Sie allgemeine Regeln für die Additionen an Alkenen an!***
   z.B.: Alken + Halogen ⟶ Halogenalkan

Additionen ohne Ende - Polyaddition

In der technischen Chemie spielt aber eine ganz andere Reaktion ein viel größere Rolle. An speziellen Katalysatoren reagiert Ethen auch mit sich selbst. Die Moleküle mit ihren Doppel-Bindungen reagieren immer wieder mit neuen Molekülen. Wir sprechen dann von einer **Polymerisierung** (griech.: *poly* = viel → viele Moleküle). Der Reaktionsmechanismus verläuft als **Kettenreaktion**.
Als **Startreaktion** werden meist Radikalbildungen verwendet. Gut geeignet sind hierfür organische Peroxide (enthalten – O – O –).



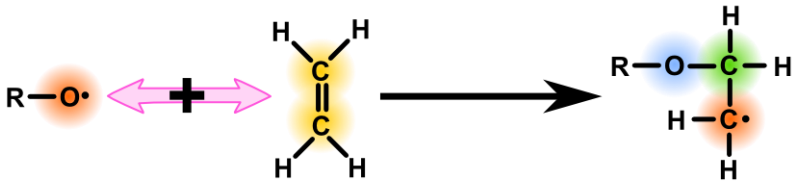
Peroxid sind im Allgemeinen sehr reaktiv, d.h. sie zerfallen symetrisch in zwei Radikale. Die Teilung erfolgt also symmetrisch an der Sauerstoff-Sauerstoff-Brücke. Für die Symmetrie-Betrachtung spielt es keine Rolle. ob die beiden Reste (R) gleich oder unterschiedlich sind.

Das R steht in der organischen Chemie für Rest. Für unterschiedliche Reste werden R', R'', R''', … oder R_1, R_2, R_3 usw. verwendet. Die letzte Schreibung ist leicht mit der Anzahl-Kennung in chemischen Formeln zu verwechseln, so dass man lieber die erste Variante wählen sollte oder z.B. eine Kennzeichnung mit Buchstaben als Indize (R_A, R_B, R_C, …). Reste können Alkyle oder auch andere unvollständige Kohlenwasserstoffe bzw. deren Derivate sein.

 (c,p) 2009-2026 lsp: dre

Beide Radikale können nun mit dem Haupt-Ausgangsstoff Ethen weiterreagieren:

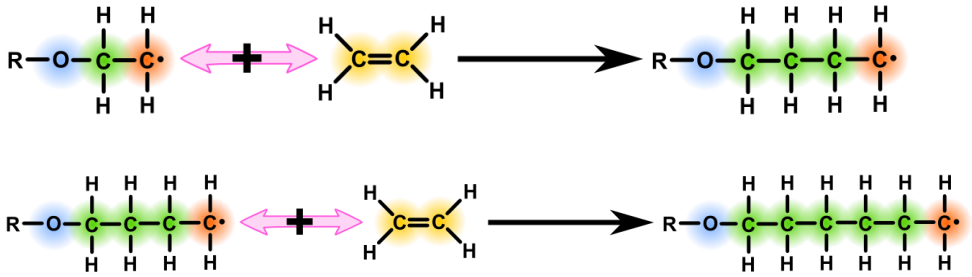
$$R - O\bullet \;+\; H_2C = CH_2 \longrightarrow R - O - CH_2 - CH_2\bullet$$



Ein Starter-Radikal reagiert mit dem ersten Molekül Ethen. Das ungepaarte Elektron interagiert mit der Elektronen-reichen Doppel-Bindung und "entzieht" ihr quasi ein Elektron. Damit wird eine Bindung zwischen dem Radikal-Rest und dem Ethen aufgebaut. Von der Doppel-Bindung bleibt ein ungepaarte Elektron über, welches am anderen C-Atom ein Radikal ausbildet.

Die Doppelbindung wird aufgebrochen und ein ungepaartes Elektron bleibt am Moleküle-Ende erhalten. Dieses Radikal kann nun wieder mit Ethen reagieren, wobei sich die Kette immer weiter verlängert (**Ketten-Verlängerung**):

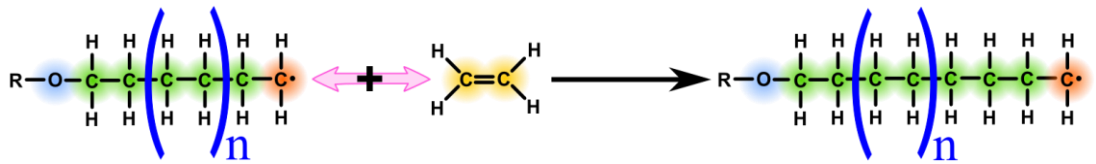
$$R - O - CH_2 - CH_2\bullet \;+\; n\,H_2C = CH_2 \longrightarrow R - O - CH_2\,[- CH_2 - CH_2\,]_n - CH_2\bullet$$



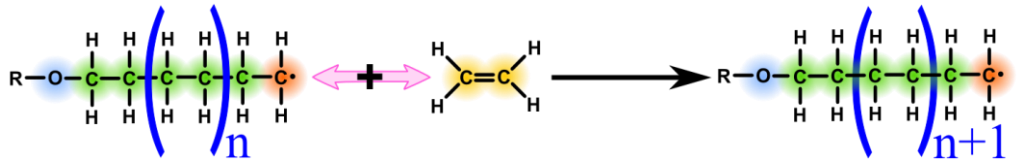
Das radikalische Reaktions-Prinzip wiederholt sich jetzt ständig. Das Radikal entzieht der Doppel-Bindung ein Elektron für eine Atom-Bindung und am zweiten Doppen-Bindungs-Atom manifestiert sich ein ungepaartes Elektron.

Erst wenn zwei Radikale zusammentreffen, dann kommt es zum Abbruch der Kettenreaktion (**Ketten-Abbruch**). Betrachten wir hier nur ein Beispiel. Die anderen Kombinationen der Reaktionspartner sind leicht abzuleiten.

$$R - O - CH_2\,[- CH_2 - CH_2\,]_n - CH_2\bullet \;+\; \bullet O - R \longrightarrow R - O\,[- CH_2 - CH_2\,]_{n+1} - O - R$$

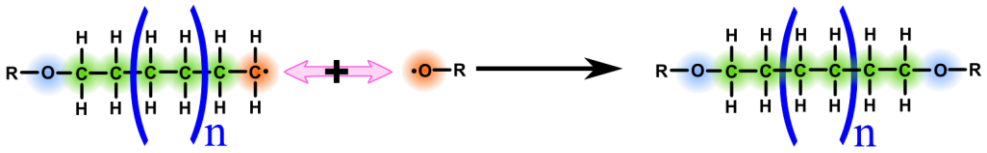


Bei jedem Reaktions-Schritt verlängert sich die Kette um eine Ethylen-Einheit (-CH_2-CH_2- bzw. -C_2H_4-). Um etwas Schreib-Arbeit zu sparen kann man auch die untere Schreibweise benutzen.



Bei der Polymerisation sind eine Vielzahl von Ketten-Abbrüchen möglich. Wir zeigen hier zwei der prinzipiellen Möglichkeiten. Zum Einen kann eine Kette mit ihrem radikalischen Ende mit einem übergebliebenen Starter-Radikal reagieren:

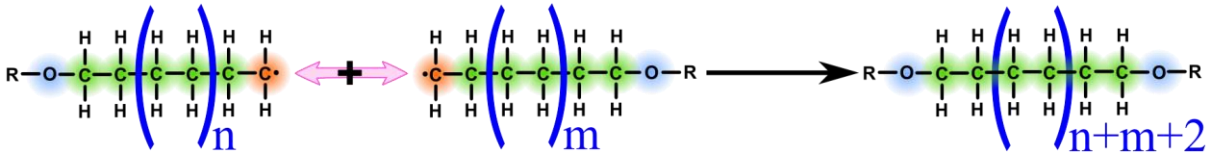
$$R - O - CH_2 \left[- CH_2 - CH_2 \right]_n - CH_2\bullet \; + \; \bullet O - R \longrightarrow R - O \left[- CH_2 - CH_2 \right]_{n+1} - O - R$$



Die beiden ungepaarten Elektronen bilden bei Kontakt sofort eine (polarisierte) Atom-Bindung aus.

Die zweite Möglichkeit besteht darin, dass zwei der radikalischen Ketten miteinander reagieren.

$$R - O - CH_2 \left[- CH_2 - CH_2 \right]_n - CH_2\bullet \; + \; \bullet CH_2 \left[- CH_2 - CH_2 \right]_m - CH_2 - O - R \longrightarrow R - O \left[- CH_2 - CH_2 \right]_{n+m+2} - O - R$$



Eine wesentlich seltenere Variante des Ketten-Abbruchs ist die Interaktion von zwei radikalischen Enden der gebildeten Polyethylen-Ketten. Beide Ketten vereinen sich unter Ausbildung einer C-C-Einfach-Bindung.

Die Reaktionsprodukte unterscheiden sich in der jeweiligen Kettenlänge. Durch eine geeignete Prozessführung (z.B. hoher Druck) und ausgewählte Katalysatoren kann man recht einheitliche Kettenlängen erreichen. Das Mischprodukt heiß übrigens Poly-Ethen (Poly-Ethylen, Hochdruck-Polyethylen, Poly-Äthylen). Die Start-Radikale können u.U. auch noch chemisch entfernt werden. In den meisten Fällen machen diese kleinen "Verunreinigungen" im Produkt nichts aus. Dafür sind die hergestellten Ketten einfach zu groß (zu lang). Poly-Ethen (PE, HDPE) ist das Material, welches die moderne "westliche Kaufkultur" so ausmacht – die Einkaufstüte aus Plastik. Weiterhin wird Polyethen auch für Lebensmittelgefäße (Plastedosen) und Verpackungen aller Art verwendet. Die Verwendung von Polyethylen für Wegwerf-Artikel und Verpackungen ist ökologisch sehr bedenklich. Durch natürliche Prozesse dauert es Jahrzehnte bis Jahrhunderte, bis das Material auf Halden abgebaut wird.
Der Reaktionstyp für die oben besprochene Reaktion ist hier ebenfalls eine Addition. Da diese vielfach hintereinander abläuft, spricht man auch von Polyaddition oder weil die Doppelbindungen aufgespalten und zu Einfachbindungen gewandelt werden, auch von Polymerisation. Im Allgemeinen entstehen bei Polymerisations-Reaktione sehr große Moleküle, die auch Makro-Moleküle genannt werden.
Ein weiteres Polymerisations-Produkt ist das Polypropylen (Polypropen). Es wird aus Propen hergestellt.
In Molekülen mit konjugierten Doppel-Bindungen – z.B. bei Buta-1,3-dien – kommt es bei der einfachen / ersten Bromierung (elektrophile Addition von Brom) zu einem interessanten Isomerie-Effekt. Zum Einen entsteht das erwartete 1,2-Dibrombut-3-en (ganz exakt: 3,4-Dibrombut-1-en):

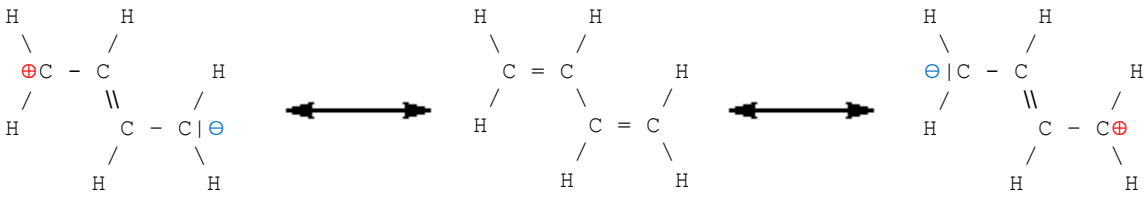
$$H_2C{=}CH\text{-}CH{=}CH_2 \; + \; \mathbf{Br_2} \longrightarrow \mathbf{Br}CH_2\text{-}CH\mathbf{Br}\text{-}CH{=}CH_2 \quad ; \Delta_R H = -??? \text{ kJ/mol}$$

(c,p) 2009-2026 lsp: dre

Desweiteren entsteht ein Produkt mit verlagerter (gewanderter) Doppel-Bindung – das 1,4-Dibrombut-2-en:

$H_2C{=}CH{-}CH{=}CH_2 + \mathbf{Br_2} \longrightarrow \mathbf{Br}CH_2{-}CH_2{=}CH_2{-}CH_2\mathbf{Br}$; $\Delta_R H$ = -??? kJ/mol

Beide Produkte bilden sich ungefähr zu gleichen Anteilen – sind also energetisch gleich stabil. Eine Erklärung dieses seltsamen Geschehens kann über die LEWIS-Formeln von konjugierten Doppel-Bindungen gegeben werden. Es sind mehrere mesomere Strukturen möglich, die eine "temporäre" Doppel-Bindung zwischen den beiden ursprünglichen Doppel-Bindungen stabilisiert:



nucleophile Additionen

Das Gegenstück zu elektrophilen Reaktionen sind nucleophile. Z.B. ist die Anlagerung von Wasser an Alkenen im (stark) sauren Milieu eine nucleophile Addition.
Die Protonen der Säure lagern sich an einem C-Atom der Doppel-Bindung an. Am anderen C-Atom entsteht nun ein positive Ladung an einem C-Atom (Carbenium-Ion). Das Wasser kann sich nun mit seinem Kern-liebenden Sauerstoff (hat ja einen Elektronen-Überhang (negative Partial-Ladung)) annähern. Das Nucleophil greift das Carbenium-Ion an. Sauerstoff bindet am C-Atom. Ein Wasserstoff des Wasser's geht als Proton (Wasserstoff-Ion) ab, und kann an einer anderen Doppel-Bindung eine weitere Addition ermöglichen.

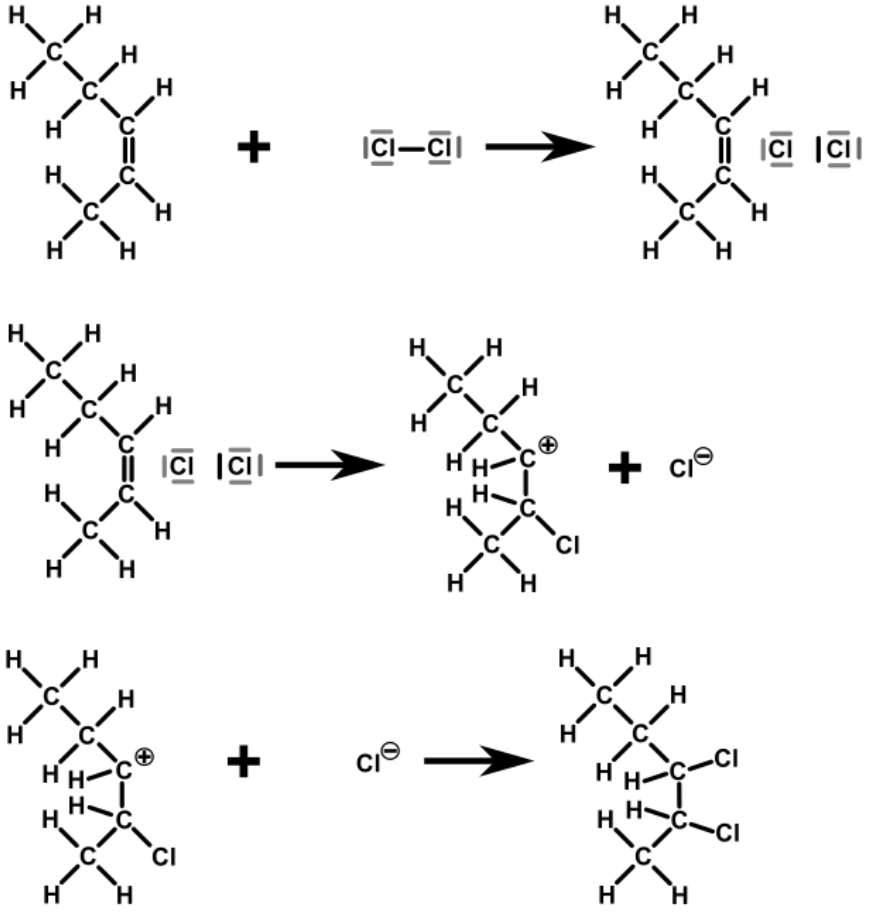
Definition(en): Nucleophil
Ein Nucleophil ist ein Atom oder eine Atom-Gruppe, die sich durch einen Elektronen-Überschuss auszeichnet und deshalb besonders Kern-liebend (= nucleophil; Kern-freundlich) ist. Der Reaktions-Partner eines Nucleophil ist immer ein Elektrophils (Elektronen-liebender Partner).
Nucleophile sind vollständig oder teilweise negativ geladene Atome oder Atom-Gruppen.
Nucleophile sind negativ geladene (Ionen) oder negativ polarisierbare Atome oder Atom-Gruppen, die mit freien Elektronen-Päarchen positivierte C-Atome angreifen. Das angreifende Teilchen (Nucleophil) stellt ein Elektronen-Päarchen für eine neue Bindung (zum angegriffenen / meist größeren od. unbeweglicheren Teilchen) zur Verfügung

Definition(en): nucleophile Addition, A_N-Reaktion
Nucleophile Additions-Reaktionen sind die Additionen, bei denen eine Kern-liebende Substanz / Atom-Gruppe / Elektronen-reiche Gruppe (Anion, Elektronenpaar-Donatoren, LEWIS-Säuren) in eine Verbindung mit einer oder mehrerer Mehrfach-Bindungen aufgenommen wird. Mindestens eine der Mehrfachbindungen wird dadurch vereinfacht (auch von Dreifach- zu Zweifach-Bindung).
Nucleophile Additionen sind chemische Reaktionen, bei denen Stoffen mit Mehrfach-Bindungen Elektronen-reiche Agenzien (Anionen, Elektronenpaar-Donatoren, LEWIS-Säuren) unter Auflösung der Mehrfach-Bindung aufnehmen.

(c,p) 2009-2026 lsp: dre

Aufgaben:

1. ***Stellen Sie die Reaktions-Gleichungen für die folgenden chemischen Reaktionen auf und bestimmen Sie jeweils den Reaktions-Typ!***
   a) Reaktion von Pent-2-en mit Chlor
   b) Reaktion von Pent-2-en mit Bromwasserstoff
   c) Bildung von 2,3-Dichlorhexan
   d) Bildung von 4-Bromdecan
2. ***Berechen Sie die notwendige Masse an Hepten, um 10 l Brom-Gas vollständig zu addieren!***
3. ***Welches Volumen an Chlor kann durch 12 l Ethen gebunden werden, wenn die Effektivität der Reaktion bei 94 % liegt?***
4. ***Übernehmen Sie den folgenden Reaktions-Verlauf! Kennzeichen Sie mit Buntstiften (ersatzweise Textmarker) die besonderen Ladungs-Verhältnisse, die zu den einzelnen Reaktions-Schritten gehören!***

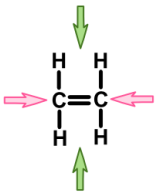


5. ***Beschreiben Sie mit eigenen Worten den schrittweisen Ablauf der Reaktion!***

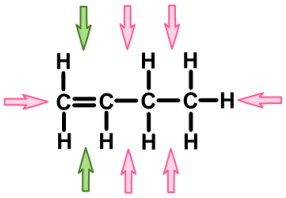
Reaktions-Verhalten innerhalb der homologen Reihe



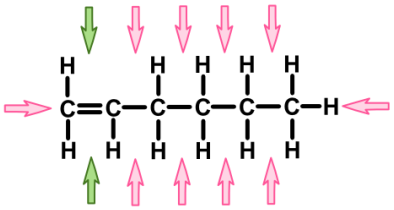
Auch innerhalb der Alkene hat die Cohlenstoff-Atom-Anzahl einen Einfluß auf das Reaktions-Geschehen. Mit steigender Kettenlänge wird quasi die Doppel-Bindung immer seltener im Molekül. Immer weniger Zusammenstöße können zu einer Addition führen (**grüne** Pfeile in der nebenstehenden Abb.). Die nicht-wirksamen Zusammenstöße (**pink**) nehmen immer mehr zu. Unter Additions-Bedingungen kommt es hier zu keiner Reaktion.

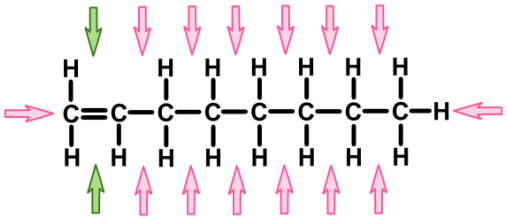


Die Reaktions-spezifischen Zusammenstöße sind zudem schon dadurch beschränkt, dass eine sehr gerichtete Annäherung des elektrophilen Reaktions-Partners an die – immer seltener werdende – Doppel-Bindung erfolgen muß.



Unter geeigneten Bedingungen (z.B. Strahlung) sind bei kurz- und längerkettigen Alkenen (ab C3) aber auch Substitutionen möglich. Vom statistischen (kinetischen) Standpunkt steigt die Chance für Substitutionen mit der Kettengröße stark an. Im Allgemeinen findet die Reaktion aber an dem C-Atom statt, dass der Doppelbindung direkt benachbart ist (Allyl-Stellung, Allyl-Position). Dies ist aber thermodynamisch bedingt. Hier ist das C-Atom besonders "empfindlich" für einen radikalischen Angriff.

