

Empfohlene Video zur Wiederholung:



Bindungsverhältnisse im Benzen (24:53 min)

<https://youtu.be/0mp1B8QgNKU>



Aromaten Einführung (03:28 min)

[https://youtu.be/CcXnSB\\_Y7yo](https://youtu.be/CcXnSB_Y7yo)

1. Erklären Sie am Beispiel des *Benzens* ausführlich und mit konkreten Strukturformeln den Begriff der *Mesomerie*.
2. Welche strukturellen und bindungstheoretische Gemeinsamkeiten besitzen aromatische Verbindungen?
3. Anthracen und Phenanthren sind dreikernige *kondensierte Aromaten* aus Sechseringen. Sie besitzen beide die Summenformel  $C_{14}H_{10}$  und sind also zueinander isomer. Geben Sie die beiden Strukturformeln vor und begründen Sie ob die HÜCKEL-Regel erfüllt ist. *Hinweis: Allgemein ist bei mehrkernigen Aromaten die HÜCKEL-Regel häufig nicht erfüllt. Sie gilt streng nur für einkernige Aromaten!*
4. Benzen reagiert mit Chlorethan zu *Ethylbenzen*.
  - a) Geben Sie den Namen des Reaktionstyps an. Formulieren Sie die Reaktionsgleichung.
  - b) Das Ethylbenzen kann seinerseits je nach Reaktionsbedingungen auf zwei verschiedenen Varianten mit Chlor reagieren.
    - I) Bei höheren Temperaturen reagiert die Seitenkette mit Chlor. Formulieren Sie eine mögliche Reaktionsgleichung und benennen Sie den Reaktionsmechanismus.
    - II) Bei tiefen Temperaturen und Anwesenheit von Katalysatoren reagiert der aromatische Kern mit Chlor. Formulieren Sie eine mögliche Reaktionsgleichung.
5. Benzen und Benzoesäure ( $C_6H_5-COOH$ ) sind aromatische Verbindungen. Leiten Sie anhand der Strukturformeln ausführlich das Löslichkeitsverhalten ab und gehen Sie auch auf Unterschiede zwischen diesen beiden Verbindungen ein. Legen Sie bei Ihren Ausführungen ein besonderes Augenmerk auf eine hohe sprachliche Qualität in Wortwahl, Satzbau und Stil, die aber eine leichte Verständlichkeit mit berücksichtigt. Nutzen Sie an den passenden Stellen ferner ausführlich die Fachsprache.
6. Reaktion von Brom mit Benzen
  - a) Formulieren Sie die Bruttoreaktionsgleichung in Strukturformeln und benennen Sie die Produkte.
  - b) Berechnen Sie die Masse an einzusetzendem Benzen, um 100 g des organischen Reaktionsprodukts zu erhalten, wenn die Reaktion mit einer Ausbeute von 80% abläuft (d.h. nur 80% der Ausgangsstoffe reagieren in der gewünschten Art und Weise)

## Lösungen – ohne Gewähr

- Die Antworten auf die Fragen gehen aus didaktischen Gründen häufig über die verlangte Antwort etwas hinaus. Manche sind dagegen auch nur stichwortartig beantwortet.
- Machen Sie mich bitte formlos per E-Mail auf Fehler aufmerksam. Ihre Mitschüler profitieren auch davon, wenn ich Fehler in Aufgabenstellungen oder Musterlösungen beseitige.
- Die Nummerierung und die Aufgabentexte mit dem im Unterricht ausgeteilten Arbeitsblättern abgleichen: Manchmal gibt es Abweichungen! Häufig gibt es auch Bonusaufgaben am Ende des Dokuments!
- Statt ausführlichen Strukturformeln mit freien  $e^-$ -Paaren sind häufig nur Halbstrukturformeln wiedergegeben.