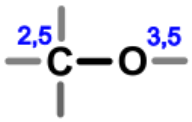




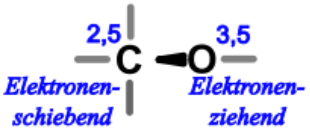
Nachbar-Gruppen-Effekte
Induktions-Effekte (I-Effekt)

Der Name Induktions-Effekt ergibt aus der indirekten Wirkung eines Atom's oder einer Atom-Gruppe.

Unterscheiden sich die Elektronegativitäten zweier Bindungs-Partner, dann zieht der mit der größereren Elektronegativität das Bindungs-Elektronen-Paar zu sich. An diesem Atom entsteht eine negative Partial-Ladung.

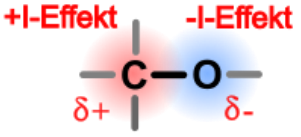


Das Atom mit der geringeren Elektronegativität kann die Bindungs-Elektronen nur teulweise halten. Wir sagen er schiebt die Elektronen. Dies entspricht natürlich nicht dem tieferen Sachverhalt, soll aber das Zusammenspiel mit dem anderen Partner veranschaulichen.



Besser sind vielleicht die Bezeichnungen Elektronen-gebend oder Elektronen-liefernd.

Die Herausbildung von Partial-Ladungen verändert das Reaktions-Verhalten.



Beim **+I-Effekt** (sprich: plus-i-Effekt) drücken ein Atom oder eine Atom-Gruppe Elektronen in benachbarte Molekül-Teile. Der Effekt setzt sich innerhalb des Molekül's fort, wird aber immer schwächer.

Der **-I-Effekt** bedeutet eine Verringerung der Elektronen-Dichte am anderen anderen Bindungs-Partner, weil das Effekt-auslösende Atom eine größere Elektronegativität hat.

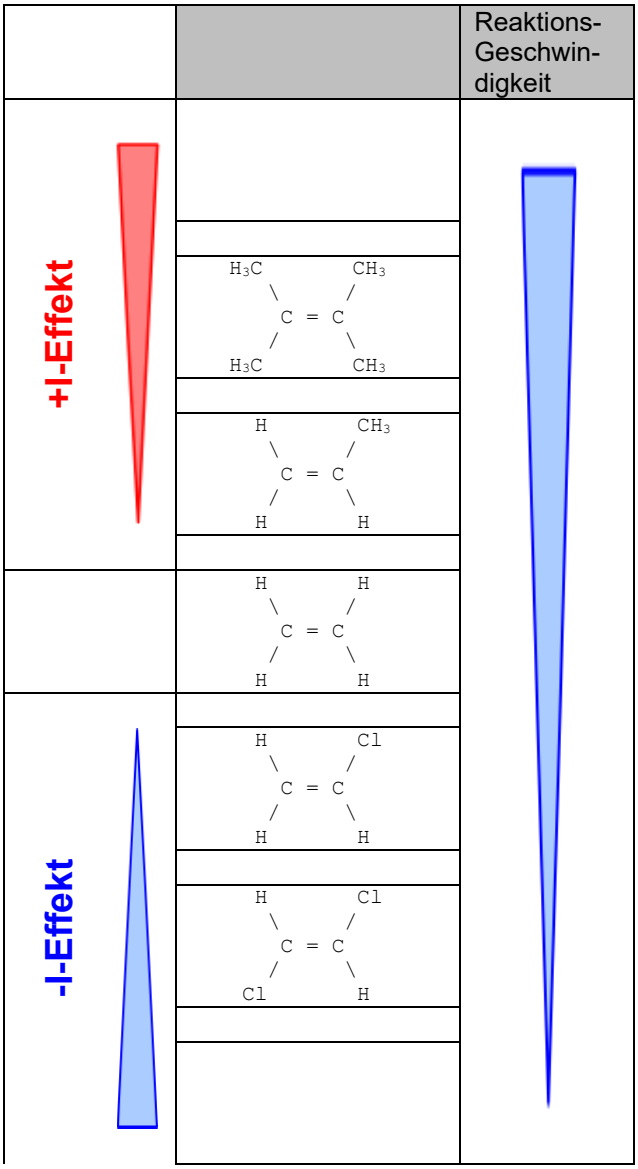
Die Reaktivität im Bereich der Doppel-Bindung wird durch angelagerte Methyl-Gruppen erhöht. Methyl-Gruppen haben einen **+I-Effekt**. Sie stabiliseren die Doppel-Bindung und ermöglich so elektrophile Angriffe.

Je weniger Methyl-Gruppen die Doppel-Bindung flankieren, umso kleiner wird die Reaktivität.

Beim Ethen beobachten wir eine mittlere Reaktivität.

Die Substitution eines Wasserstoff's durch Chlor bewirkt an dieser Stelle einen **-I-Effekt**. Das elektronegative Chlor zieht an den Elektronen aus der Doppel-Bindung.

Je mehr Chlor-Atome um die Doppel-Bindung herum vorhanden sind, umso schwächer wird die Doppel-Bindung. Ein elektrophiler Angriff ist nun nur eingeschränkt möglich.



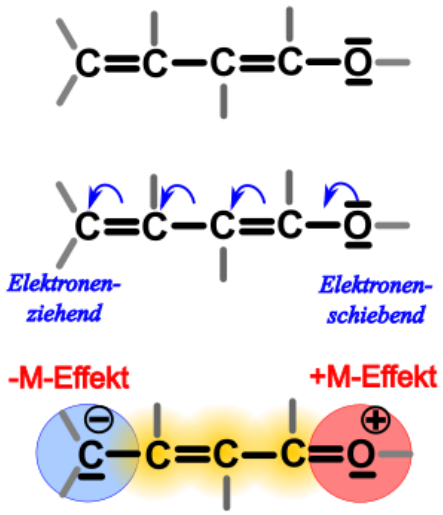
Definition(en): I-Effekt / induktiver Effekt
Der induktive Effekt ist in organischen Molekülen eine Ladungs-verändernde Beeinflussung durch Atome oder Atom-Gruppen (Seiten-Ketten). Der +I-Effekt ist Elektronen-schiebend, also erhöht es am anderen Atom die Elektronen-Dichte / die negative Partial-Ladung. (Am Anknüpfungs-Punkt der (oben gemeinten) Atome oder Atom-Gruppen wird die Elektronen-Dichte kleiner, also die Partial-Ladung positiver. Der -I-Effekt ist Elektronen-ziehend, also erniedrigt es am anderen Atom die Elektronen-Dichte / die positive Partial-Ladung. (Am Anknüpfungs-Punkt der (oben gemeinten) Atome oder Atom-Gruppen wird die Elektronen-Dichte größer, also die Partial-Ladung negativer.
Der Induktive Effekt (I-Effekt; Induktions-Effekt) beschreibt die Wirkung eines Atom's oder einer Atom-Gruppe auf das restliche Molekül.
Beinflusst ein Atom oder eine Atom-Gruppe durch seine Elektronegativität die Verschiebung benachbarter Bindungen im Molekül, dann sprechen wir vom induktiven Effekt.

(c,p) 2009-2026 lsp: dre

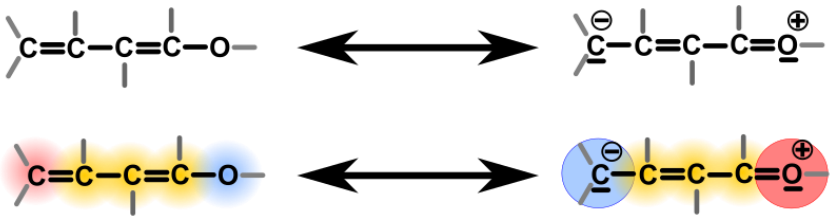
Neben dem **Induktions-Effekt** kann man auch einen **Mesomerie-Effekt** beobachten.
Der mesomere Effekt stabilisiert ionische Strukturen in Cohlenstoff-Gerüsten. Dadurch werden angreifende Moleküle auf bestimmte Stellen gelenkt. Man spricht von einem **dirigierenden Effekt**.

Mesomerer Effekt (M-Effekt)

Mesomere Effekte sind auf konjugierte Doppel-Bindungs-Systeme beschränkt. Durch überschüssige freie Elektronen(-Paare) werden benachbarte Doppel-Bindungen verschoben.
Die mesomer wirksamen Substituenten verlängern das konjugierte System.
Der **-M-Effekt** tritt auf, wenn der Substituent Elektronen aufnehmen kann. Man spricht auch von einem Elektronen-Akzeptor.
Einen **+M-Effekt** beobachtet man, wenn der Substituent Elektronen abgegeben kann. Er ist praktisch ein Elektronen-Donator.



(**+** … bewirkt Erhöhung der Elektronen-Dichte am Zentrum; **-** … bewirkt Senkung der Elektronen-Dichte am Zentrum)
Die Struktur ist sehr dynamisch und schwankt ständig zwischen den (theoretisch existierenden) mesomeren Grenz-Zuständen.
In der Realität befindet sich die Strukur in einem Zwischen-Zustand.



Definition(en): M-Effekt / mesomerer Effekt
Der mesomere Effekt ist in organischen Molekülen mit konjugierten Doppel-Bindungen eine Verlagerung (Delokalisierung) von freien Elektronen.
Der mesomere Effekt ist die Beeinflussung eines π-Elektronen-System's durch einen Substituenten, der selbst an der Mesomerie teilnimmt. Drückt ein Substituent Elektronen in das π-Elektronen-System, dann erzeugt er ein +M-Effekt. Der Effekt führt zu einer Ladungs-Erhöhung in der mesomeren Grund-Struktur. Werden Elektronen aus dem System gezogen, dann handelt es sich um den -M-Effekt. Dieser Effekt führt zu einer Verringerung der Ladung im der mesomeren Grund-Struktur.
Der M-Effekt beschreibt die Veränderung der Ladungs-Verteilung in einem konjugierten System durch Substituenten.
Nimmt ein Hetero-Atom eine Veränderung der Elektronen-Dichte-Verteilung in einem Mehrfach-Bindungs-System vor, dann sprechen wir von einem mesomeren Effekt.

(c,p) 2009-2026 lsp: dre

	-I-Effekt		+I-Effekt	
	Formel	**Name**	**Formel**	**Name**
nur induktiv	-[NR_3]⊕ -CF_3		-CR_3 -SiR3 -[CO_2]⊖	 Carbonat, Carbonsäure
induktiv und mesomer	-I + -M		+I + +M	
	-CN -CO-R -CO-X -NO_2 -SO_2R	Cyanid Keton Nitro-	-O⊖	
	-I < +M		-I > +M	
	-NR_2 -OR -NHCOR -SR -Ph	 Ether Phosphat	-F -Cl -Br -I	Fluorid Chlorid Bromid Iodid
mesomer	-COOR -COOH -CHO -(CO)R -CN -CH=CH-COOH -NO_2 -SO_3H	Ester Carbonsäure Aldehyd Keton Cyanid	-O⊖ -NH_2 -OH -OR -NH(CO)R -O(CO)R -Aryl, -Phenyl -Br, -Cl -I, -F	 Amin Alkohol Ether Peptid Aromat Halogenide
	-M-Effekt		+M-Effekt	

!!! Reihenfolgen / Abstufungen nicht geprüft oder beachtet!

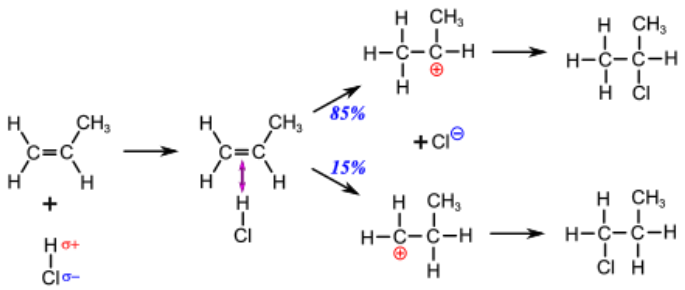
MARKOVNIKOV-Regel

Die elektrophile Addition von unsymmetrischen Reagenzien (angreifenden Stoffen) an unsymmetrischen Alkenen bildet vorrangig solche Isomere, bei denen der elektrophile Teil der Reagenz an dem Doppel-Bindungs-Cohlenstoff-Atom bindet, welches den längeren Alkyl-Rest / den Rest mit mehr Wasserstoff-Atomen enthält.

Die Alkyl-Ketten stabilisieren das temporäre Carbo-Kation und ermöglich damit die Anlagerung des ((partiell) negativ geladenen) Substituenten.

Endständige Carbo-Kationen werden deutlich weniger stabilisert, so dass hier seltener eine Anlagerung passiert.

Sind die +I-Effekte der Substituenten an beiden Seiten der Doppel-Bindung ausreichend verschieden, dann kommt es zur Bildung nur eines Produkt's. Je ähnlicher die +I-Effekte sind, umso gleichmäßiger ist das Isomeren-Gemisch.



Besonders deutlich wird der M-Effekt auch bei der Addition an konjugierten Doppel-Bindungen
Im Vergleich der vollständigen (doppelten) Hydrierung von 1,3-Butadien und 1,4-Pentadien liegt die Hydrierwärme im konjugierten Fall (Butadien) um 8 kJ/mol niedriger als im quasi isolierten Fall (Pentadien)

$H_2C=CH-CH=CH_2 + 2\ H_2 \longrightarrow H_3C-CH_2-CH_2-CH_3$; $\Delta_R H = -239$ kJ/mol
konjugiertes System

$H_2C=CH-CH_2-CH=CH_2 + 2\ H_2 \longrightarrow H_3C-CH_2-CH_2-CH_2-CH_3$; $\Delta_R H = -231$ kJ/mol
nicht konjugiertes System

Das Phänomen wird auch beim Vergleich der Hydrierung von 1,3.Pentadien und 1,4-Pentadien bestätigt:

$H_2C=CH-CH=CH-CH_3 + 2\ H_2 \longrightarrow H_3C-CH_2-CH_2-CH_2-CH_3$; $\Delta_R H = -239$ kJ/mol
konjugiertes System

$H_2C=CH-CH_2-CH=CH_2 + 2\ H_2 \longrightarrow H_3C-CH_2-CH_2-CH_2-CH_3$; $\Delta_R H = -231$ kJ/mol
nicht konjugiertes System

Die Reaktions-Energie hängt also vom Abstand der Doppel-Bindungen ab und nicht (bzw. deutlich weniger) von der Länge des Molekül's. Die Länge der Alkyl-Reste wirkt lediglich dirigierend auf die Anlagerung.

MARKOVNIKOV-Regel: Bei der elektrophilen Addition von Halogenwasserstoffen landet das Wasserstoff-Atom immer an dem C-Atom der Doppelbindung, was am niedrigsten substituiert ist.

??? Reaktionsgeschwindigkeit bei längeren Ketten

besondere Reaktionsfähigkeit allylständiger C-Atome z.B. radikalische Oxidation über Peroxid-Bildung → Europa-Buch "Ernährungslehre" S. 64 bzw. EL-Skript (Fette, chem. E.)

(c,p) 2009-2026 lsp: dre

Nachweis der Doppel-Bindungen

Versuch:

Durchführung:

- *auf 5 ml Ethanol (ersatzweise Brennspiritus) eine Spatelspitze Iod lösen*
- *0,5 bis 1 ml Probe (für Positiv-Nachweis: Pflanzen-Öl) in (schmale) Reagenzgläser geben (für Vergleiche hinsichtlich der Anzahl der Doppel-Bindungen unbedingt auf gleiche Volumen achten)*
- *tropfenweise von der Iod-Lösung dazugeben und Tropfen zählen; solange fortsetzen bis die Entfärbung ausbleibt*





Entsorgung:

- *mit Wasser und Spülmittel in den Ausguss*

Versuch: BAEYER-Probe

Durchführung:

- *(gekühlte) Probe mit BAEYERs-Reagenz (Natriumcarbonat- + Kaliumpermanganat-Lösung) versetzen*



spezielle Varianten:

- *für Wasser-unlösliche Proben kann auch eine ethanolische BAEYER-Reagenz benutzt werden*
- *verwendet man eine Essig-saure Kaliumpermangant-Lösung, dann kommt es beim Vorhandensein von Mehrfach-Bindungen zur Entfärbung der Reagenz*

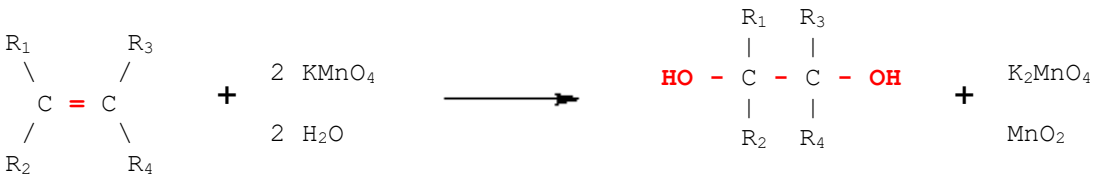


Beobachtung

- *ein brauer Niederschlag (MnO2) zeigt ungesättigte Bindung an*

Entsorgung:

- *mit Wasser und Spülmittel in den Ausguss*

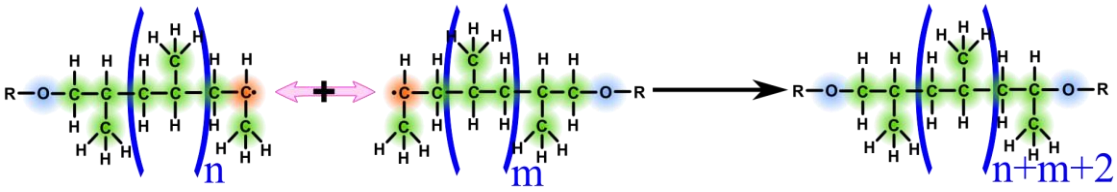


 (c,p) 2009-2026 lsp: dre

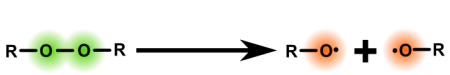
Aufgaben:

1. *Die nachfolgenden Reaktions-Gleichungen mit Darstellung der Polaritäten sind irgendwie durcheinander gekommen. Ordnen Sie diese logisch hintereinander an und erläutern Sie die ablaufenden Vorgänge und Mechanismen!*

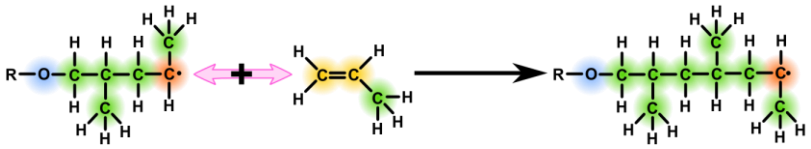
A)



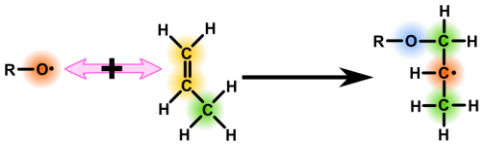
B)



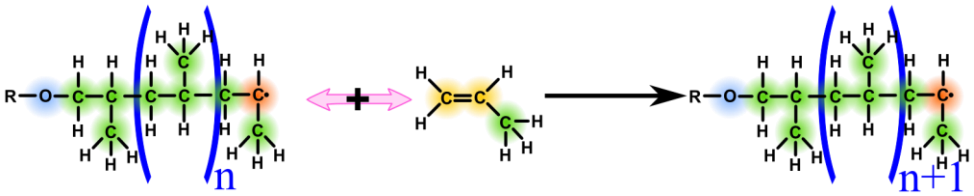
C)



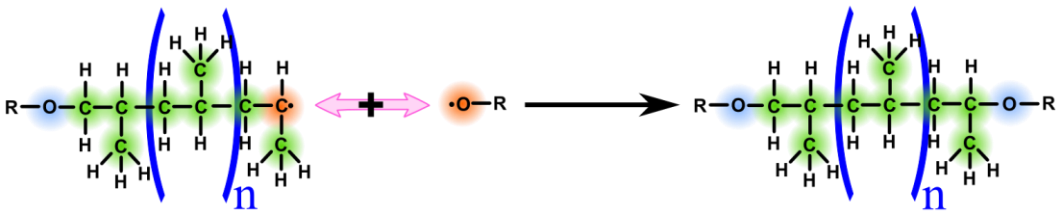
D)



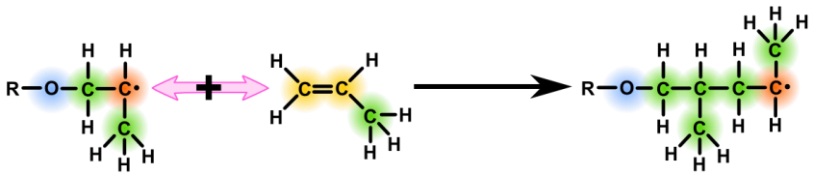
E)



F)



G)



2. *Geben Sie für die folgenden Reaktionen des Ethens die chemischen Gleichungen an! Bestimmen Sie die Reaktions-Typen und begründen Sie Ihre Wahl!*
   - *a) vollständige und unvollständige Verbrennung*
   - *b) Hydrierung und Dehydrierung*
   - *c) Reaktion mit Chlor*

3. Vergleichen Sie die Bromierung von Ethan und Ethen!

<u>für die gehobene Anspruchsebene:</u>

x. Stellen Sie mindestens drei Reaktionsgleichungen auf, in denen n-Dec-3-en pyrolysiert wird! Benennen Sie die gebildeten Stoffe!

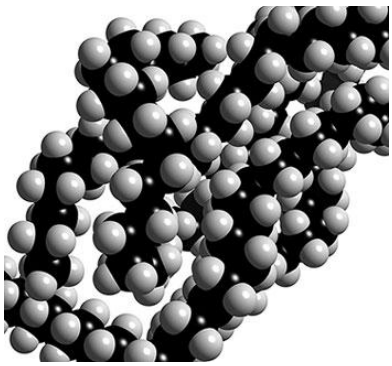
(c,p) 2009-2026 lsp: dre

2.2.1.3. Eigenschaften und Verwendung wichtiger Alkene

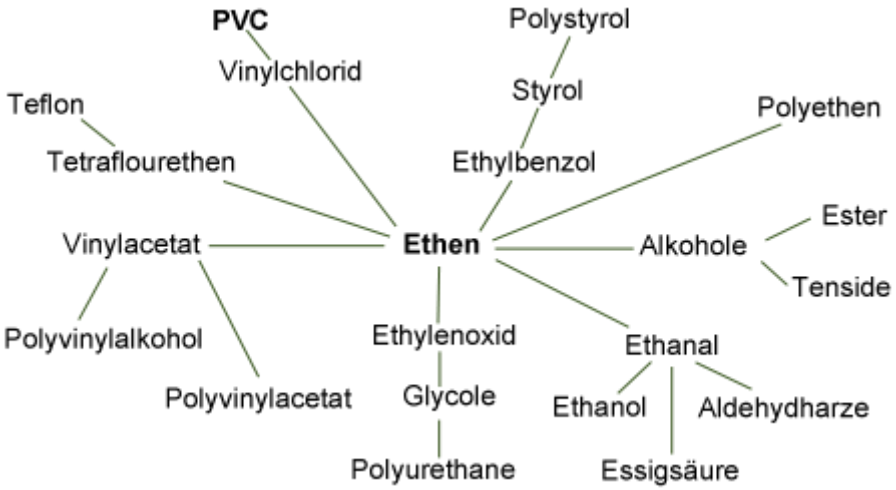
2.2.1.3.1. Ethen

Hormon für viele Pflanzen, spielt große Rolle bei Fruchtreife
Begasung von grünen Bananen (Transportform) kurz vor Umschlag oder Auslieferung

Industrie-Rohstoff für Plaste / Elaste (Polyethen (Polyethylen), PE)



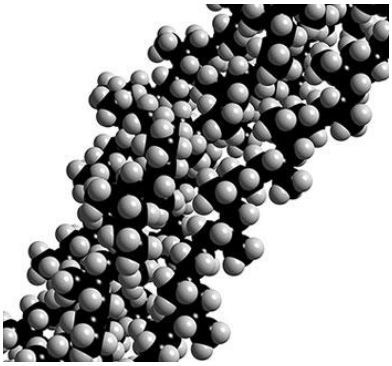
Molekül-Modell einer Polyethylen-Faser
Q: www.3dChem.com



www.chemie-schule.de

2.2.1.3.2. Propen

Industrie-Rohstoff für Plaste / Elaste (Polypropen (Polypropylen), PP)



Molekül-Modell einer Polypropylen-Faser
Q: www.3dChem.com

2.2.1.3.3. Butadien

Industrie-Rohstoff für Plaste / Elaste (Gummi, Kautschuk, …)

	Butan	Butadien
E_A [kJ/mol]	19,7	28,0
$\Delta H°$ [kJ/mol]	3,8	11,7

2.2.1.3.4. Lycopen

Lycopen (Tomate)



Q: www.3dchem.com

(c,p) 2009-2026 lsp: dre

Aufgaben:

1. ***Erstellen Sie einen gestalteten Steckbrief für Ethen oder Butadien!***
2. ***Berechnen Sie jeweils die Massen, Volumen und Stoffmengen der Reaktions-Produkte, die bei der vollständigen Oxidation von 28,1 g Ethen entstehen!***
3. ***Stellen Sie Gleichungen für die folgenden Reaktionen und bestimmen Sie jeweils auch den Reaktions-Typ:***
   a) Reaktion von Ethen mit Brom
   b) Reaktion von Ethen mit Chlorwasserstoff
   c) Reaktion von Ethen mit Wasser(-Dampf)
4. ***Bei der Thermolyse von 10 ml eines Kohlenwasserstoff's mit einer Norm-Dichte von 2,5 g/l werden 40 ml Wasserstoff gebildet. Ermitteln Sie die Summen-Formel des untersuchten Stoff's und geben Sie mögliche Struktur-Formeln an!***

(c,p) 2009-2026 lsp: dre

2.2.2. Alkine

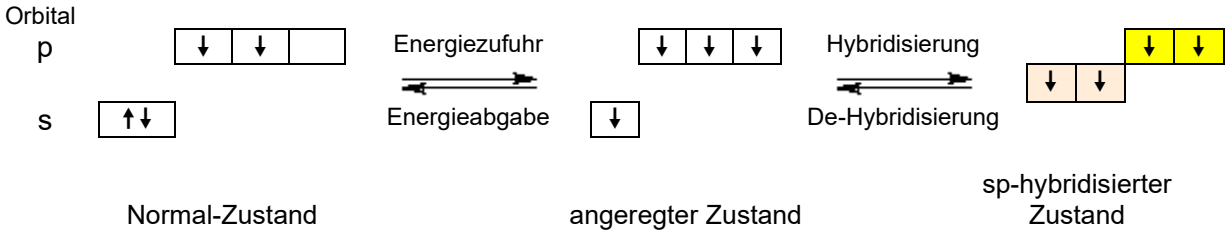
Problem-Fragen für Selbstorganisiertes Lernen
Ein verbotene(!!!) Angel-Methode verwendet verschlossene Glasflaschen, die etwas Carbid enthalten und kurz vor dem Wurf in den See mit etwas Wasser befüllt wurden. Was passiert dann? Warum ist diese Methode verboten?

Kohlenwasserstoffe mit einer Dreifach-Bindung (Alkine) spielen in Biologie und Ernährungslehre eher eine untergeordnete Rolle. Da wir aber auch ab und zu auf so eine Bindung treffen, wollen wir die Alkine – auch wegen der Vollständigkeit - hier ganz kurz behandeln.

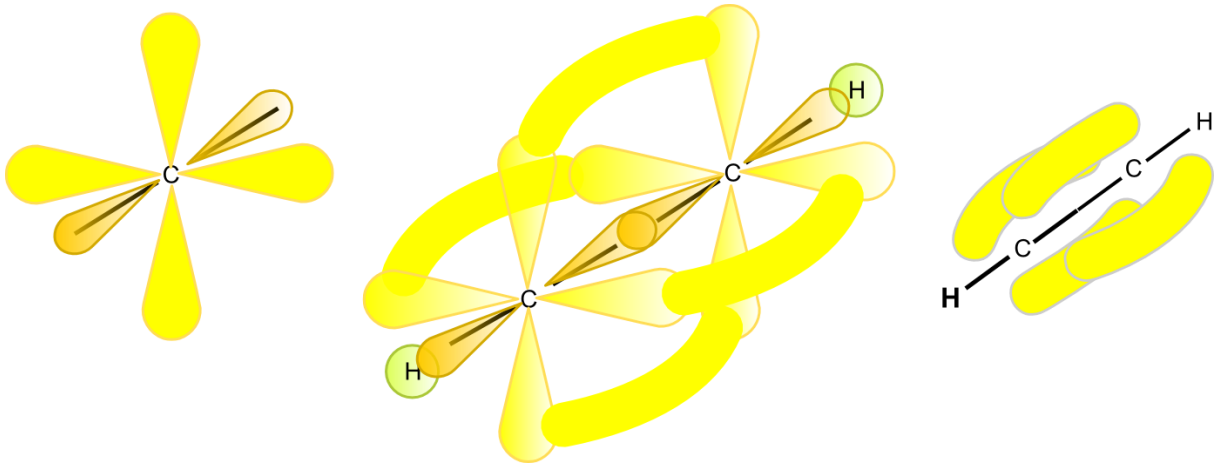
Definition(en): Alkine
Alkine sind Cohlenwasserstoffe, die zwischen den Cohlenstoff-Atomen außer den üblichen Einfach-Bindungen über (mindestens) eine Dreifach-Bindung verfügen.
Alkine sind Cohlenwasserstoffe, die sich erst durch eine doppelte Hydrierung an einer C-C-Bindung sättigen lassen.

2.2.2.1. Bau, Struktur und Benennung der Alkine

Die Dreifachbindung basiert auf sp-hybridisierten C-Atomen, die quasi eine σ-Bindung ("normale Einfachbindung") und zwei π-Bindungen zwischen sich aufrechterhalten.



Das Ergebnis ist eine lineare Struktur, die jeweils nur noch eine Bindungsmöglichkeit zu einem anderen Atom zuläßt.



Die beiden "Bananen-Bindungen" (π-Bindungen) liegen um 90 ° gedreht – senkrecht aufeinander – um die σ-Bindung herum. Eine Drehung um diese Bindung selbst ist nicht möglich, wohl aber um die anderseitige Einfach-Bindung.
Alkine besitzten die allgemeine Formel $\mathbf{C_nH_{2n-2}}$. Die Endung an den Stammnamen ist das **–in**.
Der wichtigste Vertreter ist das Ethin (Äthin, Azetylen), das z.B. bei der Reaktion von Calciumcarbid mit Wasser entsteht.

$$CaC_2 + 2\,H_2O \longrightarrow HC \equiv CH\uparrow + Ca(OH)_2 \quad ; \Delta_R H = -146\ kJ / mol$$

Reaktion von Carbid mit Wasser

Durchführung:



- ein Erbsen-großes Stück Calciumcarbid in ein verschlossenes Reagenzglas mit Ableitung geben und 2 – 3 ml Wasser daraufgeben
- entweder Gas pneumatisch (Kochsalz-Lösung) auffangen oder über eine Rückschlag-gesicherte (Draht-Geflecht in der Glas-Düse) Glasrohr-Düse abgebrannt werden

Ethin wird vorrangig als Synthese-Gas (80 %) und als Brennstoff verwendet. In kleinen Schmieden und Schweißereien stehen kleine Gasentwickler, in deren Druckkörper vorsichtig festes Carbid in Wasser getaucht wird. Das gebildete Gas wird zum Schweißen (Azetylen-Schweißen) verwendet. Eine andere Verwendung sind die Karbid-Lampen, die Bergleute früher mit in die Stollen genommen haben. Bis in die 50er Jahre des letzten Jahrhunderts wurde Ethin im Gemisch mit 60 % Sauerstoff als Narkosegas (Handelsname: Narcylen) verwendet.
Heute wird das Gas auch in Stahlflaschen angeliefert.

Die Bindungs-Enthalpie einer C-C-Dreifach-Bindung mit 839 kJ/mol ist geringer als das Dreifache einer C-C-Einfach-Bindung (3x 348 kJ/mol = 1'044 kJ/mol). Mit anderen Worten, sie ist sehr reaktiv.

(c,p) 2009-2026 lsp: dre

Bindung	Bindungs-Energie ΔH [kJ/mol]	Bindungs-Länge d [pm]
C – C	348	154
C = C	614	134
C ≡ C	839	120
Cl – Cl	242	199
Br – Br	183	228

Bindung	Bindungs-Energie ΔH [kJ/mol]	Bindungs-Länge d [pm]
C – H	413	108
C – Cl	339	177
C – Br	285	194
H – Cl	431	128
H – Br	366	141

Aufgaben:

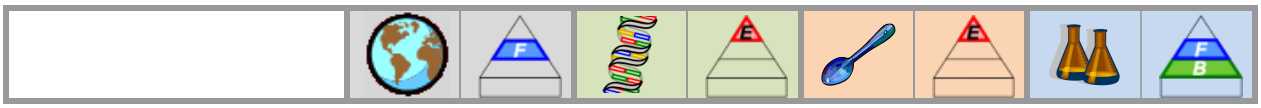
1. *Erstellen Sie eine Tabelle der ersten fünf Mitglieder der homologen Reihe der n-Alkine! Nehmen Sie auch die vollständige, verkürzte und die Gitter-Struktur-Formeln in die Tabelle auf!*
2. *Bauen Sie Modell von Propin mit Hilfe eines Molekül-Baukastens! Prüfen Sie die Beweglichkeit der einzelnen C-Bindungen untereinander!*
3. *Geben Sie für Pentin alle Struktur-Isomere an! Benennen Sie die einzelnen Strukturen!*

für die gehobene Anspruchsebene:

4. *Bestimmen Sie die Hybridisierungen für alle C-Atome in Hexa-3,4-dien-1-in!*

(c,p) 2009-2026 lsp: dre

2.2.2.2. Eigenschaften der Alkine



Die Alkine unterscheiden sich in ihren Eigenschaften nicht so sehr von den Alkenen.

Anzahl C-A.	Name	Summen-formel	Fp [°C]	Kp [°C]	Aggregat-zustand	Geruch
2	Ethin	C_2H_4	-81	*	gasförmig	schw. süßl.
3	Propin	C_3H_6	-103	-23	gasförmig	
4	But-1-in	C_4H_8	-126	+8	gasförmig	
5	Pent-1-in	C_5H_{10}	-106	+40	flüssig	
6	Hexin	C_6H_{12}				
7	Heptin	C_7H_{14}				
8	Octin	C_8H_{16}				
9	Nonin	C_9H_{18}				
10	Decin	$C_{10}H_{20}$				
11	Undecin	$C_{11}H_{22}$				
12	Dodecin	$C_{12}H_{24}$				
13	Tridecin	$C_{13}H_{26}$				
14	Tetradecin	$C_{14}H_{28}$				
15	Pentadecin	$C_{15}H_{30}$				
16	Hexadecin	$C_{16}H_{34}$				
17	Heptadecin	$C_{17}H_{34}$				
18	Octadecin	$C_{18}H_{36}$				
20	Eicosin	$C_{20}H_{40}$				
60	Hexacontin	$C_{60}H_{120}$				

+) im Vakuum bei 20 mbar; → bei Normaldruck vorher zersetzlich
* … sublimiert

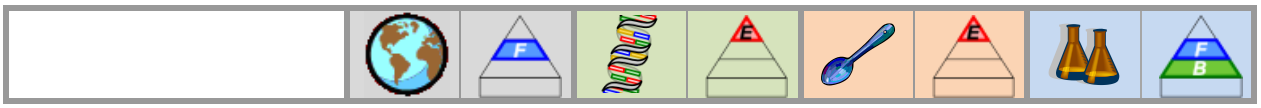
Ethin löst sich in Wasser, Dreifach-Bindung ist lokal sehr Elektronen-reich und damit ist das Molekül polar
Will man Ethin bei der Darstellung pneumatisch auffangen, dann verwendet man eine gesättigte Kochsalz-Lösung als Sperr-Flüssigkeit, in dieser löst sich deutlich weniger Ethin als im reinen Wasser

Ethin und Wasser

Durchführung:

- *in ein mit Ethin gefülltes Reagenzglas werden 2 – 3 ml Wasser gefüllt, wieder mit einem Stopfen verschlossen und kräftig geschüttelt*
- *alternativ: Ethin wird durch eine – mit Wasser gefüllte – Waschflasche durchgeleitet*
- *das Wasser wird dann mit Unitest-Papier oder einem Tropfen Unitest-Lösung geprüft*

2.2.2.2.1. chemische Eigenschaften – Reaktionen der Alkine



Im Prinzip kommt es bei Alkinen nur zu elektrophilen Additionen. So führt z.B. die Hydrierung (Addition von Wasserstoff) zuerst zu Alkenen:

$$HC \equiv CH + H_2 \longrightarrow H_2C = CH_2$$

In einem weiteren Schritt kommt es durch eine weitere Wasserstoff-Anlagerung dann zur Bildung eines Alkan's.
Mit Halogenen oder Halogenwasserstoff reagieren Alkine direkt durch zu Halogen-Alkanen, da auch die zwischenzeitlich erhaltene Doppelbindung ebenfalls nucleophil ist und somit einen weiteren elektrophilen Angriff (→ A_E-Mechanismus) offen gegenüber steht:

$$HC \equiv CH + 2\,HCl \longrightarrow H_2C = CHCl + HCl \longrightarrow ClH_2C - CH_2Cl$$

$$HC \equiv CH + 2\,Cl_2 \longrightarrow ClHC = CHCl + Cl_2 \longrightarrow Cl_2HC - CHCl_2$$

Bei der Verbrennung von gasförmigen Alkinen treten unter guter Frischluft- oder Sauerstoff-Zufuhr sehr heiße Flammen (bis 3200 °C) auf:

$$HC \equiv CH + 2\tfrac{1}{2}\,O_2 \longrightarrow 2\,CO_2 + H_2O \quad ; \Delta_R H = -\ kJ / mol$$

Die Verbrennung entspricht einer vollständigen Oxidation. Dies ist praktisch auch eine Redoxreaktion – also eine Reaktion mit Elektronen-Übergang.
Oxidationen und Reduktionen können wir sehr schön mit Hilfe der Oxidations-Zahlen verfolgen und bestimmen. Bei organischen Stoffen kommen neben den üblichen Regeln für die Festlegung einer Oxidationszahl (Abk.: OZ) noch eine spezielle Regel dazu. Zur Berechnung der einzelnen Oxidationszahlen werden immer die C-Atome einzeln betrachtet. Die Summe muss dann ±0 bzw. die Ladung eines ev. Ion's ergeben. Insgesamt gelten die Regeln in ihrer Reihenfolge.

$$\overset{+1-1}{H}C \equiv \overset{-1+1}{C}H + \overset{\pm 0}{2\tfrac{1}{2}\,O_2} \longrightarrow \overset{+4-2}{2\,CO_2} + \overset{+1\,-2}{H_2O}$$

Für Wasserstoff ändert sich in unserem Beispiel keine OZ. Damit fällt aus weiteren Betrachtungen heraus.
Der Cohlenstoff hatte im Ethin die OZ -1 und im Cohlendioxid die +4. Wären diese C-Atome nun Ionen – wie es das Oxidationszahlen-Modell annimmt, dann müsste das Cohlenstoff insgesamt 5 Elektronen abgeben haben. Die Elektronenabgabe entspricht der Oxidation – einer der Teilreaktionen bei einer Redoxreaktion.

$$\overset{-1}{H}C \equiv \overset{}{C}H \longrightarrow \overset{+4}{2\,CO_2} + 10\,e^- \quad | \quad \textbf{Elektronenabgabe Oxidation}$$

Da für Sauerstoff eine Veränderung von ±0 zu -2 zu verzeichnen ist, können wir hier die Reduktion (Elektronen-Aufnahme) zuordnen:

$$O + 2\,e^- \longrightarrow O^{2-}$$

Nun muss noch die Stöchiometrie mit beachtet werden: für einmal Ethin mit zwei C-Atomen ermittelten wir eine Abgabe von insgesamt 10 Elektronen.

(c,p) 2009-2026 lsp: dre

Genau 10 Elektronen werden auch gebraucht, um insgesamt fünf Sauerstoff-Atome (aus 2½ Sauerstoff-Molekülen) mit jeweils zwei Elektronen zu versorgen.
Hierfür lässt sich auch eine Teilgleichung aufstellen:

$$2½\ O_2 + 10\ e^- \longrightarrow 10\ O^{2-}$$

Elektronenaufnahme
Reduktion

Neben der vollständigen gibt es auch die teilweise oder unvollständige Oxidation. Eine Möglichkeit wäre eine Verbrennung mit Sauerstoff-Mangel. Eine andere dass der Sauerstoff aus irgendwelchen Verbindungen genutzt wird. Sachlich können aber auch andere Redoxreaktionen (mit anderen Stoffen) gemeint sein, wenn von einer (unvollständigen) Oxidation die Rede ist.
Ein gutes Beispiel für eine Redoxreaktion ist die Reaktion von Mehrfachbindungen mit BAEYER's Reagenz.

Nachweis von Mehrfachbindungen mittels BAEYERscher Probe / BAEYERschem Test:



In der Test-Lösung (BAEYERs Reagenz; BAEYER-Reagenz) ist neben Kaliumpermanganat (K_2MnO_4) noch Natriumcarbonat (Na_2CO_3) in wässriger Lösung enthalten. Bei Anwesenheit von Mehrfachbindungen kommt es zur Ausfällung von Braunstein (Mn_2O).

$$| \quad HC \equiv CH + \underset{\text{(violett)}}{K_2MnO_4} + H_2O \longrightarrow \underset{\substack{\text{Acetat-Ion} \\ \text{(Säurerest-Ion der Essigsäure)}}}{H_3C - COO^-} + K^+ + \underset{\text{(braun)}}{Mn_2O\downarrow} \quad |$$

Bei Doppelbindungen führt die Oxidation nur bis zum Diol (zweiwertiger Alkohol):

$$| \quad H_2C = CH_2 + K_2MnO_4 + H_2O \longrightarrow \underset{\text{Ethandiol}}{HO - H_2C - CH_2 - OH} + K^+ + Mn_2O \quad |$$

Mittels einer geeichten Lösung (Maß-Lösung) und einer eingemessenen (Masse od. Volumen) Probe kann auch eine quantitative Bestimmung erfolgen. Dazu muss der Verbrauch an BAEYERs Reagenz bis zur ausbleibenden Verfärbung (des Kaliumpermanganat's) genau verfolgt werden.
Natriumcarbonat hat in diesem Test Puffer-Funktion. D.h. es hält den pH-Wert relativ konstant. Führt man die BAEYERsche Probe im sauren Milieu durch, dann kommt es nur zur Entfärbung des Kaliumpermanganat's.

$$| \quad HC \equiv CH + K_2MnO_4 + H^+ + H_2O \longrightarrow H_3C - COO^- + K^+ + \underset{\text{(farblos)}}{Mn^{2+}} \quad |$$

Zur Untersuchung wasserunlöslicher Proben wird eine alkoholische Kaliumpermanganat-Lösung verwendet.
Wenn man Ethin durch eine ammoniakalische Silbernitrat-Lösung leitet, dann fallen in der Lösung weiße Kristalle von Silberacid (Silberacetylid) aus:

$$2\ [Ag(NH_3)_2]^+ + H\text{-}C{\equiv}C\text{-}H \longrightarrow Ag_2C_2\downarrow + 2\ NH_4^+$$

Die Kristalle bestehen aus Silber-Ionen und Acetylid-Ionen (C_2^{2-}). Im getrockneten Zustand reagieren die Kristalle bei Schlag oder Erwärmung explosiv (Spreng-Silber).