### 1. Mesomerie am Beispiel des Benzens

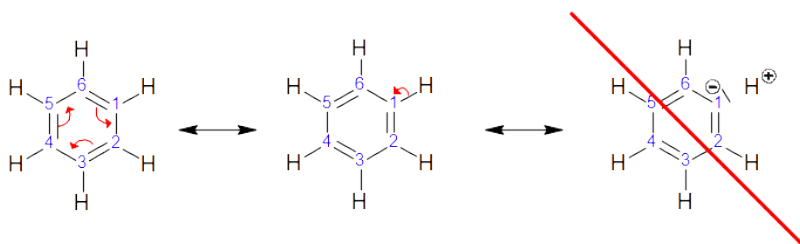
Bitte schauen Sie zu Beginn folgende Ausführungen an, bei Zeitknappheit ab der 2.

Minute: Was ist Mesomerie?: <https://youtu.be/AxtFfYnrVI>



Mesomerie bezeichnet den Sachverhalt, dass die Bindungsverhältnisse einer Verbindung nicht durch eine einzige Strukturformel (Valenzstrichformel) symbolisiert werden können. Valenzstrichformeln gehen davon aus, dass ganzzahlige Elektronenpaarbindungen vorliegen (also Einfachbindung, Doppelbindung, Dreifachbindung etc.). Es gibt aber Bindungszustände die dazwischen liegen, beispielsweise 1,3333-fach oder 1,5-fach-Bindung. Wenn Mesomerie vorliegt, müssen also mehrere Strukturformeln angegeben werden, sie werden dann **mesomere Grenzformeln** genannt. In ihrer Gesamtheit stellen sie den Bindungszustand dar.

Benzen ist die wichtigste und bekannteste Aromat. Es liegt Mesomerie vor. Die mesomeren Grenzformeln lauten:



Diese mesomere Grenzformel ist energiereicher, da sie bindungsärmer ist. Solche Grenzformeln werden nicht mit angegeben.

### Allgemeines zur Herleitung mesomerer Grenzformeln

- Die mesomeren Grenzformeln werden durch Umklappen von freien und/oder gebundenen Elektronenpaaren entwickelt. Das Atomgrundgerüst bleibt im Raum dabei unverändert.
- Die mesomeren Grenzformeln müssen alle untereinander ähnliche Energie besitzen. Ist die Energie einer hypothetischen mesomeren Grenzformel höher als bei den anderen Grenzformeln (z.B. Edelgasregel verletzt oder geringere Anzahl an Bindungen), so trägt diese Grenzformel kaum zur realen Struktur bei. Sie wird dann in der Darstellung der mesomeren Grenzformel weggelassen.

### 2.

Bitte schauen Sie zu Beginn folgende Ausführungen an (3:28 min): Aromaten –

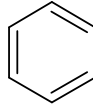
Einführung: [https://youtu.be/CcXnSB\\_Y7yo](https://youtu.be/CcXnSB_Y7yo)



Folgende Bedingungen müssen erfüllt sein:

- Aromaten sind Verbindungen die vollständig ringförmig sind, oder einen ringförmigen Anteil haben.

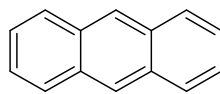
- In den mesomeren Grenzformeln des Rings treten durchgehend **konjugierte Doppelbindungen** (alternierend: Doppel, Einfach, Doppel, Einfach,...) auf oder zumindest  $4n+2$   $\pi$ -Elektronen (**HÜCKEL-Regel**), wobei  $n$  eine ganze Zahl ist).  **$\pi$ -Elektronen** sind alle Valenzelektronen im Ring, die über Einfachbindungen hinaus gehen: Benzen besitzt beispielsweise 6  $\pi$ -Elektronen. **NACHZÄHLEN IN DER UNTEREN FORMEL!**). Eine einzige mesomere Grenzformel gibt nicht den Bindungszustand vollständig wieder. Es gibt in aromatischen Molekül(teil)en **keine** Doppel- und Einfachbindungen, sondern nur Zwischenzustände! Deshalb müssen eigentlich mehrere mesomere Grenzformeln angegeben werden. Das wird häufig weggelassen, weil davor ausgegangen wird, dass der Leser dies weiß und jederzeit bei Bedarf selbst die fehlenden Grenzformeln entwickeln können. So findet sich für Benzen häufig die Skelettformel:



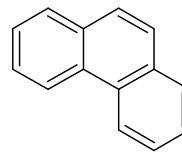
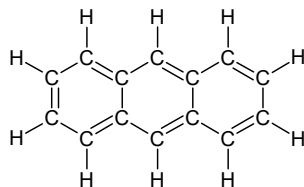
- Der Ring oder das Ringsystem muss *planar* sein.

### 3. Anthracen und Phenanthren

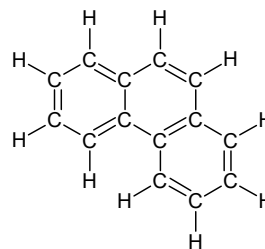
Es ist nur eine mesomere Grenzformel dargestellt. Als Skelettformel und auch als ausführliche Grenzformel.



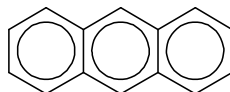
Anthracen



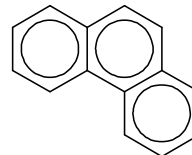
Phenanthren



In Wirklichkeit liegen ausschließlich 1,5-Fach-Bindungen vor. Es gibt zahlreiche weitere mesomere Grenzformeln, die nicht dargestellt sind. Man kann auch zusammenfassen schreiben:



Anthracen



Phenanthren

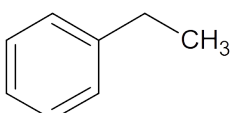
Alle Bedingungen eines Aromaten sind erfüllt (vgl. Aufgabe 2): topfebene Moleküle, durchgängig konjugiert. Hier ist auch die HÜCKEL-Regel erfüllt, denn es gibt 14  $\pi$ -Elektronen (also  $4 \cdot n + 2$ , mit  $n = 3$ ). Die Ladungswolke der  $\pi$ -Elektronen sind über das gesamte Ringsystem vollständig gleichmäßig verteilt, es liegen also keine zwischen 2 C-Atomen lokalisierte Doppelbindungen vor. Im Gegenteil: Die  $\pi$ -Elektronen sind **delokalisiert**.

4.

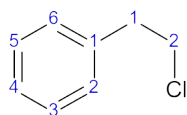
a) Es handelt sich um eine **aromatische Substitution**. In solchen Reaktionen wird ein H am aromatischen Rest R gegen einen organischen Rest  $R_1$  substituiert:  $R-H + R_1-X \rightleftharpoons R-R_1 + HX$ .

**WICHTIG:** Der aromatische Zustand wird am Ende wiederhergestellt! Vorübergehend (während des Ablaufs auf molekularer Ebene) wird er aufgehoben. Da die Aktivierungsenergie sehr hoch ist, schließlich wird ja der energiearme Zustand vorübergehend aufgehoben, wird für den Ablauf ein Katalysator benötigt.)

b) Es entsteht Phenylethan (Ethylbenzen) und HCl:

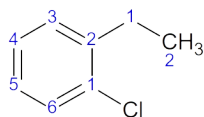


I) Durch eine radikalischen Substitution kommt es an der Seitenkette zur Chlorierung. Bei der Monosubstitution (1:1-Umsetzung von Cl<sub>2</sub> mit Aromat) entsteht (2-Chlorethyl)benzen und HCl ODER (1-Chlorethyl)benzen und HCl.