(c,p) 2009-2026 lsp: dre

Aufgaben

1. Stellen Sie für die Reaktionen von Propin mit:

a) (viel) Sauerstoff
b) weniger Sauerstoff
c) Chlor
d) Wasserstoff
e) Chlorwasserstoff
f) Bromwasserstoff

die Reaktions-Gleichungen auf und bestimmen Sie jeweils den Reaktions-Typ!

2. Geben Sie für die Reaktion von Butin mit Brom den Reaktions-Mechanismus an!

3. Kennzeichen Sie im Reaktions-Mechanismus mit Hilfe von Buntstiften (ersatzweise Textmarkern) die Ladungs-Verhältnisse, die zu den einzelnen Reaktions-Schritten führen!

4. Beschreiben Sie mit eigenen Worten den Ablauf des Reaktions-Mechanismus!

für die gehobene Anspruchsebene:

5. Um welche Art von chemischer Reaktion (Säure-Base- oder Redox-Reaktion) handelt es sich bei der Reaktion von Ethin mit ammoniakischer Silbernitrat-Lösung? Begründen Sie Ihre Meinung!

(c,p) 2009-2026 lsp: dre

2.2.2.3. Eigenschaften und Verwendung wichtiger Alkine

2.2.2.3.1. Ethin

Azethylen, Acethylen
brennbar
mit Luft explosive Gasgemische
mit reinem Sauerstoff können sehr heiße, wenig rußende Flammen erzeugt werden → Schweißbrenner; Temperaturen bis zu 3.000 °C möglich
Rohstoff für Plaste (PVC, Polystyren (Polystyrol), Plexiglas, Kunstkautschuk, …)



Molekül-Modell von Ethin
Q: www.3dChem.com

zur Vermeidung von möglichen Explosionen und der steigenden Selbstzersetzung wird reines Ethin mit max. 15 bar in Stahl-Flaschen abgefüllt

verwendet man in den Stahl-Flaschen Aceton als Lösungsmittel und eine poröse Füllmasse (Kieselgel), dann wird so viel Ethin in den Flaschen untergebracht, wie in einer theoretisch mit 200 bar gefüllten Druck-Flasche. Dieses – so sicher handhabbare Ethin – wird auch Dissous-Gas genannt

Die Volumen-Vergrößerung bei der Explosion eines Ethin-Luft-Gemisches kann zwischen 2,5 und 80 Prozent liegen.

Ethin ist auch deshalb von herausragender Bedeutung, weil es sich aus Stoffen produzieren lässt, die nicht organischer Herkunft sind, damit wird und ist eine organische Chemie auch für Länder ohne Erdöl möglich
z.T. auch schon gut großtechnisch realisiert, z.B. im Dritten Reich, da Deutschland und später nach dem II. Weltkrieg auch die DDR mit wenig Erdöl auskommen mussten

Herstellung von Calciumcarbid: aus Löschkalk und Koks im Lichtbogen-Ofen

$$CaO + 3\,C \longrightarrow CaC_2 + CO\uparrow$$

Herstellung von Ethin

$$CaC_2 + H_2O \longrightarrow C_2H_2\uparrow + Ca(OH)_2$$

so hergestelltes Ethin riecht wegen diverser Nebenprodukte (versch. Phosphine) Knoblauch-artig

Weiterhin kann aus Erdgas (Methan) im sogenannten Lichtbogen-Verfahren Ethin hergestellt werden. Dabei wird das Methan kurzzeitig auf 1'400 °C erhitzt, Das Methan reagiert dann unter Freisetzung (Eleminierung) von Wasserstoff zu Ethin

$$2\,CH_4 \xrightarrow{1400\ °C} C_2H_2 + 3\,H_2 \quad ; \Delta_R H = +398\ kJ / mol$$

Das gebildete Gas-Gemisch wird zur Stabilisierung des Ethin's mit kaltem Wasser abgeschreckt.

(c,p) 2009-2026 lsp: dre

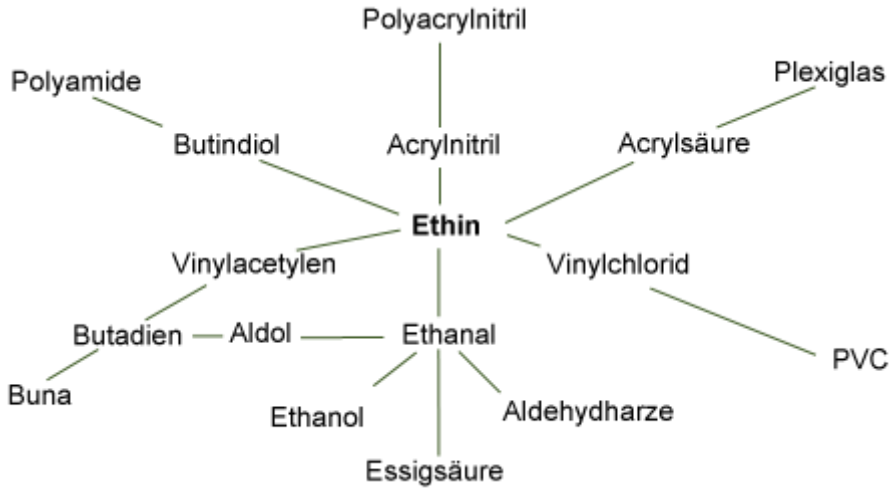
Auch Methan-Luft-Gemische lassen sich im Lichtbogen umsetzen:

$$4\ CH_4 + 3\ O_2 \longrightarrow 2\ C_2H_2 + 6\ H_2O \quad ; \Delta_R H = +\ ???\ kJ / mol$$

in einem sehr neuen Verfahren (2010) geht man von einem Koks-Kunststoffabfall-Gemisch als C-Quelle aus, damit ist ein Recycling von Kunststoff-Abfällen möglich und damit Wiedereinbringung in die organische Chemie und nicht nur Nutzung als Energie-Quelle (Verbrennung)

Bindung	Hybridisierung	Bindungs-Länge [pm]	Bindungs-Energie [kJ / mol]	Bindungs-Winkel [°]	Molekül-Geometrie
C – C	sp^3	154	348	109,47	tetraedrisch
C = C	sp^2	135	614	120	trigonal-planar
C ≡ C	sp	120	839	180	linear

In der chemischen Industrie ist Ethin ein häufig verwendeter Rohstoff. Das folgende Schema zeigt die vielseitigen Umsetzungs-Möglichkeiten:



www.chemie-schule.de

Exkurs: Festlegung von Oxidationszahlen

Die Oxidationszahl (Abk. OZ) ist ein Modell der Chemie, dass fiktiv davon ausgeht, dass jeder Stoff (außer Elementen) aus Ionen aufgebaut ist. Die Oxidationzahl entspricht der fiktiven Ladung dieser Ionen.
Oxidationszahlen werden als arabische Ziffern mit vorrangestellten Ladungssinn aufgeschrieben. Für Null wird zusätzlich die Kennung plus-mins (±) angegeben. (In älterer Literatur findet man auch römische Zahlen.)
Die nachfolgenden Regeln zur Bildung / Berechnung von Oxidationszahlen müssen im Zweifelsfall in der angegebenen Reihenfolge beachtet werden. Die obersten Regeln haben die höchste Priorität.

Haupt-Regeln:
1. Elemente bzw. Atome im elementaren Zustand (z.B. O_2, P_4, S_8) erhalten die OZ: ± 0
2. einatomige Ionen erhalten immer die Ionenladung als OZ
3. die Summe der Oxidationszahlen muss bei zusammengesetzten Ionen oder Molekülen die Ladung des Teilchens ergeben
4. bei Formeln, die wegen des kovalenten Charakters der Bindungen mit Valenzstrichen geschrieben werden, sollen die einzelnen Bindungen den Atomen entprechend der Elektronegativität verteilt werden, so dass formal Ionen entstehen

Hilfs-Regeln:
1. Fluor (in Verbindungen) erhält stets die OZ: -1
2. Wasserstoff erhält (in Verbindungen) normalerweise die OZ: +1
   (Ausnahme: in Metallhydriden: -1)
3. Sauerstoff erhält (in Verbindungen) normalerweise die OZ: -2
   (Ausnahmen: in Peroxiden: -1; bei Fluor-Sauersoff-Verbindungen: +2; in Hyperoxiden: -½)
4. alle Metalle, Bor und Silicium erhalten in Verbindungen positive Oxidationszahlen, die zahlenmäßig dem Wert des Ion's entspricht
5. in organischen verbindungen wird jedes C-Atom mit seinen Substituenten (außer C) separat betrachtet
6. die OZ kann maximal den Zahlenwert der Haupt- od. Nebengruppen-Nummer des Elementes ergeben

Definition(en): Oxidations-Zahl

Die Oxidationszahl beschreibt modellhaft die Ladung eines Atoms in einem Molekül oder einer Bau-Einheit, wenn man annimmt, das Molekül bzw. die Bau-Einheit wäre aus Ionen aufgebaut.

Die Oxidationszahl ist die formale Ladung, die ein Atom innerhalb einer Verbindung (unter Beachtung der Ladungszuordnung entsprechend der Elektronegativität) haben würde.

Definition(en): Oxidation (im Sinne der Redox-Reaktion)

Eine Oxidation ist eine chemische Reaktion bei der ein Atom (aus einer Verbindung oder eines Elementes) Elektronen aufnimmt.

Die Oxidation ist die Teilreaktion einer Redox-Reaktion, bei der sich die Oxidations-Zahl eines Atoms erhöht.

(c,p) 2009-2026 lsp: dre

Definition(en):Reduktion (im Sinne der Redox-Reaktion)
Eine Reduktion ist eine chemische Reaktion bei der ein Atom (aus einer Verbindung oder eines Elementes) Elektronen abgibt.
Die Reduktion ist die Teilreaktion einer Redox-Reaktion, bei der sich die Oxidations-Zahl eines Atoms erniedrigt.

Definition(en): Redox-Reaktion
Eine Redox-Reaktion ist eine chemische Reaktion bei der Elektronen von einem Element auf ein anderes Element übertragen werden.
Redox-Reaktionen sind (chemische) Reaktionen mit einem Elektronen-Übergang.
Redox-Reaktionen sind chemische Reaktionen, bei denen die Teilreaktionen Oxidation und Reduktion gemeinsam ablaufen.
Redox-Reaktionen sind chemische Reaktionen mit zwei entgegengesetzten Veränderungen der Oxidationszahlen (eines oder mehrerer Atome).

Definition(en): korrespondierendes / konjugiertes Redox-Paar / Redox-System
Ein korrespondierendes (auch: konjugiertes) Redox-Paar sind ein Reduktions-Mittel und eine Oxidations-Mittel, die durch einen Elektronen-Übergang ineinander übergehen. Das Reduktions-Mittel wird durch Elektronen-Abgabe zum Oxidations-Mittel. Ein Oxidations-Mittel wird durch Elektronen-Aufnahme zum Reduktions-Mittel.
Ein korrespondierendes Redox-Paar sind zwei Stoffe, die sich durch Elektronen-Übergang ineinander umwandeln können.

Definition(en): Oxidations-Mittel
Ein Oxidations-Mittel ist ein Stoff (Atom oder Atom-Gruppe), der bei Elektronen aufnimmt.
Das Oxidations-Mittel ist der Stoff, der in einer Redox-Reaktion (selbst) reduziert wird.
Ein Oxidations-Mittel bewirkt bei einem anderen Stoff die Elektronen-Abgabe.
Das Oxidationsmittel ist der Stoff, dessen Oxidationszahl während der Reaktion kleiner wird.

Definition(en): Reduktions-Mittel
Ein Reduktions-Mittel ist ein Stoff (Atom oder Atom-Gruppe), der bei Elektronen abgibt.
Das Reduktions-Mittel ist der Stoff, der in einer Redox-Reaktion (selbst) oxidiert wird.
Ein Reduktions-Mittel bewirkt bei einem anderen Stoff die Elektronen-Aufnahme.
Das Reduktionsmittel ist der Stoff, dessen Oxidationszahl während der Reaktion größer wird.

(c,p) 2009-2026 lsp: dre

Aufgaben:

1. ***Bestimmen Sie die Oxidationszahlen in den folgenden Stoffen für jede Atom-Art!***

   Al O_2 MgO $AlCl_3$ Na^+ Br^- OH^- H_3O^+ SO_3^{2-} NO_2^- HCO_3^- H_2O_2
   C CH_4 $H_3C\text{-}CH_2OH$ $H_3C\text{-}COOH$ $H_3C\text{-}CH_2\text{-}CH{=}CH\text{-}CH_2\text{-}CHO$ $Cl_2CH\text{-}CH_2Br$
   $(CH_3\text{-}CH_2\text{-}COO)_2Mg$

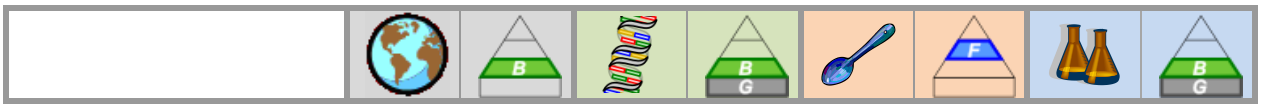
2. ***Stellen Sie die chemische Gleichung für die Verbrennung von Schwefel zu Schwefeldioxid auf! Prüfen Sie, ob es sich um eine Oxidation im Sinne einer Redox-Reaktion handelt! Begründen Sie Ihre Meinung!***
3. ***Stellen Sie die Reaktionsgleichung für die Reaktion von n-Hex-2-en mit Wasserstoff auf! Prüfen Sie, ob es sich um eine Reduktion im Sinne einer Redox-Reaktion handelt! Begründen Sie Ihre Meinung!***
4. ***Prüfen Sie, ob die vollständige und die teilweise Verbrennung (Oxidation) von Cohlenstoff (Ruß) Oxidationen im Sinne der Redox-Reaktionen sind!***
5. ***Die nachfolgende Reaktion soll eine Redox-Reaktion sein, stimmt das? Begründen Sie Ihre Meinung!***

   Reaktion von Ethin mit Brom
6. ***Prüfen Sie, ob die folgenden (typisch organischen) Reaktionen auch als Redox-Reaktionen gefasst werden können!***

   a) Propan mit Chlor zu 1-Chlorpropan und Chlorwasserstoff
   b) Ethen mit Wasserstoff
   c) katalytische Addition von Wasser an Ethen
7. ***Lösen Sie das folgende Mosaik! (Kopieren Sie sich die Seite oder drucken sie farbig aus! Schneiden Sie die Quadrate einzeln aus! Es sollte wieder eine Din A4-Seite rauskommen. Es gibt mehrere mögliche Lösungen.)***

Chemie-Spiel
KWS und ihre
Reaktionen
Methan
Wasserstoff
Tetra
(c) 2025 lern-soft-projekt: dre
Ethan
Propan
Butan
Pentan
Decan
Hexan
Heptan
Octan
Nonan
Ethin
1,8-Dichlor-3-methyloctan
cis-Dichlorethen
1,2,3-Trichlorhexan
cyclo-Hexan
1-Bromdecan + HBr
Addition von Brom an Ethin
Butan + Chlor
Decan + Br2
Pent-1-in
bildet mit Sauerstoff
ein Knallgas
thermisches Cracken:
Propen + Brom
trans-But-2-en
cis-But-2-en
trans-Dichlorethen
Buten + Chlorwasser-
stoff
1-Chlorbutan
Methylbutan
kleinstes Alken

2.2.3. Aromaten - Arene



Praxis-Bezug

Aromaten in der organischen Chemie (wie z.B. Benzen, Toluen, Styren, …) haben chemisch nichts mit Aroma-Stoffen (wie z.B. Erbeer-Aroma, Vanillin, …) aus dem Bereich der Ernährung und Kosmetik.
Aroma-Stoffe haben wie Aromaten zwar charakteristische Gerüche, chemisch sind Aromaten auf Benzen basierend, während Aroma-Stoffe aus vielen (chemischen) Stoffgruppen (z.B. Aldehyde, Ester, …) stammen.
Bei Aromaten basiert das Aromatische auf speziellen C-C-Strukturen und wir bleiben im Bereich der Kohlenwasserstoffe. Aroma-Stoffe sind durch diverse – sogenannte funktionelle – Gruppen charakterisiert. Einige davon stellen wir im Skript 🕮 **organische Chemie 2 - Derivate** vor. Funktionelle Gruppen sind Atom-Gruppen (mit von Cohlenstoff und Wasserstoff abweichender Zusammensetzung), die die chemischen Eigenschaften der Gruppen bestimmen.

Problem-Fragen für Selbstorganisiertes Lernen

Welches Aroma haben Aromaten?
Wie ist der Begriff entstanden?

Wodurch sind Aromaten gekennzeichnet?
Was versteht man in der organischen Chemie unter einem Aromaten?
Wie lange hat es gedauert, bis man die besondere Struktur der Aromaten aufgeklärt hat und unser heutiges Modell für den aromatischen Zustand entstanden ist?

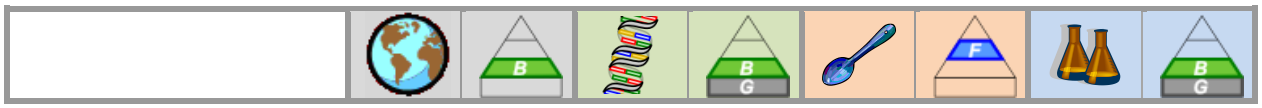
Gibt es Aromaten, die auch (für Ernährungs-Zwecke genutzte) Aroma-Stoffe sind?

(c,p) 2009-2026 lsp: dre

Ursprünglich wurde der Begriff Aromat für aus Pflanzen gewonnene organische Stoffe mit "aromatischen" Geruch benutzt. In Mitte des 19. Jahrhunderts meinte man dann immer mehr die Stoffe aus dem Steinkohle-Teer, die sich ebenfalls durch besondere "aromatische" Gerüche auszeichneten. Jetzt waren es nicht mehr ätherische Gerüche, sondern eher Benzin-ähnliche, die man hierunter verstand. Im 20. Jahrhundert kamen dann – mit der verstärkten Erdöl-Destillation – weitere Stoffe dazu, die aus dem Teer und verschiedenen Rückständen (z.B. Bitumen) extrahiert wurden.
Heute sind mit Aromaten Stoffe gemeint, die sich vom Benzen ableiten. Dazu gehören auch seine Derivate und viele der sogenannten Heterozyklen (→ 3.2.8. sauerstoffhaltige Heterocyclen + 3.3.3. stickstoffhaltige Heterocyclen).

Definition(en): Arene / Aromaten
Arene / Aromaten sind zyklische Cohlenwasserstoffe, die sich durch abweichendes chemisches Verhalten von üblichen Alkenen unterscheiden.

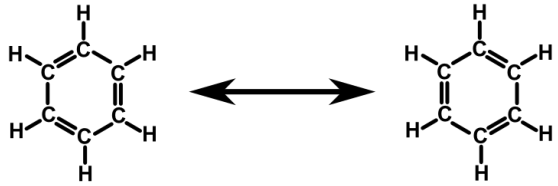
2.2.3.1. Bau, Struktur und Benennung der Aromaten

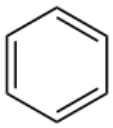


Bleiben wir erst aber einmal beim **Benzen** (veralt.: Benzol). Hieran lassen sich die wesentlichen Struktur- und Verhaltens-Merkmale am einfachsten erläutern. Der alte Name **Benzol** leitete sich wohl aus dem arabischen "luban dschawi" für "Weihrauch aus Java" ab.
Benzen wurde erstmals von Michael FARADAY (1791 – 1867) im Jahre 1825 isoliert und "Benzin" genannt. Als Rohstoff verwendete Leuchtgas, welches er durch Erhitzen von Wal-Öl erhielt. Er ordnete die intensiv riechende Substanz den "aromatischen Verbindungen" zu. FARADAY beschrieb auch schon das auffällige C-H-Verhältnis von 1:1. Mit seiner Summenformel C_6H_6 entspricht es einem cyclischen Trien. In den chemischen Eigenschaften müsste es sich also weitgehend wie ein kettenförmiges Trien verhalten. Praktisch weichen aber die meisten Eigenschaften deutlich von diesem ab. Z.B. kommt es nicht zur Addition von Bromwasserstoff.
Den lange gültigen Namen "Benzol" erhielt die Verbindung 1834 von Justus VON LIEBIG. Bei diesem Namen würde man heute eher auf einen Alkohol tippen. Diese haben die offizielle Namens-Endung -ol. Proaktisch ist Benzen aber eben ein Alken, wenn auch ein ganz besonderes. Die IUPAC – die Namens-Gebungs-Vereinigung der Chemie – emphielt seit vielen Jahren den Namen Benzen. (Aber alte Zöpfe lassen sich eben nicht so einfach abtrennen.)
Für die Summenformel C_6H_6 sind über 200 verschiedene Struktur-Möglichkeiten (Isomere) denkbar.

Aufgabe:
Wieviele theoretisch mögliche Strukturen für die Summen-Formel C_6H_6 finden Sie? Zeichnen Sie diese in einfachen Gitterstruktur-Formeln!

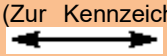
Zuerst erkannte man dann die Ringstruktur des Moleküls. Als nächstes sagte Friedrich August KEKULÉ V. STRADONITZ (1829 – 1896) (kurz: KEKULÉ) voraus, dass es sich bei Benzen wohl um ein ebenes Molekül handeln müsse. Dies wurde später auch durch RÖNTGEN-Strukturanalysen bestätigt.
KEKULÉ beschrieb 1865 zwei mesomere Strukturen (Angeblich sind ihm die Formeln im Traum erschienen.)



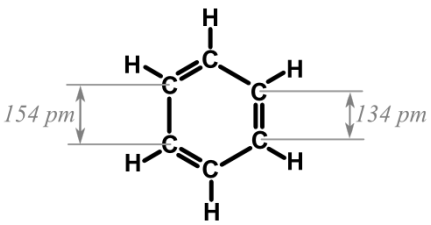


KEKULÉ-Formel für Benzen
als Gitterstruktur

Mesomere (Grenz-)Strukturen stellen die Strukturen als Struktur-Formeln so dar, wie sie u.U. mit allen Einfach- und Mehrfach-Bindungen aussehen könnten. Dies spielt besonders dann eine Rolle, wenn durch Messungen ermittelt wurde, dass es so ausgeprägte Bindungen in der Praxis scheinbar garnicht gibt. Die beiden Strukturen von KEKULÉ sind genau so ein Fall. Beide Strukturen sind so vorstellbar (Theorie), in der Realität (Praxis) liegt die Wahrheit irgendwo dazwischen. Da zwischen den beiden dargestellten mesomeren Grenz-Zuständen keine chemische Reaktion abläuft, verwenden die Chemiker den Doppel-Pfeil (Mesomerie-Pfeil) zur Darstellung der fließenden Übergänge.

Definition(en): Mesomerie
Mesomerie ist ein Sonderfall der Isomerie, bei dem die reelen Bindungs-Verhältnisse in Stoffen nicht durch eine einzelne Struktur-Formel, sondern nur durch mehrere – teilweise oder zeitweilig zutreffende – dargestellt werden. (Zur Kennzeichnung der Übergänge zwischen verschiedenen Grenz-Zutänden wird der Mesomerie-Pfeil  benutzt.)
Mesomerie ist die Isomerie, welche die Strukturen von Molekülen durch mehrere denkbare / theoretische Strukturen beschreibt. Zwischen diesen (Grenz-)Strukturen finden Bindungs- bzw. Elektronen-Verschiebungen statt.
Existieren zu einer Struktur-Formel mit einer oder mehrerer Mehrfach-Bindungen verschiedene denkbare Anordnungen der Bindungen / Bindungs-Elektronen, spricht man von Mesomerie.

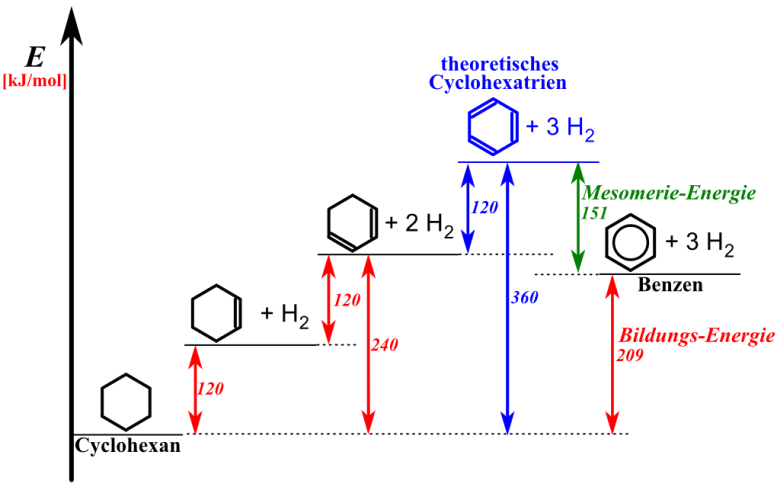
Eigentlich müssten auch die Bindungsabstände immer alternieren. Die Benzen-Struktur müsste also ein ungleichseitiges Sechseck bilden. Bei Messungen wurden sie aber als gleichgroß (gleichseitiges Sechseck) ermittelt. Der Bindungsabstand (139 pm) liegt zwischen Einfach- (154 pm) und Doppelbindung (134 pm). Bei der vollständigen Hydrierung stimmen die praktisch gemessenen Energiedifferenzen nicht mit den theoretischen Vorhersagen (Standardberechnungen) überein (Hydrierwärme nur knapp doppelt so hoch, wie für eine Doppelbindung (hätte aber rund 3x so groß sein müssen)!).



theoretische Bindungs-Abstände
in Benzen

 (c,p) 2009-2026 lsp: dre

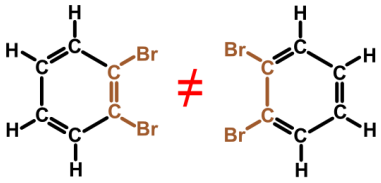
Die Mesomerie-Energie eines Aromaten, wie des Benzens lässt sich aus dem Vergleich des tatsächlichen (- in der Praxis gemessenen -) Energie-Zustandes und dessen Berechnung bestimmen. Bei der Berechnung geht man einfach von "normalen" Doppel-Bindungen aus, die im Falle eines aromaten eben mit Einfach-Bindungen im Ring alternieren.



Definition(en): Mesomerie-Energie

Die Mesomerie-Energie ist die Energie-Differenz, die sich zwischen dem theoretischen und dem tatsächlichen Energie-Zustand einer Verbindung mit Mehrfachbindungen ergibt.

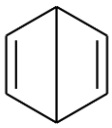
Zwar konnte diese Formel einige Besonderheiten des Benzen's erklären, aber einige chemische Eigenschaften stimmen nicht mit den Erwartungen aus den Formeln überein:
So fehlen Isomere, wenn man an benachbarten Positionen substituiert. Wird z.B. zwei-mal mit Brom substituiert, was bei Benzen seltsamerweise besser funktioniert als die eigentlich erwartete Addition an den Doppel-Bindungen, dann müsste man mehrere verschiedene Produkte erhalten.



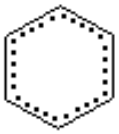
unterschiedliche Produkte
bei Substitution
an benachbarten C-Atomen

Weiterhin reagiert Benzen schwerer mit Brom (theor. sollte es eine Addition sein). Praktisch handelt es sich aber um eine Substition. Mit Bromwasserstoff reagiert Benzen überhaupt nicht.

1867 versuchte James DEWAR (1842 – 1923) mit seinem Vorschlag einige ungeklärte Probleme zu lösen. Für einen sechseckigen Ring gab er drei mesomere Formeln an. Die von ihm vorgeschlagene Substanz konnte erst 1962 wirklich hergestellt werden und ist ein vom Benzen abweichender Stoff. DEWAR zu Ehre wurde der Stoff DEWAR-Benzen genannt.

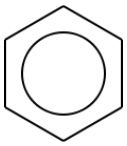


THIELE schlug 1899 eine Auflösung der Doppelbindungen vor und verteilte die freien Bindungen gleichmäßig auf den Sechseck-Körper. Die von THIELE vorgeschlagene **Partialvalenz-Formel** war der entscheidende weiterführende Schritt zur Aufklärung der Verhältnisse im Benzen-Molekül.



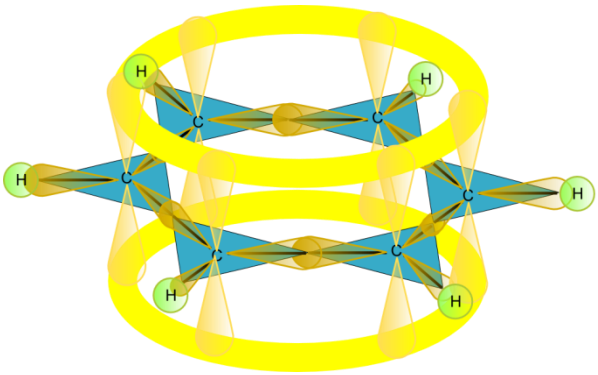
Die Elektronen sind im regelmäßigen C-Sechseck scheinbar gleichmäßig verteilt. Durch spezielle Untersuchungen und Messungen konnte man die Existenz von Elektronen-Wolken ober- und unterhalb der Ringebene nachweisen.

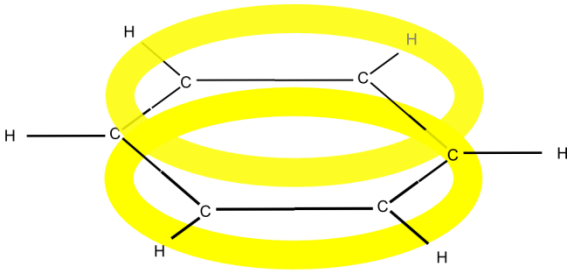
1925 erarbeitete die Chemiker J. W. ARMIT und R. ROBINSON dann eine völlig neue Schreibung für den aromatischen Zustand. Die besondere Elektronen-Anordnung wurde in einem – zur aufgeklärten Struktur passenden – Ring in das Cohlenstoff-Sechseck (Cohlenstoff-6er-Ring) eingezeichnet.



Die ROBINSON-Formel ist mitlerweile eines der verbreitesten Sinnbilder für die die Wissenschaft Chemie geworden.

Heute wissen wir, dass die Elektronen-Wolken von den sechs delokalisierten π-Elektronen gebildet werden. Es entsteht ein Elektronen-Sextett, die den besonderen aromatischen Zustand mit allen chemischen Konsequenzen ausmachen. Die theoretisch zwischen den C-Atomen alternierenden "Bananen"-Bindungen werden zu Ringen.





Allgemein versteht man unter einem aromatischen Zustand heute solche Systeme, die aus planaren und cyclisch angeordneten, vollkonjugierten Polyenen bestehen. Sie besitzen ein Mesomerie-stabilisiertes π-Elektronen-System. Nach Erich HÜCKEL (1896 – 1980) sind solche cyclischen Polyene aromatisch, die mit **4n+2 π-Elektronen** ausgestattet sind (**HÜCKEL-sche Regel**, 1931). Dabei kann n aus der Folge 1, 2, 3, … usw. stammen. Damit ergeben sich die folgenden π-Elektronen-Zahlen als ein mitbestimmendes Charakteristikum für aromatische Strukturen:

2, 6, 10, 14, 18, 22, …



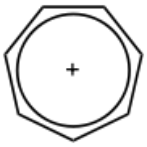
Cyclopropenyl-Kation

Die im Bereich der biologischen Strukturen recht häufig vorkommenden Konstellationen sind fett hervorgehoben.

Auch der unwirklich klingende Sonderfall n=1 in der HÜCKEL-Regel mit zwei π-Elektronen ist wirklich bekannt (Cyclopropenyl-Kation). Dieses spielt aber im biochemischen Zusammenhängen keine Rolle.



Cyclopentadienyl-Anion



Cycloheptatrienyl-Kation

Mit dem Cyclopentadienyl-Anion und dem Cycloheptatrienyl-Kation sind noch zwei weitere aromatische Ionen bekannt. Für sie gilt "typische" 6-π-Elektronen-Fall. Diese beiden Ionen sind vorrangig in Reaktions-Abläufen relevant und sind hier nur zum Erläutern des Prinzipes erwähnt.

In der organischen Chemie wird neben dem aromatischen Zustand der **anti-aromatische** – quasi als Gegen-Zustand – besprochen. Zu den Antiaromaten zählt man solche Stoffe, die drei Bedingungen für Aromaten erfüllen (cyclische und planare Struktur, konjugierte Doppel-Bindungen), aber deren π-Elektronenzahl nicht der HÜCKEL-Regel entspricht. Besonders ausgeprägt soll dies nach der HÜCKEL-Näherung für ungünstige Energie-Niveaus bei **4n π-Elektronen** sein.
Stoffe, die zu dieser Regel passen, sind im Allgemeinen sehr instabil. Ein Beispiel ist das Cyclobutadien.
Bei der Vielzahl organischer Stoffe war das Finden von Ausnahmen sowohl für die Aromatizität als auch für die Nicht-Aromatizität nur eine Frage der Zeit. Z.B. sind für das [10]-Annulen keine aromatischen Eigenschaften nachgewiesen worden. Ähnliches gilt für das [30]-Annulen. Bei ihm passt die HÜCKEL-Regel mit n=8.
In der modernen Chemie benutzt man weitere Mess-Verfahren zur Bestätigung einer Aromatizität. So kann man im magnetischen Feld bei Aromaten einen diamagnetischen Ringstrom messen. Auch die zusätzliche Energie-Stabilisierung (deutlich Energie-ärmer als theoretisches Cyclohexatrien, Energievorteil rund 150 kJ / mol) wird als Kriterium für Aromaten verwendet. Der aromatische Zustand ist stabiler als theoretische konjugierte Doppelbindungen an der gleichen Stelle.

Eine abschließende Definition ist bei der Vielzahl von Struktur-Möglichkeiten und Derivate aber nicht möglich. In den meisten Fällen nutzt man heute spektroskopische und magnetochemische Untersuchungen zur Charakterisierung eines Stoffes als möglichen Aromaten.
Viele heterocyclische Verbindungen (→ 3.2.8. sauerstoffhaltige Heterocyclen + → 3.3.3. stickstoffhaltige Heterocyclen) zeigen aromatische Eigenschaften.

Definition(en): Arene / Aromaten
Arene / Aromaten sind Cohlenwasserstoffe, die sich vom Benzen ableiten. Sie besitzen eine bestimmte Anzahl π-Elektronen (HÜCKEL-Regel) bzw. alternierender Doppel-Bindungen in zyklischen Cohlenstoff-Gerüsten.
Aromaten sind Kohlenwasserstoffe oder deren Derivate, die mindestens eine Baueinheit enthalten, die cyclisch und planar gebaut ist sowie ein π-Elektronen-System mit 4n+2 π-Elektronen beinhaltet. (n in der HÜCKEL-Regel: 1, 2, 3, …)

HÜCKEL-Regel: Ring-förmige Strukturen mit 2*n+2 p-Elektronen (n = 1, 2, 3, …) sind im Allgemeinen aromatisch.

interessanter Link:
https://publikationen.uni-tuebingen.de/xmlui/handle/10900/117815 (eine/die (lange) Geschichte der Benzol-Formel) (DOI-Refrenz: http://dx.doi.org/10.15496/publikation-59190)

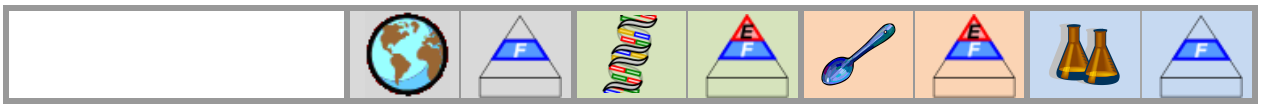
Merkmale aromatischer Strukturen:

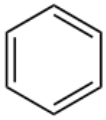
- Anzahl der "freien" / "ungebundenen" Elektronen entspricht der HÜCKEL-Regel (4n +)
- delokalisierte Elektronen sind über den ganzen Ring verteilt
- Ring hat eine planare Struktur (Bindungs-Winkel 120°)
- C-Atome im Ring bilden 3 Einfach-Bindungen aus (alle Bindungen im Ring (zwischen den C-Atomen) sind gleichlang
- es existieren mesomere Grenz-Strukturen, die kunjugierte Doppel-Bindungen im Ring aufzeigen (die mesomeren Doppel-Bindungen liegen mal links und mal rechts in der Ringstruktur)
- Stoffe zeigen keine Addition am Ring / Substitutionen bevorzugt
- es existiert eine Mesomerie-Energie(, die erst überwunden werden muss (Hydrierungs-Energie im Ring ist größer als üblich))

Aufgaben:

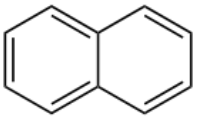
1. *Bauen Sie mit einem Molekül-Baukasten Cyclohexa-1,3,5-trien und Cyclohexa-2,4,6-trien als Modell zusammen! Was beobachten Sie?*
2. *Diskutieren Sie, ob Benzen laut den IUPAC-Regeln Cyclohexa-1,3,5-trien oder Cyclohexa-2,4,6-trien heißen muss!*

Beispiele für (ein- und mehrkernige) Aromaten:

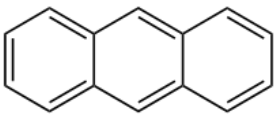




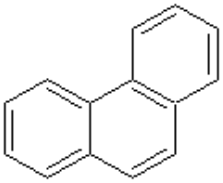
Benzen



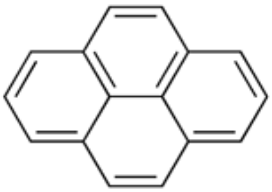
Naphthalen
(Naphthalin)



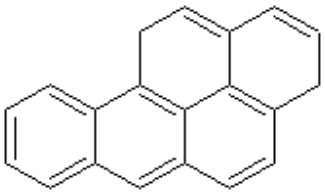
Anthracen



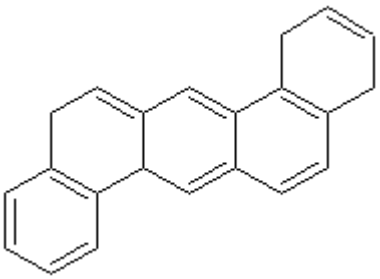
Phenanthracen



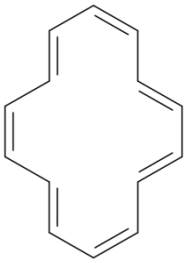
Pyren



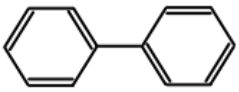
3,4-Benzpyren



Dibenzanthracen

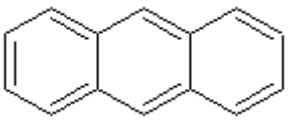


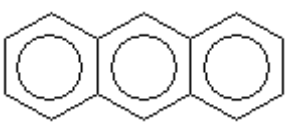
[14]-Annulen



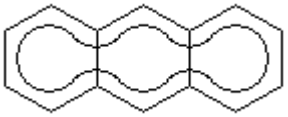
Biphenyl

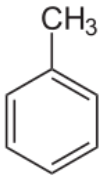
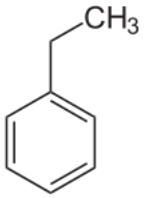
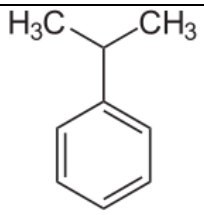
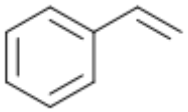
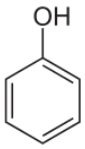
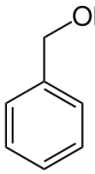
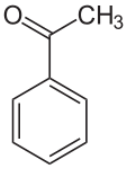
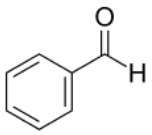
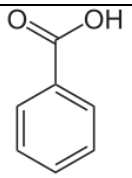
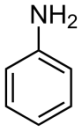
Neben der KEKULÉ-Schreibweise (Abb. rechts oben) findet man sehr häufig auch Formeln in ROBINSON-Schreibung. Als Beispiel ist der Stoff Anthracen dargestellt. Dabei haben sich zwei Varianten eingebürgert. Einmal werden die aromatischen Ringe einfach einzeln eingezeichnet (Abb. rechts mittig). Etwas realistischer ist die Darstellung (Abb. rechts unten) aller delokalisierten π-Elektronen als ein gemeinsames "Ring"-System.
Die einfachen bzw. reinen Aromaten kann man auch als Grundelemente für weitere aromatische Verbindungen verstehen.





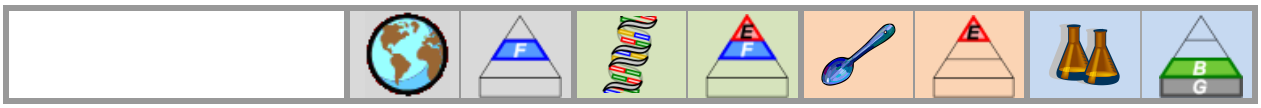
Durch Substitution eines oder mehrerer H-Atome sind Unmengen weiterer aromatischer Subtanzen realisierbar:



 Toluen, Methylbenzen (Toluol, Methybenzol)	 Ethylbenzen	 Cumen, Isopropylbenzen (Cumol, Isopropylbenzol)	
 Styren (Styrol, Vinylbenzol)			
 Phenol	 Benzylalkohol (Phenylmethanol)	 Acetophenon (Methyphenylketon, Hypnon)	 Benzaldehyd
			 Benzoesäure
 Anilin			

(c,p) 2009-2026 lsp: dre

2.2.3.2. Eigenschaften der Aromaten / Arene



Allgemein sind Aromaten gut in organischen Lösungsmitteln (Alkohole, Ether, Ketone, Ester) löslich und meist auch in jedem Verhältnis mischbar. Recht typisch ist auch eine geringe oder fehlende Wasserlöslichkeit. Bei Benzen liegt sie unter 1%.
Sehr häufig sind die aroamtischen Stoffe auch giftig und z.T. auch krebserregend (cacerogen). Im Umgang sollte man also immer eine besondere Vorsicht walten lassen.
Benzen schädigt Knochenmark, Leber und Nieren; führt zur Senkung der Anzahl roter Blutkörperchen. Es ist als sehr giftig (toxisch) und gilt ebenfalls als krebserregend. Schon bei Zimmertemperatur bilden sich leicht entzündliche Dämpfe, die bei einem günstigen Luft- oder Sauerstoffanteil auch explosionsartig abbrennen können.