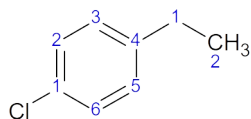


Beispiel: (2-chloroethyl)benzene

II) Hier kommt es zur elektrophilen Substitution am aromatischen Kern. Beispiele für mögliche Monosubstitutionsprodukte sind:



1-chloro-2-ethylbenzene



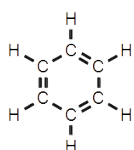
1-chloro-4-ethylbenzene

5.

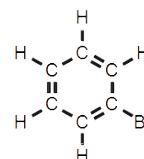
Benzen ist ein Kohlenwasserstoff. Im Molekül treten ausschließlich unpolare C-C-Bindungen und relativ unpolare C-H-Bindungen auf. Das zeigt sich daran, dass die **Elektronegativitätsdifferenz** Null oder zumindest klein ist. Aufgrund der Symmetrie des Moleküls ist dieses ohnehin vollständig unpolar. Es ist also kein **Dipol**. Unpolare Stoffe lösen sich gut in unpolaren Flüssigkeiten oder etwas allgemeiner formuliert: Ähnliche Stoffe lösen sich gut ineinander. So löst sich das unpolare Benzen in jedem beliebigen Verhältnis mit anderen Kohlenwasserstoff(gemisch)en, beispielsweise mit *n*-Pentan oder 2-Methylbutan oder Benzin. Die Löslichkeit beruht hier auf die **van-der-Waals-Kräfte: Zufällige Ladungsschwankungen (spontane Dipole) induzieren** bei benachbarten Molekülen ebenfalls Dipole. So kann es zur gegenseitigen Anziehung kommen. Da sich Benzen gut in unpolaren Medien löst, ist es also **lipophil**. In polaren Medien, wie beispielsweise Wasser, löst sich Benzen schlecht. Es sind kaum anziehende Wechselwirkungen zwischen Wassermolekülen und Benzenmolekülen möglich. Benzen ist zu **permanenten Dipol-Dipol-Wechselwirkungen** nicht in der Lage, da es unpolar ist. Es stellt also keinen Dipol dar. Auch **Wasserstoffbrückenbindungen** kann es nicht eingehen, weil ihm freie Elektronenpaare fehlen und keine polar gebundenen H-Atome (etwa O-H-Bindungen) vorkommen. Deshalb trennen sich die beiden Flüssigkeiten. Sie sind also nicht mischbar. Durch die **Phasentrennung** kann das System die zwischenmolekularen anziehenden Wechselwirkungen maximieren und den Kontakt der beiden Molekülsorten untereinander auf eine kleine **Phasengrenzfläche** beschränken. Innerhalb der beiden Phasen können die Moleküle mit ihresgleichen starke zwischenmolekulare Wechselwirkungen ausbilden: Benzen mit benachbarten Benzenmolekülen, Wasser mit benachbarten Wassermolekülen. Mit anderen Worten: Benzen meidet die Umgebung von Wasser, es ist **hydrophob**. Auch Benzoesäure ist eher als unpolar zu charakterisieren. Zwar liegt eine **polare Carboxylgruppe** vor, mit der H-Brücken zu Wassermolekülen ausgebildet werden können. Deshalb löst es sich auch deutlich besser in diesem. Es überwiegt bezüglich der Größe im Molekül jedoch der unpolare Ring. Man kann also noch nicht von einem **amphiphilen** Verhalten sprechen. Es handelt auch bei der Benzoesäure um eine lipophile und gleichzeitig hydrophobe Verbindung. Immerhin lösen sich 3,4 Gramm Benzoesäure pro Liter Wasser.

6.

a) +b)



Br<sub>2</sub> →



+ HBr

Massen

0,6369 mol · 78,11 g/mol ≈ 49,75 g  
bei 80% Ausbeute: 49,75 g : 0,8 ≈ 62,2 g

100 g

Stoffmengen

0,6369 mol

$$n = \frac{100\text{g}}{157 \frac{\text{g}}{\text{mol}}} \approx 0,6369 \text{ mol}$$