2.2.3.2.1. chemische Eigenschaften – Reaktionen der Aromaten / Arene



Betrachten werden wir hier vornehmlich Benzen. Prinzipiell lassen sich die Reaktionen auf andere Aromaten 1 : 1 übertragen.
Die Verbrennung liefert uns keine neuen Erkenntnisse:

$$C_6H_6 + 7½\ O_2 \longrightarrow 6\ CO_2 + 3\ H_2O \qquad ; \Delta_RH = -\ kJ / mol$$

Neben der vollständigen Oxidation ist natürlich auch unvollständige Verbrennungen denkbar. Beispielhaft seien hier zwei Gleichungen angegeben:

$$C_6H_6 + 6\ O_2 \longrightarrow 4\ CO_2 + CO + C + 3\ H_2O \qquad ; \Delta_RH = -\ kJ / mol$$

$$C_6H_6 + 4½\ O_2 \longrightarrow 6\ CO + 3\ H_2O \qquad ; \Delta_RH = -\ kJ / mol$$

Bei der Struktur-Vorstellung sind wir schon darauf eingegangen, dass Benzen keine Additions-Reaktionen zeigt. Dafür sind aber Substitutionen möglich. Der Ablauf ähnelt der elektrophilen Addition bei den Alkenen. Reaktions-Partner sind hierfür vorrangig die verschiedenen Halogene.
Durch geeignete Katalysatoren (z.B. FeBr3) kommt es zur hetrerolytischen Spaltung z.B. von Brom.

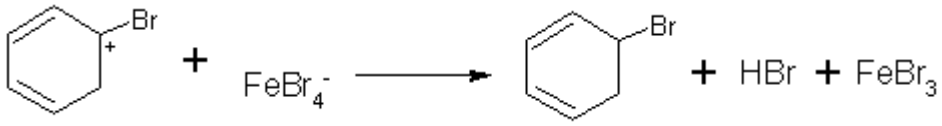
$$Br_2 + FeBr_3 \longrightarrow Br^+ + FeBr_4^-$$

Das elektrophile Br^+-Ion (Bromenium-Ion) dockt sofort an einem C-Atom des Benzen's an. Die positive Ladung stabilisiert sich am benachbarten C-Atom (Arenium-Ion) und führt zeitweise zu einem Verlust der Aromatizität (nur noch 4 freie π-Elektronen im Ring).



 (c,p) 2009-2026 lsp: dre

Das überschüssige Wasserstoff-Atom gibt ein Elektron an das benachbarte positiv geladene C-Atom und dessen Wasserstoff ab und wandert als Proton ab.



Dadurch regeneriert sich der aromatische Zustand am Brom-Benzen. Das Proton reagiert mit dem $FeBr_4^-$-Ion unter Bildung von Bromwasserstoff und $FeBr_3$. Dies steht nun wieder für weitere katalytische Vorgänge zur Verfügung. Die **elektrophile Substitution** (Abk.: S_E) ist die bevorzugte Reaktion der Arene am aromatischen Ring.

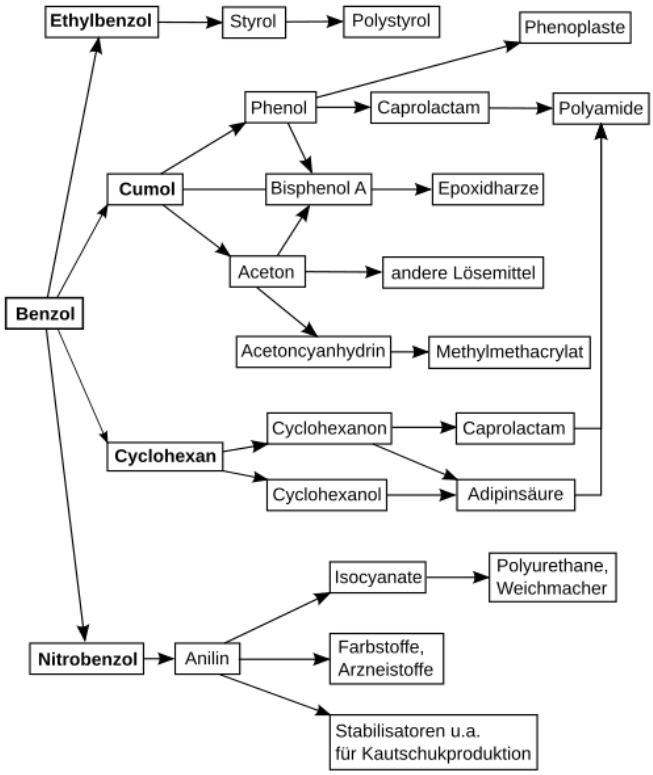
Definition(en): elektrophile Substitution; S_E-Reaktion

Elektrophile Substitutionen (S_E) sind Substitutions-Reaktionen, bei denen der Elektronen-liebende Reaktions-Partner (er selbst besitzt eine verringerte Elektronen-Dichte) – auch Elektrophil genannt – an einer Elektronen-reichen Stelle des anderen Reaktions-Partners (dieser ist eher nucleophile / Kern-liebend / hat vergrößerte Elektronen-Dichte) angreift und reagiert.

Elektrophile Reaktionen sind Orts-selektiv, da sie an Orte mit hoher Elektronen-Dichte – z.B. Mehrfach-Bindungen – gebunden sind.

Benzen als Grundstoff für viele Industrie-Produkte

Auswahl bedeutsamer Produkte auf der Basis von Benzen

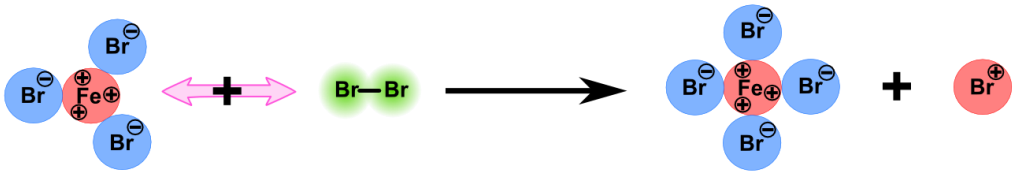


Benzen als Edukt
Q: de.wikipedia.org (Roland.chem)

(c,p) 2009-2026 lsp: dre

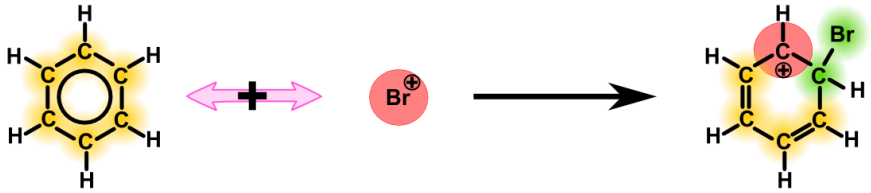
Reaktionsmechnismus der elektrophilen Substitution

Induzierung des Dipols und Heterolyse: Die elektrophile Substitution (Abk.: S_E) bedarf zuerst einmal eines Elektrophils. Dies ist in den meisten Fällen ein Kation.
Für die Bromierung von Benzen bietet sich die Verwendung eines Bromenium-Ions an.

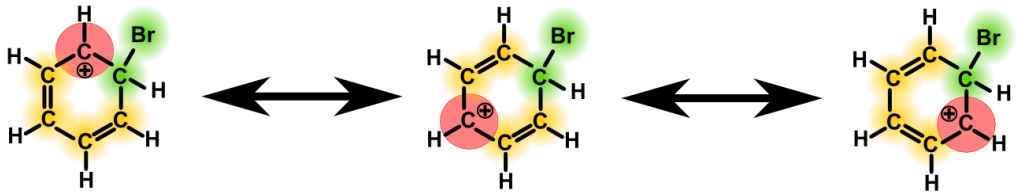


Molekulares Brom reagiert mit Eisenbromid(. Eventuell wurde beim Brom schon eine leichte Depolarisierung der Bindung durch ein Interagieren mit den π-Elektronen des Aromaten induziert.)
Das drei-wertige Eisen-Ion entuieht dem Brom-Molekül ein Bromid-Ion, d.h. ein Brom-Atom einschließlich des Bindungs-Elektronen-Paares. Das verbleibende Bromenium-Ion (positiv geladenes Brom-Ion) sucht sich nun einen anderen potentiellen Elektronen-Leferanten.

Da das Brom-Molekül durch den Katalysator Eisen(III)-bromid in zwei ungleiche Teile gespalten wird, nennen wir diesen Vorgang eine Heterolyse – also das "Auflösen" (lat.: lysis) in "verschiedene" (lat.: hetero) Objekte.
Anlagerung des Elektrophils: Das Kation ist Elektronen-liebend und interagiert mit den π-Elektronen-Ring des Benzens. Im Übergangs-Zustand dieser Reaktion wird der aromatische Zustand aufgelöst. Zwischenzeitlich entsteht ein sogenannter π-Komplex. Das Brom ordnet sich nun zufällig einem Cohlenstoff.Atom zu. An einem der beiden benachbarten Cohlenstoff-Atome entsteht dann ein Arenium-Ion.

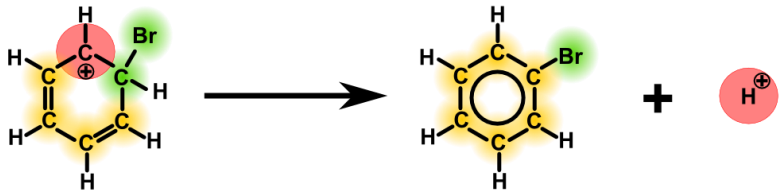


Das elektrophile Bromenium-Ion interagiert mit dem p-Elektronen-Ring des Arens. Es entzieht diesem Ring ein π-Elektron zur Ausbildung einer (leicht polaren) Atom-Bindung. Stellt man sich die Bindungen im Benzen al Doppel-Bindungen vor, dann wird quasi eine davon für die Anbindung des Bromenium-Ions genutzt. Am einem der benachbarten Cohlenstoff-Atome entsteht dadurch ein Elektronen-Mangel, der sich als Arenium-Ion stabilisisiert. In Folge bilden sich mehrere mesomere Grenz-Strukturen. Der Cohlenstoff-Ring erscheint dadurch im Zentrum positiv geladen.



Rearomatisierung: Das Arenium-Ion ist Mesomerie-stabilisiert und wird auch als WHELAND-Komplex bezeichnet. Im nächsten Schritt kommt es nun zur Rearomtisierung des Cohlenstoff-Ringes. Dazu wird das Wasserstoff-Atom am Cohlenstoff-Atom mit dem gerade angelagerten Brom als Wasserstoff-ion (Proton) abgespalten. Es handelt sich hierbei um eine Deprotonisierung.

(c,p) 2009-2026 lsp: dre



Die Mesomerie-stabilisierte positive Ladung zieht die Bindungs-Elektronen der Cohlenstoff-Wasserstoff-Bindung am bromierten Cohlenstoff zu sich. Der damit übrig bleibende Wasserstoff-Kern – praktisch nur noch ein Proton – wird abgespalten. Ziel ist der Energie-günstige aromatische Zustand.

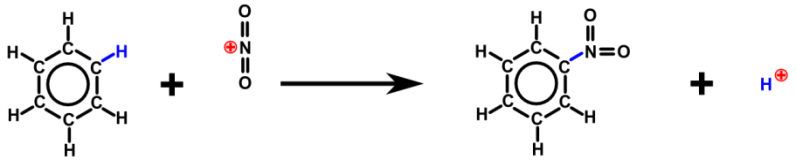
Aufgaben:

1. Erläutern Sie die Chlor-Substitution an Benzen mit Hilfe von chemischen Gleichungen und Struktur-Formeln! (Katalysator Eisen(III)-chlorid)
2.

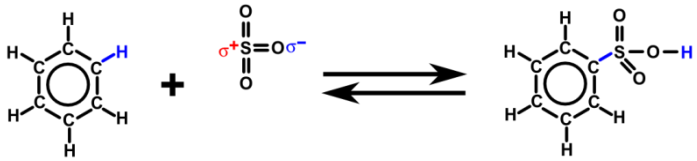
weitere Reaktionen am Benzen

Ganz ähnlich, wie die Bromierung von Benzen läuft auch die Nitrierung. Neben Benzen wird Nitriersäure (c HNO_3 + c H_2SO_4) verwendet. In der Nitriersäure bildet sich das Nitronium-Ion (NO_2^+, Nitryl-Kation), das der eigentliche elektrophile Reaktionspartner für das Benzen ist.

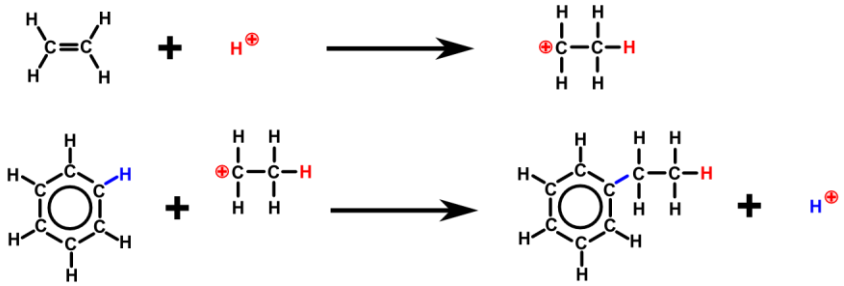
$$HNO_3 + H_2SO_4 \rightleftharpoons NO_2^+ + HSO_4^- + H_2O$$



Eine weitere Substitution ist mit rauchender Schwefelsäure möglich. Dies führt zu Benzensulfonsäure.



Bei der sogenannten Alkylierung mit Alkenen arbeitet man ebenfalls mit Säuren, aber nur als Katalysator. Die Alkene bilden unter sauren Bedingungen Carbo-Kationen, die dann mit Benzen eine elektrophile Substitution eingehen.

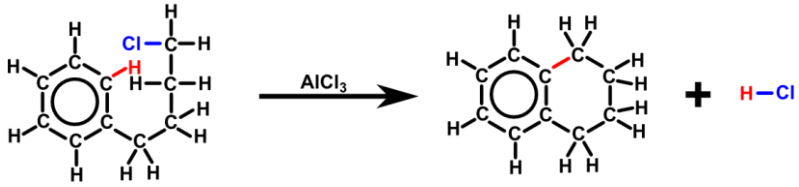


Ein besonderer Fall der Alkylierung ist die FRIEDEL-CRAFTS-Alkylierung, bei der es darum geht, Cohlenwasserstoffe als Seitenketten zu etablieren. Die Chemiker Charles FRIEDEL und James Mason CRAFTS verwendeten dazu z.B. Aluminiumchlorid als Katalysator. Die Struktur, die angelagert werden soll, muss an der zukünftigen Kontaktstelle z.B. ein Chlor-Atom beinhalten.



Das Aluminiumchlorid (Katalysator) entzieht zuerst dem Substituenten das Chlor-Atom einschließlich der Bindungs-Elektronen (praktisch also ein Chlorid-Ion). Der entstehende tetraedrische (Koordinations-Zahl 4) Aluminiumchlorid-Komplex ist einfach negativ geladen. Am Substuenten bleibt eine positive Ladung am Cohlenstoff zurück. Dieses Kation nennen wir Carbenium-Ion. Es ist stark elektrophil und greift auf dem schon beschrieben Weg den Elektronenreichen aromatischen Ring an. Das Kation stabilisiert sch mesomer nun am Aren und ein Wasserstoff-Ion (Proton) wird zur Rearomatisierung abgespalten. Das Proton reagiert dann mit dem negativ geladenen Aluminiumchlorid-Komplex zu Chlorwasserstoff. Übrig bleibt daAluminiumchlorid, was dann wieder als Katalysator tätig werden kann.

Bei geschickter Wahl von Seitenkette und der Position des Halogenides können auch zusätzliche Ringe an das Aren gebildet werden. Ein solches Beispiel ist die Bildung von Tetralin aus .

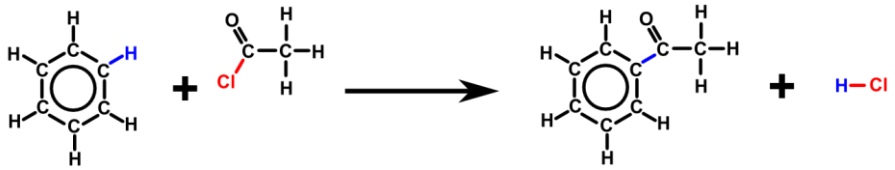


Das substituierte Chlor reagiert mit dem Katalysator Aluminiumchlorid. Dabei wird quasi ein Chlorid-Ion abgespalten und es bildet sich ein Carbenium-Ion an der ursprünglichen Chlor-Position. Das Carbenium-Ion interagiert nun mit dem aromatischen Ring und entzieht diesem ein π-Elektron für die C-C-Bindung zur ursprünglichen Chlor-Position. Dadurch entsteht ein mesomer stabilisiertes Carbenium-Ion am Ring. Letztendlich kommt es zur Abspaltung eines Protons (Wasserstoff-Ions). Das Proton reagiert mit dem negativ geladenen Aluminiumchlorid-Komplex unter Rückbildung des Katalysators und dem Nebenprodukt Chlorwasserstoff.

böse Frage zwischendurch:

Um welchen Reaktionstyp handelt es sich bei den letzten Reaktionen? Begründen Sie Ihre Wahl!

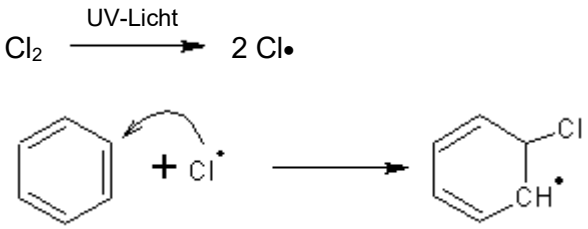
Eine weitere bedeutsame Reaktion ist mit bestimmten Derivaten der Alkansäuren (→ 🕮 **organische Chemie Teil 2**) möglich.



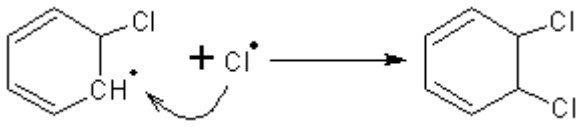
Aufgabe für das gehobene Anspruchsniveau:

1. Stellen Sie den Reaktions-Mechanismus für die obige Reaktion auf! Verwenden Sie Struktur-Formeln! (Katalysator ist Aluminiumchlorid)

Neben der Substitution sind aber auch radikalische Additionen an Benzen möglich. Von biologischer Bedeutung ist die Herstellung von Lindan® - einem Insektizid. In einem Überschuß an Chlor wird das Reaktionsgemisch UV-Strahlung ausgesetzt. Nur mit deren Energie ist eine Überwindung des Energie-Vorteils – den der aromatische Zustand hat – möglich. Chlor wird durch die Strahlungs-Energie in sehr reaktive Radikale gespalten, die dann mit Benzen interagieren.



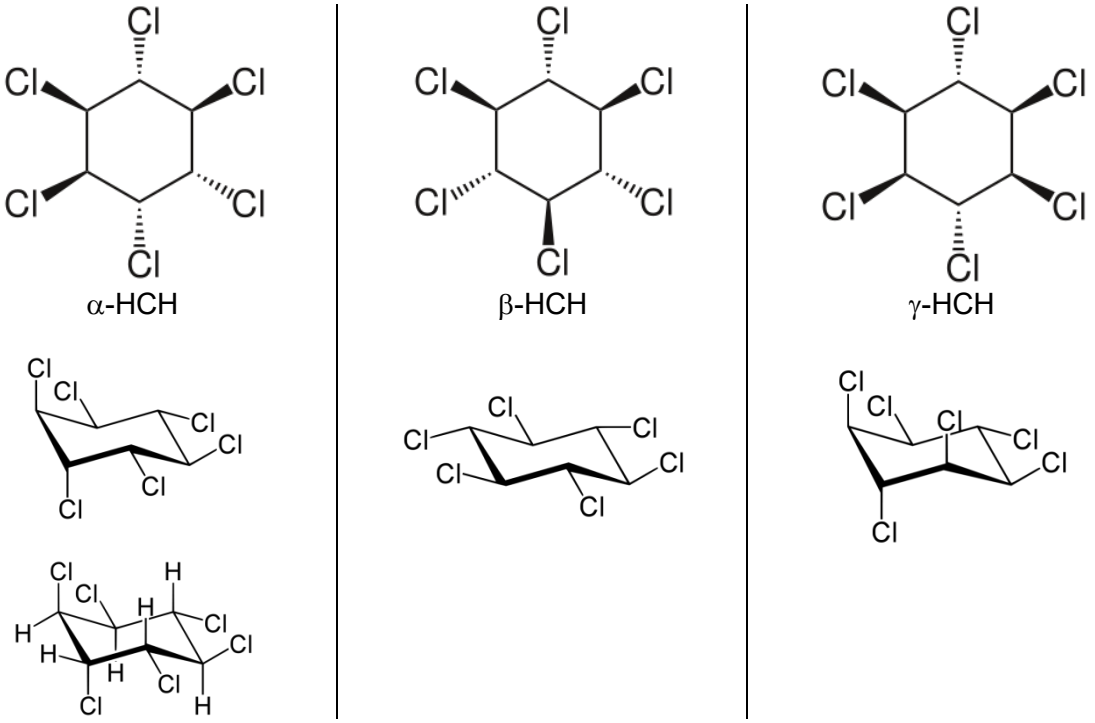
Da die radikalische Anlagerung immer ein π-Elektron bindet, wird das andere (aus der mesomeren Doppel-Bindung) zu einem Radikal am benachbarten C-Atom. Hier kann dann das nächste Chlor-Radikal ankoppeln.



Dichlorcyclohexadien

Nach dreifacher Addition entsteht Hexachlorcyclohexan. Als Kürzel hat sich hierfür HCH unter den Chemikern etabliert. Solche Buchstaben-Codes werden für sehr viele organische Substanzen verwendet (Abk. wie: DDT … Dichlordiphenyltrichlorethan oder DNS …Desoxyribonucleinsäure kennen Sie ja vielleicht schon). Besonders bei neuen Stoffen mit halsbrecherischen Namen für die es keine Trivialnamen gibt, sind die Buchstaben-Codes sehr beliebt.
In der Praxis treten drei Isomere auf, von denen nur das γ-HCH insektizid wirkt.

Hexachlorcyclohexan-Isomere (in verschiedenen Formel-Darstellungen):



α-HCH | β-HCH | γ-HCH

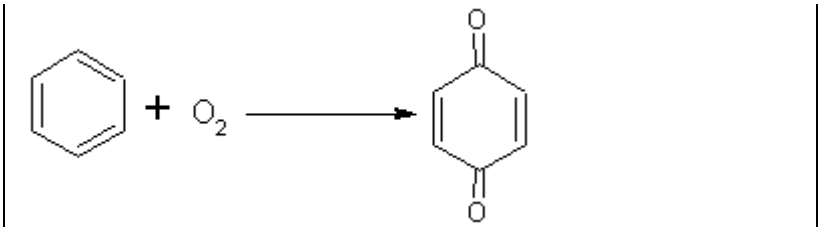
Dicke Linien bzw. ausgefüllte Pleilspitzen stellen Bindungen dar, die zum Betrachter hin aus der Bildebene verlaufen. Die Bindungen, die hinter der Blattebene verschwinden würden, sind gestrichelt oder sehr dünn dargestellt. So kommt es gewisser 3D-Effekt zustande.

Es muß über spezielle Extraktions-Vorgänge aus dem Reaktionsgemeisch herausgelöst werden.

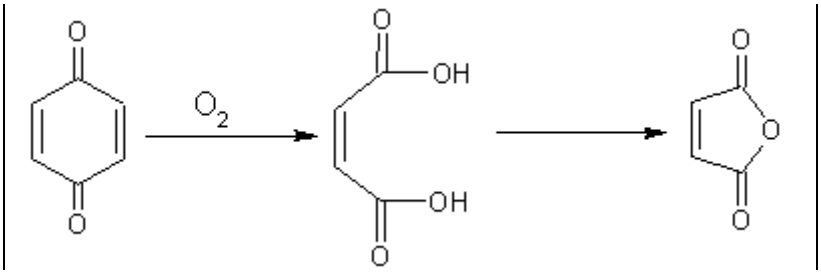
Definition(en): radikalische Addition; A_R-Reaktion

Radikalische Addittionen (A_R) sind Additions-Reaktionen, bei denen Elektronen-liebende Reaktions-Partner (hier die Radikal) – welche praktisch Elektrophilen entsprechen – an einer Elektronen-reichen Stelle des anderen Reaktions-Partners (hier die π-Elektronen des Aromaten) angreifen und reagieren. (Hierbei kommt zur Zerstörung des aromatischen Zustandes!)

Mit geeigneten Reaktionspartnern kann es am Benzen auch zu Oxidationen kommen. Wenn die Oxidation am Ring stattfindet, dann kommt es dabei zu Auflösung der Aromazität. Oxidationen am Substituenten haben dagen kaum Auswirkungen auf die armatischen Eigenschaften des Stoffes.
Betrachten wir die Umsetzung von Benzen in Luftsauerstoff. Die Reaktion benötigt einen speziellen Katalysator und recht hohe Temperaturen (500 °C).

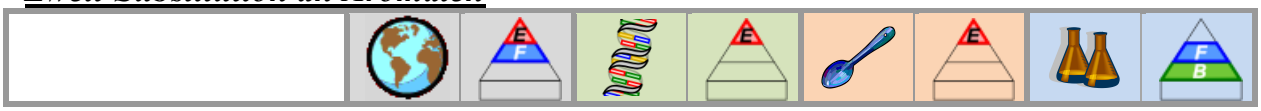


Die Reaktion führt zuerst zu einem Chinon (p-Benzochinon) und in weiteren Schritten zur Dicarbonsäure (cis-Butendisäure, Maleinsäure) bzw. derem Anhydrid (Maleinsäureanhydrid).

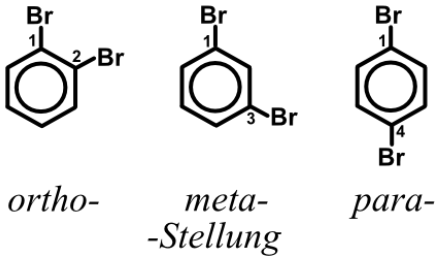


Wann kommt es denn nun genau zu Substitutionen bzw. Additionen? In der Praxis haben sich dazu zwei Regel etabliert – KKK und SSS.
Die KKK-Regel bedeutet Kälte, Katalysator und Kern. Damit wird ausgesagt, dass bei niedrigen Temperaturen und bei Anwesenheit eines Katalysators am Kern substituiert wird.
Anders bei SSS, was für Sonnenlicht, Siedehitze und Seitenkette steht. Hier kommt üblicherweise bei Strahlung und höheren Temperaturen zur radikalischen Substitution (SR) an den Seitenketten der Arene.

Zweit-Substitution an Aromaten



Bei Substitutionen am Benzen ordnete sich der Substituent meist zufällig einem Cohlenstoff-Atom des Ringes zu. Bei weiteren Substitutionen bzw. anders-artigen Reaktionen tritt der Zufall immer mehr in den Hintergrund. Jetzt übernehmen die schon vorhandenen Substituenten dirigierende Funktionen.



ortho- *meta-* *para-*
-Stellung

Bezeichnung der Positionen ortho, meta und para

Eine umfangreiche Besprechung dirigierender Effekte haben wir schon bei den Alkenen vorgenommen (→ Reaktions-Verhalten innerhalb der homologen Reihe). Hier nur noch mal einige Aspekte kurz besprochen:

Induktions-Effekte
ist bei allen Substituenten vorhanden
H selbst hat keinen induktiven Effekt (ist quasi die Vergleichs-Situation)

+I-Effekt durch Substituenten, die Elektronen eher in Richtung neuer Bindungsstelle drücken
durch Atome oder Atom-Gruppen mit eher kleinerer Elektronegativität der Gesamtstruktur
Elektronen-schiebende Substituenten
stabilisiert Radikale und Carbo-Kationen
schieben die gemeinsame Elektronen-Wolke in Richtung des Ring's
bewirken eher o- und p-Stellung des Zweit-Substituenten

-I-Effekt durch Substituenten, die Elektronen-liebend sind (hohe Elektronegativität)
Elektronen-ziehende Substituenten

Mesomerie-Effekte
kann zusätzlich zum I-Effekt eintreten
Substituenten, die Elektronen von der neuen Bindungsstelle abziehen
durch Atome oder Atom-Gruppen mit eher größerer Elektronegativität der Gesamtstruktur

+M-Effekt (positiver mesomerer Effekt) durch Substituenten mit freien Elektronen-Paaren
erhöhen die Elektronen-Dichte im Ring, verbessern dadurch den elektrophilen Angriff und damit auch die Reaktions-Geschwindigkeit
z.B.: $-O^-$, $-NH_2$, $-NR_2$, -OH, $-OCH_3$ bzw. -OR, -NH-CO-R, -O-CO-R, $-C_6H_5$ od.ä., -Br, -Cl, -I, -F
verringert die Basen-Stärke (K_B bzw. Erhöhung pK_B) bzw. senkt die Säure-Stärke (pK_S)
Substituent stellt das gemeinsame Elektronen-Paar dem Ring zur Verfügung
bewirken sehr stark o- und p-Stellung des Zweit-Substituenten

-M-Effekt (negativer mesomerer Effekt) durch Substituenten mit einer starken Elektronegativität, positiven Ladungen oder fehlenden Elektronen-Paaren,
entziehen dem Kern π-Elektronen
dadurch wird elektrophiler Angriff erschwert und die Reaktions-Geschwindigkeit wird verringert
z.B.: -CO-O-R, -COOH, -CHO, -CO-R, -CN, -CH=CH-COOH, $-NO_2$, SO_3H

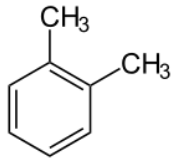
(c,p) 2009-2026 lsp: dre

erhöhen die Säure-Stärke (K_S bzw. Verringerung pK_S)

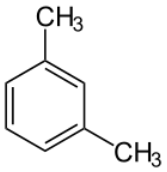
I- und M-Effekt können gleichgerichtet oder konkurierend sein

Substituenten 1. Ordnung bewirken vorrangig eine Aktivierung und Bindung an der ortho- oder para-Position (direkte oder übernächste Nachbar-Stellung, Position 2 bzw. 4)
besonders dann, wenn M- und I-Effekt gleichgerichtet sind und ein positives Vorzeichen haben

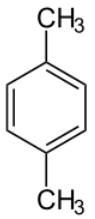
Substituenten 2. Ordnung bewirken vorrangig eine Aktivierung und Bindung an der meta-Position (Position 3, indirekte Nachbar-Stellung)
besonders dann, wenn M- und I-Effekt negative Vorzeichen haben



ortho-Toluen
(o-Toluol)



meta-Toluen
(m-Toluol)



para-Toluen
(p-Toluol)

Erst-Substituent	I-Effekt	M-Effekt	dirigierender Effekt
-COOH, -CN, $-NO_2$	-	-	meta
$-NR_3^+$	-	/	meta
-OH, -OR, $-NH_2$, $-NR_2$ -F, -Cl, -Br, -I	-	+	ortho para
$-O^-$	+	+	ortho para
-R	+	/	ortho para

Definition(en): mesomere Effekte, M-Effekt

Der Einfluss von Fremd-Atomen im Ring (heterocyclisch) oder Atomen- bzw. Atom-Gruppen mit freien Elektronen-Paaren oder Doppel-Bindungen auf die π-Elektronen-Konstellation im aromatischen Ring oder in konjugierten Systemen nennt man mesomere Effekte.
Dadurch kommt es zur Beeinflussung der Positionierung von Substituenten sowie der Reaktions-Geschwindigkeit.

(c,p) 2009-2026 lsp: dre

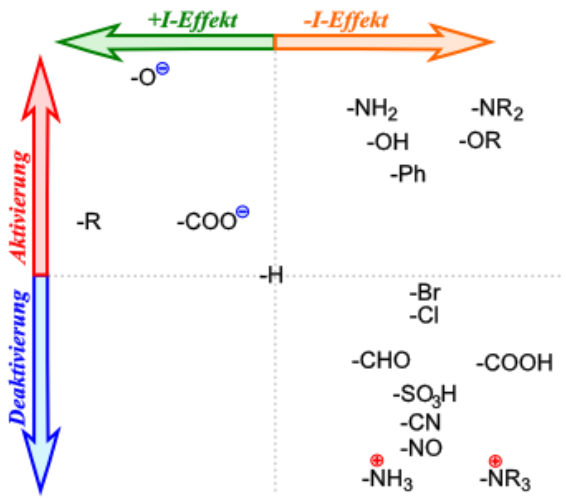
Erst-Substituent	induktions-Effekt mesomerer Effekt	I	M	Reaktivität (im Vergleich zu Benzen)	dirigiert Zweit-Substituenten nach …
-OH -OR -NH_2	-I < +M			viel größer	ortho, para
-R	+I			größer	ortho, para
-H	Vergleichsstandard	0	0		
-Cl -Br	-I > +M			kleiner	ortho, para
-NO_2 -CHO -SO_3H -COOH -COOR	-I , -M			viel kleiner	meta

weitere Daten / Informationen zu den Effekten:

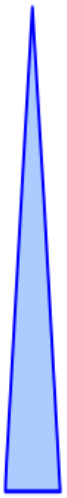
Wirkung	? -dirigierend	Substituenten
aktivierend	ortho-, para-	-OH -CH_3 -NH_2
de(s)aktivierend	meta- ortho-, para	-NO_2 -CN -SO_3H -CHO -COOH -F, -Cl, -Br, -I

Substituent	ortho- [%]	para- [%]	o- + p- [%]	meta- [%]
-OH	50	50	100	Spuren
-Cl	30	70	100	Spuren
-Br	37	62	99	1
-CH_3	59	37	96	4
-SO_3H	21	7	28	72
-CHO			28	72
-COOH	19	1	20	80
-CN			19	81
-NO_2	6	<1	7	93

Q: http://www.guidobauersachs.de/oc/aroma1.html



nach Q: www.chemgapedia.de

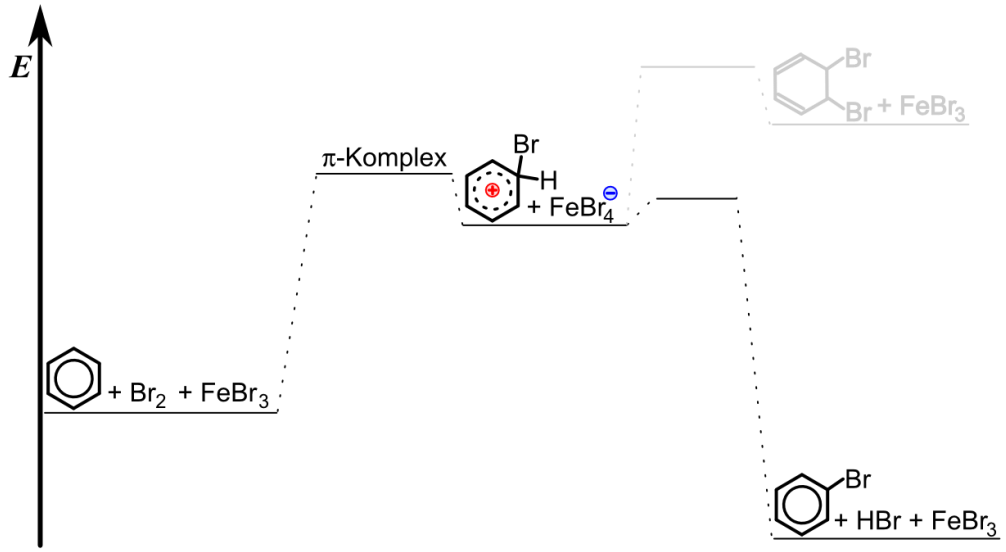
		Substituent	aktivierend	dirigierend nach
	Aktivierung	$-NH_2$	stark	ortho / para
		-NHR		
		$-NR_2$		
		-OH		
		-OR		
		-NHCO-R	moderat	
		-OCO-R		
		-R	schwach	
		≡N		
		=CH-CH-R		
		-H		
	Deaktivierung	-F	schwach	
		-Cl		
		-Br		
		-I		
		-CHO	moderat	meta
		-CO-R		
		-COOH		
		-COCl		
		-C≡N	stark	
		$-SO_3H$		
		$-SO_3-R$		
		$-N^{\oplus}H_2-R$		
		$-N^{\oplus}H_3$		
		$-N^{\oplus}HR_2$		
		$-N^{\oplus}R_3$		
		$-NO_2$		

Stoff	**Formel**	**relative Bromierungs-Geschwindigkeit**
Bromethen	$BrHC=CH_2$	0,032
Ethen	**$H_2C=CH_2$**	**1**
1,2-Dichlorethen	$ClHC=CHCl$	50
Propen	$H_2C=CH-CH_3$	96
2,3-Dimethylbut-2-en	$H_3C-C(CH_3)=C(CH_3)-CH_3$	93'000

(c,p) 2009-2026 lsp: dre

Aufgaben:

1. *Ein Mitschüler behauptet: "Von den Arenen gibt es zwar eine homologe Reihe, die wird aber nicht so gerne aufgestellt, weil die Strukturen immer wieder andere Ring-Formen ergeben." Setzen Sie sich mit der Behauptung auseinander!*
2. *Von KEKULÉ wurden 216 verschiedene Struktur-Formeln zusammengestellt, die zur Summen-Formel C_6H_6 passen. Wieviele finden Sie?*
3. *Skizzieren Sie für Lindan die fehlenden Keilschrift-Formeln mit den enthaltenen Wasserstoff-Atomen!*
4. *Bauen Sie die Lindan-Moleküle mit einem Mokül-Baukasten nach! Überprüfen Sie, ob sie sich durch Drehungen ineinander überführen lassen!*
5. *Erläutern Sie das nachfolgende Energie-Niveau-Schema für mögliche Reaktionen am Benzen!*



6. *Erstellen Sie eine Zusammenfassung in Stichpunkt-Form zum Thema Benzen!*
7. *Erstellen Sie ein MindMap oder ein ConceptMap zum Thema Arene!*

für die gehobene Anspruchsebene:

8. *Erklären Sie warum die Addition von Brom an Ethen 15x schneller abläuft als bei 2,3-Dimethylbut-2-en! Warum ist dann die Addition von Brom an 1,2-Dichlorethen rund 50x schneller als bei Ethen?*

2.2.3.3. ausgewählte Aromaten / Arene und ihre Derivate

Derivate möglich durch …
- Kondensation weiterer Ringe
- Heterozyklen
- Substitutionen am / an den Ring(en)

Benzen (Benzol)

sehr giftig
metabolismen zum Abbau führen zu weiteren giftigen Stoffen
Benzen wird wegen seiner lipophilen Eigenschaften eher eingelagert und kann nicht über den Urin ausgescheiden werden

Q: 3Dchem.com

Benzen über Cytochrom P450 Oxidation zum Epoxid
Epoxid kann mit Guanin (z.B. aus der DNA) reagieren und dieses funktionslos machen → eine Nutzung des betroffenen Gen's ist nicht mehr möglich
viele Zellen schalten u.U. bei massiven Schädigungen auf ihre "Urinstinkte" einer Solo-Zelle zurück und vermehren sich ungehemmt (→ Tumore (ev. Krebs))

Epoxid kann über eine enzymatische Wasser-Anlagerung zum Wasser-löslichen ??? (1,2 Dihydroxycyclohexa-3,5 dien) umgewandelt werden; Ausscheidung über Urin

aus Epoxid kann durch Umlagerung auch Phenol entstehen
Phenol kann mit Glucuronsäure () zu einer Wasser-löslichen Substanz reagieren und dann ausgeschieden werden

Phenol kann auch zuerst zu Hydrochinon und dann zu Chinon oxidiert werden
Enzym Monooxygenase

Styren (Styrol)
Ethylenbenzen, Ethylenbenzol

Q: 3Dchem.com

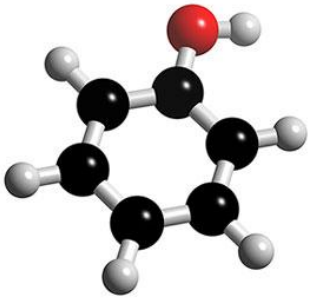
Benzen-Ring mit einer Ethylen-Seiten-Gruppe

Herstellung von Polystryren (Polystyrol) → Isolier- und Verpackungs-Materialien
auch für Synthese-Kautschuk und Gieß-Harze

Phenol
Hydroxybenzen, Hydroxybenzol

kann direkt aus Steinkohlen-Teer gewonnen werden

reagiert leicht sauer → Phenolat-Ion

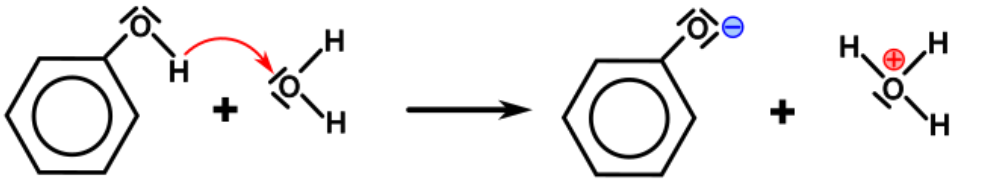


sehr giftig

wichtige Grund-Chemikalie
z.B. für Produktion von Leimen und Lacken, Farbstoffen, Chemiefasern, Phenoplast, Pharmazeutika und Entwickler für Foto-Materialien

siehe auch 🕮 **org. Chemie – Derivate (Alkohole)**

Q: 3Dchem.com



Tuluen (Tuluol)
Methylbenzen

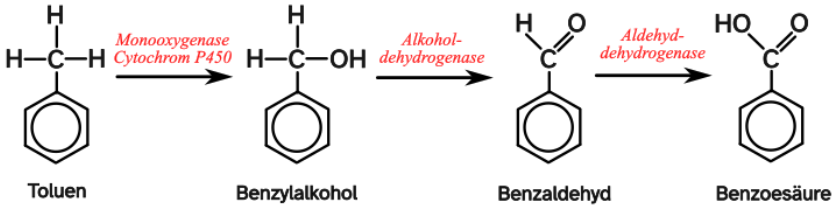
Q: 3Dchem.com

farblos, flüssig

Benzen-Ring mit einem Methyl-Rest

wichtiger Rohstoff für die chemische Industrie
nicht Krebs-erregend, da schneller Abbau im Körper
giftig
sehr schädlich für Wasser-Organismen

wird metabolisiert bis zur Benzoesäure und dann als Wasser-lösliches Benzoat-Ion ausgeschieden



Xylen (Xylol)
Dimethylbenzen

Q: 3Dchem.com

Benzen-Ring mit zwei Methyl-Seiten-Ketten
diese können direkt nebeneinander (benachbart), mit einem C-Atom Abstand bzw. entgegengesetzt angeordnet sein
für Benzin, Kunststoffe, Lösungsmittel, Kunstharze, Verdünnungsmittel für Lacke, Weichmacher

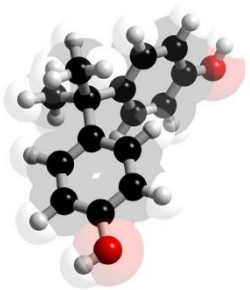
Biphenyl

Q: 3Dchem.com

zwei Benzen-Ringe über eine Einfach-Bindung miteinander verbunden (ein Benzen mit einem Phenyl-Rest als Seiten-Kette)

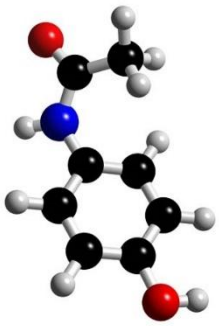
Bisphenyl-A

zwei Benzen-Ringe über eine Einfach-Bindung miteinander verbunden (ein Benzen mit einem Phenyl-Rest als Seiten-Kette)



Q: 3Dchem.com

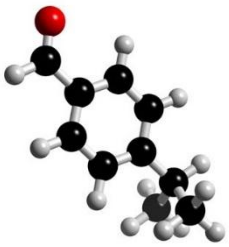
Acetaminophen



Q: 3Dchem.com

(c,p) 2009-2026 lsp: dre

Cummin



Q: 3Dchem.com

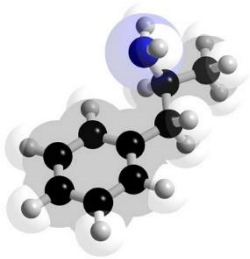
Anilin (Aminobenzen)
Aminobenzol

Q: 3Dchem.com

farblos, ölige Flüssigkeit
Wasser-löslich; basisch (Anillium-Ion)
stark toxisch
Abbau-Produkte behindern Sauerstoff-Transport durch die roten Blutkörperchen

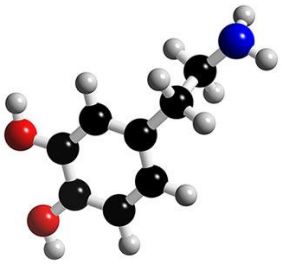
wichtiger Ausgangsstoff in der chemischen Industrie; für Produktion von Farbstoffen, Medikamente (Paracetamol® (Fiebersenker, Schmerzmittel)), Polyurethan (Farben, Schäume, …), Antibiotika
siehe auch 🕮 **org. Chemie – Derivate (Amine)**

Dextraamphetamin



Q: 3Dchem.com

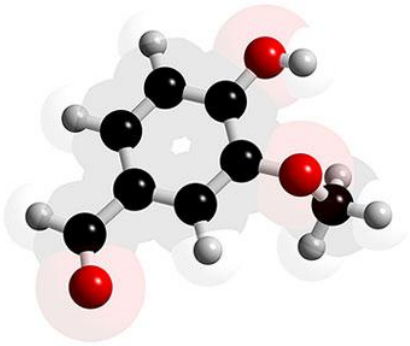
Dopamin



Q: 3Dchem.com

 (c,p) 2009-2026 lsp: dre

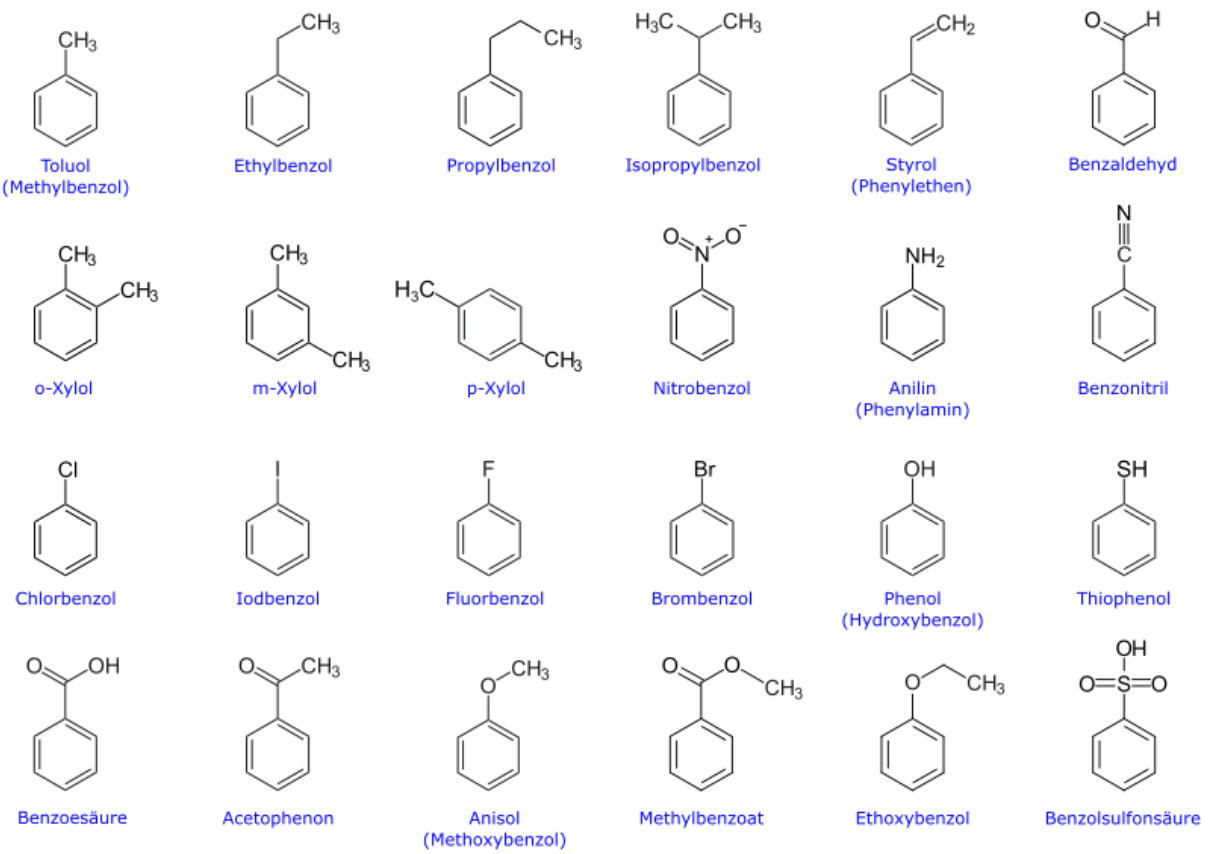
Vanillin



Q: 3Dchem.com

?Aren

Q: de.wikipedia.org ()

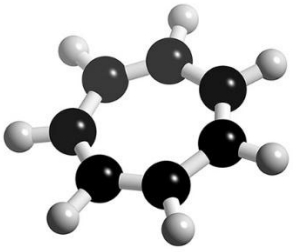


Benzen-Derivate

Q: de.wikipedia.org (Johannes Schneider)

Aufgaben:

1. *Bei einer Elementar-Analyse von MITSCHERLICH (1834) ergaben 100 g des analysierten Stoff's 92,92 g Cohlenstoff und 7,76 g Wasserstoff. Leiten Sie die Verhältnis-Formel und eine mögliche Summen-Formel ab!*
   Entwickeln Sie mindestens 5 mögliche Struktur-Formeln für das ermittelte Element-Verhältnis!
2. *Ein Mitschüler hat die nebenstehende Struktur im Internet gefunden.*
   a) Ermitteln Sie die Summenformel und eine oder mehrere (mesomere) Struktur-Formel(n)!
   b) Nun steht die Frage im Raum, ob es sich auch um einen Aromaten (/ein Aren) handelt? Fällen Sie eine begründete Entscheidung!
   c) Berechnen Sie die molare Masse dieses Stoffes!
   d) Mit welchen Reaktionen kann man bei diesem Stoff rechnen? Stellen Sie passende Reaktions-Gleichungen auf!



Q: 3Dchem.com

3. *Stellen Sie für die rußende Verbrennung von Benzen eine Reaktions-Gleichung auf!*
4. *Berechnen Sie die notwendigen Mengen (Stoffmenge, Masse, Volumen) an Sauerstoff für die vollständige Oxidation von 7,5 g Benzen! (7½; 23; 16,1)*



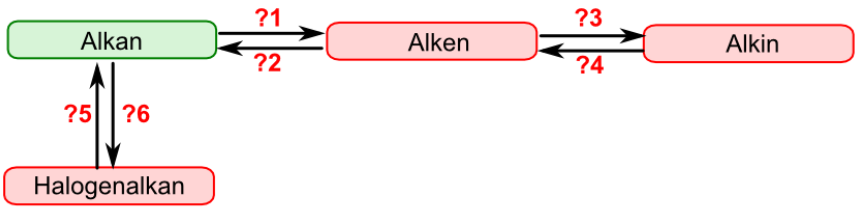
Hinweise zu den Gitterstrukturformeln (Minigrafiken):
Q: de.wikipedia.org bzw. commons.wikimedia.org verschiedene Autoren: NEUROtiker, Bryan Derksen, Kamil Filip Ulryk, Dschanz, Cacycle, Leyo, Calvero, Emeldir, …
diverse Graphiken sind vom Autor selbst ((c,p) lsp: dre)
Wegen der im Allg. fehlenden Schöpfungshöhe, der meist als public domain freigebenen Grafiken und der Sperrigkeit der Quellen-Angaben verzichten wir hier auf einen Einzelnachweis für jede einzelne Abbildung.

komplexe Übungs-Aufgaben (z.B. zur Vorbereitung auf Klausuren usw.)

1. Vergleichen Sie Alkane, Alkene und Alkine in einer geeigneten Tabelle!
2. Wie groß sind die charakteristischen Bindungs-Winkel bei den Alkanen, Alkenen und Alkinen? Welche Konsequenzen resultieren aus den Bindungs-Winkeln für die Molekül-Struktur?
3. Geben Sie alle Struktur-Isomere des Pentens mit einer Strukturformel und dem exakten Namen an!
4. In einem Versuch will man 2,3-Dimethylbut-2-en mit Chlorwasserstoff reagieren lassen. Welche Produkte kann man erwarten? Wenn es mehrere sein könnten, dann machen Sie Aussagen zur Rang-mäßigen Abstufung der Anteile! Sollte nur ein Produkt entstehen können, dann begründen Sie dies!
5. Vergleichen Sie die Alkene mit den Aromaten (Arenen)!
6. In einem Reaktions-Gefäß befindet sich ein Gemisch aus Isomeren von Z/E-Isomeren von Pent-2-en.
   a) Wieviele verschiedene Isomere sind im Gemisch enthalten? Begründen Sie mit Hilfe von Struktur-Formeln!
   b) Wieviele verschiedene Isomere findet man nach der Hydrierung aller Ausgangsstoff-Moleküle? Begründen Sie Ihre Meinung!
7. Übernehmen Sie die folgende Tabelle und füllen Sie diese vollständig aus!

	Alkane	Alkene	Alkine	Arene
Beispiel	Ethan	Ethen	Ethin	Benzen
Hybridisierung				
typischer Bindungs-Winkel				
räumliche Anordnung				
Anordnung der π-Elektronen				
funktionelle Gruppe bzw. Struktureinheit				
typische Reaktion(styp)en				
typische Reaktions-Produkte				

8. Geben Sie für die nummerierten Fragezeichen jeweils eine passende chemische Gleichung an! Als Ausgangs-Stoff soll der Alkan Propan verwendet werden!



9. Bestimmen Sie die Reaktions-Typen für die Reaktionen im obigen Schema!
10. Erweitern Sie das Schema um weitere Reaktionen und Stoff-Gruppen und ergänzen Sie fehlende / bekannte Reaktionen!
11. Übernehmen Sie die weiter hinten folgende Systematisierungs-Tabelle und füllen Sie diese aus!

(c,p) 2009-2026 lsp: dre

12. Erstellen Sie 20 Lern-Karten im Format A6 (Vorderseite: Frage / Aufgabe; Rückseite: Antwort / Lösung) zum Thema Cohlenwasserstoffe! Tauschen Sie Ihre Karten mit anderen Kursteilnehmern und kontrollieren Sie Ihr Wissen und Können!

13. Isobuten ist eine wichtige Basis-Chemikalie in der Chemie-Industrie. Jährlich wird davon mehr als 1 Mio. Tonnen produziert und weiterverarbeitet.



Isobuten ist ein farbloses, brennbares Gas mit einer größeren Dichte als Luft (2,6 kg/m³).

Mit Luft oder reinem Sauerstoff bildet es explosive Gemische. In größeren Konzentrationen wirkt es narkotisierend und erstickend. Eine Verflüssigung ist unter erhöhtenm Druck gut möglich.

Ein beliebte Verwendung ist die als Grundstoff für die Kaugummi-Herstellung. Dazu wird Isobuten polymerisert.

a) Stellen Sie die Summen- und die vollständige Struktur-Formel auf!

b) Geben Sie den systematischen (IUPAC-)Namen von Isobuten an!

c) Stellen Sie ein Reaktions-Schema für die Bildung von Polyisobuten auf! (Das Reaktions-Prinzip und die Ketten-Verlängerung muss erkennbar sein!)

d) Geben Sie 2 weitere Reaktionen (unterschiedlicher Reaktions-Typen) für Isobuten an! Stellen Sie jeweils eine Beispiel-Gleichung auf und ermitteln Sie den Reaktions-Typ!

e) Bei der vollständigen Oxidation von Isobuten wurden 175 ml CO_2 gebildet. Welches Volumen an Isobuten wurde dabei verbrannt? Geben Sie auch die Masse des Isobuten's an!

<u>für die gehobene Anspruchsebene:</u>

14. ergänzend zur vorlaufenden Aufgabe!

Einen Großteil des Isobuten's gewinnt man durch fraktionierte Destillation von Erdöl. In der "Isobuten"-Fraktion befinden sich noch weitere Isomere von Buten. Um die verschiedenen Bestandteile voneinander zu trennen, bringt man die Fraktion mit Wasser zur Reaktion. Isobuten reagiert dabei 100x schneller als die anderen Isomere. Als Katalysator verwendet man hier Schwefelsäure. Das vorrangig gebildete 2-Methylpropan-2-ol wird anschließend durch Erhitzen wieder in Isobuten und Wasser gespalten.

In modernen Anlagen setzt man heute Zeolithe zur Trennung der verschieden Bestandteile der Isobuten-Fraktion ein. Zeolithe sind kristalline, grobporige, schwamm-artige Feststoffe (Alumosilikate), die sich durch selektives Adsorptions-Verhalten auszeichnen.

a) Geben Sie mindestens 2 andere Isomere des Buten's als Struktur-Formel an (außer Isobuten!) und benennen Sie diese exakt!

b) Geben Sie die Reaktionen für die chemische Abtrennung des Isobuten's aus der Iosobuten-Fraktion an!

c) Erläutern Sie, aufgrund welcher strukturellen Eigenschaft(en) Isobuten besonders gut in bestimmten Zeolithen eingelagert wird! (Gehen Sie dabei vergleichend auf andere Iosomere des Buten's ein!)

(c,p) 2009-2026 lsp: dre

d) Ein verschlossener Glas-Kolben mit einem Eigengewicht von 56 g enthält statt Luft Isobuten. Umwieviel Prozent ist der Kolben schwerer / leichter im Vergleich zur Luft-Füllung?

(c,p) 2009-2026 lsp: dre

Übersicht / Vergleich / Systematisierung / Gegenüberstellung Kohlenwasserstoffe

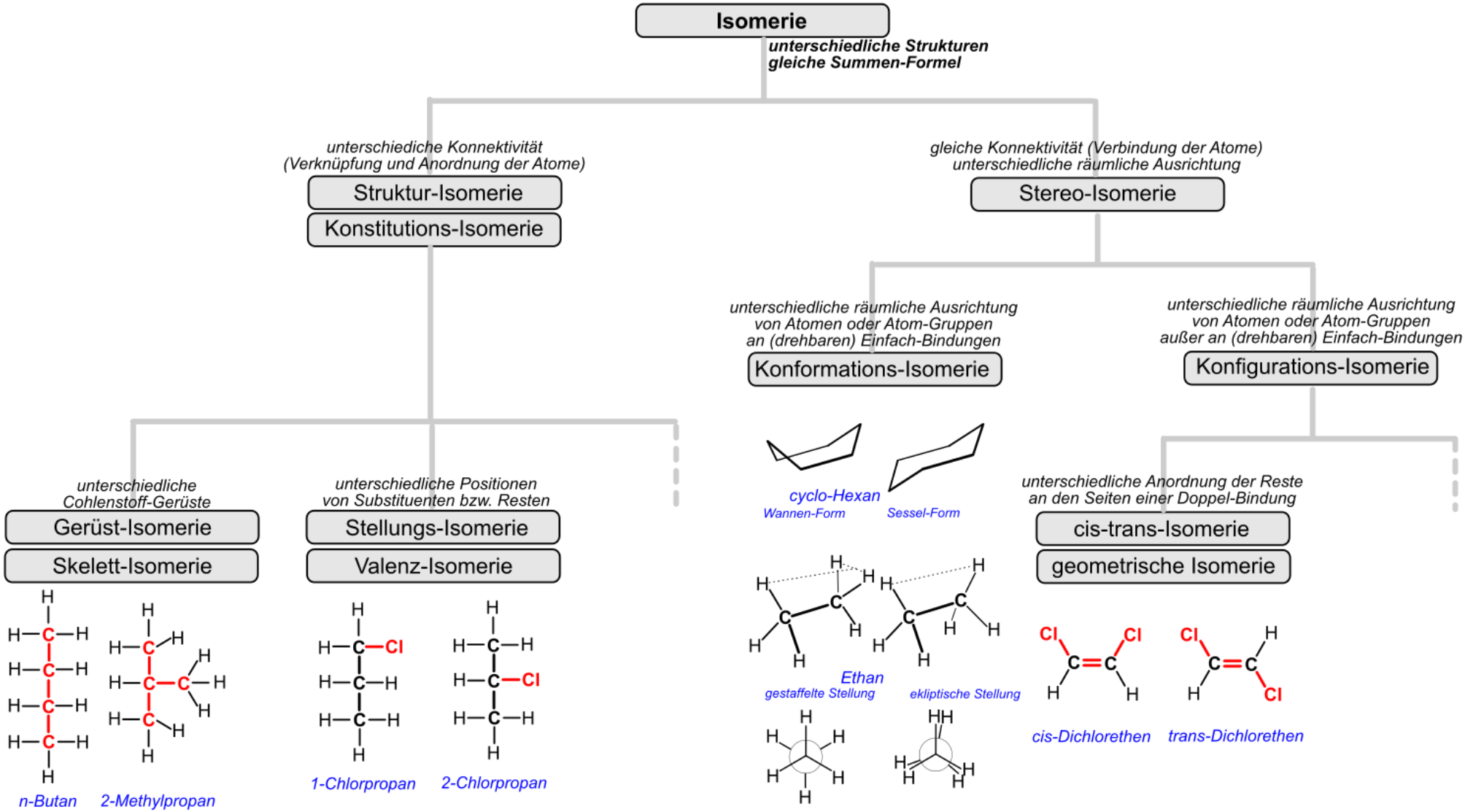
	Alkane	Alkene	Alkine	Arene
allg. Summenformel				
Namens-Endung				
C-C-Bindungen				
Struktur Isomerie				
Eigenschaften (allg.)				
- physikalische				
- Tendenz in homol. Reihe				
- gemeinsame phys. E.				
- chemische (typische Reaktionen)				

(c,p) 2009-2026 lsp: dre

	Alkane	Alkene	Alkine	Arene
- Besonderheiten				
- gemeinsame chem. E.				
- Nachweise Hinweis-Reaktionen				
natürliche Vorkommen				
Herstellung				
Verwendung				
bekannte Vertreter				
Verwendung spez. Vertreter				
Beispiel C3	Propan	Propen	Propin	C6: Benzen
Bau, Formel				
Eigenschaften				
Verwendung				

(c,p) 2009-2026 lsp: dre

Isomerie-Arten (für Kohlenwasserstoffe und Halogen-Derivate)



(c,p) 2009-2026 lsp: dre

Literatur und Quellen:

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

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

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

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

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

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

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

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

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

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

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

 (c,p) 2009-2026 lern-soft-projekt: drews

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

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

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

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

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

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

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

/1/ :

ISBN

/1/ :

ISBN

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

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

Abbildungen und Skizzen entstammen den folgende ClipArt-Sammlungen:

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

/B/

andere Quellen sind direkt angegeben.

Alle anderen Abbildungen sind geistiges Eigentum:

/I/ lern-soft-projekt: drews (c,p) 2006 – 2026 lsp: dre
für die Verwendung außerhalb dieses Skriptes gilt für sie die Lizenz:

creative commons **CC-BY-NC-SA**

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

verwendete freie Software:

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

⊞- (c,p)1998 - 2026 lern-soft-projekt: drews -⊟
⊞- drews@lern-soft-projekt.de -⊟
⊞- http://www.lern-soft-projekt.de -⊟
⊞- 18069 Rostock; Luise-Otto-Peters-Ring 25 -⊟
⊞- Tel/AB (0381) 760 12 18 FAX 760 12 11 -⊟