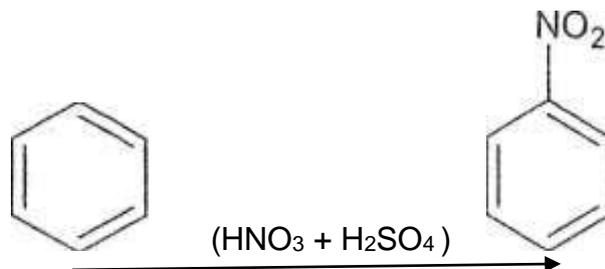


## G8 Abituraufgaben Chemie aromatische Kohlenwasserstoffe

2011/B1

2.2 Bereits 1826 gelang dem Kaufmann und Apotheker Otto Unverdorben die Darstellung von Anilin aus Indigo. Seit 1873 wird Anilin großtechnisch aus Benzol hergestellt.

Hierbei wird Benzol zunächst mit einem Gemisch aus Schwefelsäure und Salpetersäure nitriert:



In einem ersten Reaktionsschritt entstehen dabei Nitronium-Ionen ( $\text{NO}_2^+$ ):



Formulieren Sie den Reaktionsmechanismus für die Bildung von Nitrobenzol! aus Benzol und Nitronium-ionen ( $\text{NO}_2^+$ ) unter Mitverwendung mesomerer Grenzstrukturformeln! Der Einfluss eines Katalysators muss nicht berücksichtigt werden. [6 BE]

2012 A 2.2

2.2 Bei der Haarfärbung werden unter anderem leicht oxidierbare aromatische Verbindungen, z. B. Brenzcatechin (1,2-Dihydroxybenzol) auf das Haar gebracht. Das farblose Brenzcatechin wird in basischer Lösung durch Wasserstoffperoxid zum farbigen 1,2-Benzochinon oxidiert.

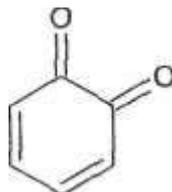


Abb. 2: Strukturformel von 1,2-Benzochinon

Entwickeln Sie über Teilgleichungen die Redoxgleichung für die Reaktion von Brenzcatechin mit Wasserstoffperoxid ( $\text{H}_2\text{O}_2$ )! [6 BE]

2.2 Eine wässrige Lösung von 1,2-Benzochinon ist bei pH-Werten über 7 braun gefärbt, während eine schwach saure Lösung dieser Substanz eine leichte Grünfärbung zeigt. Der pH-Wert einer Farbstofflösung soll auf 9,0 eingestellt werden. Dies kann entweder durch Zusatz von Natriumhydroxid oder Natriumacetat (Natriumethanoat) zu neutralem Wasser erfolgen. Zum Abwiegen steht eine Waage mit einem Wägebereich von  $10^{-3}\text{g}$  bis 100 g zur Verfügung. Berechnen Sie die Masse an Natriumhydroxid bzw. Natriumacetat, die in Wasser gelöst werden muss, um einen Liter Lösung mit dem pH-Wert von 9,0 herzustellen, und begründen Sie, welches Salz verwendet werden muss!  $\text{pK}_B$ : Natriumethanoat 9,25 [8 BE]

## 2013 C/1

- 1 Viele Kunst- und Farbstoffmoleküle enthalten aromatische Ringsysteme.
- 1.1 Die Grundlage für die Erforschung der Chemie der Aromaten legte Michael Faraday mit der Entdeckung von Benzol im Steinkohlenteer im Jahr 1862. Nach Aufklärung der Summenformel  $C_6H_6$  wurde unter anderem folgende Strukturformel vorgeschlagen:

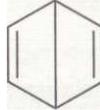


Abb. 1: Strukturformelvorschlag für Benzol nach James Dewar  
Zur Aufklärung der Struktur des Benzols wurden verschiedene Experimente durchgeführt. Im folgenden sind die Ergebnisse der Experimente dargestellt:

- I. Es gibt genau ein Monobrombenzol.
- II. Es gibt genau ein 1,2-Dibrombenzol.
- III. Es gibt genau drei Dibrombenzole.
- IV. Benzol reagiert bei Raumtemperatur im Dunkeln nicht mit Brom.

Stellen Sie ausgehend vom Strukturformelvorschlag nach Dewar unter Mitverwendung von Strukturformeln dar, dass die unter I bis IV angegebenen Beobachtungen mit diesem Strukturformelvorschlag nicht übereinstimmen!

[8 BE]

- 1.2 Aus Benzol können zahlreiche weitere aromatische Verbindungen hergestellt werden wie zum Beispiel Methylbenzol, das als Weichmacher in der Kunststoffindustrie Verwendung findet. Es kann durch Umsetzung von Chlormethan mit Benzol synthetisiert werden. Wie bei der Halogenierung von Benzol muss hierbei Aluminiumchlorid oder Eisen(III)-chlorid als Katalysator eingesetzt werden.  
Formulieren Sie den Mechanismus dieser elektrophilen aromatischen Substitution unter Mitverwendung mesomerer Grenzstrukturformeln! [8 BE]

## 2013/C2

- 1.1 Formulieren Sie den Reaktionsmechanismus der Nitrierung von Toluol zum 2-Nitrotoluol unter Mitverwendung mesomerer Grenzstrukturformeln! Als Elektrophil fungiert das Nitronium-Ion ( $NO_2^+$ ). [6 BE]

## 2014 C1

sekundäre Pflanzenstoffe sind charakteristisch für verschiedene Pflanzengruppen und besitzen oft eine spezifische ökologische Funktion, z. B. das Anlocken von Tieren mithilfe von Färb-, Duft- und Geschmacksstoffen, aber auch die Abwehr von Fraßfeinden. Die Gruppe der sekundären Pflanzenstoffe ist sehr heterogen, u. a. gehören hierzu die Polyphenole, bei denen mindestens zwei Hydroxy-Gruppen an einen aromatischen Ring gebunden sind.

- 1 Der Saft der Gerber-Akazie enthält das Polyphenol Catechin, aus dem früher durch Pyrolyse Brenzcatechin (1,2-Dihydroxybenzol) gewonnen wurde. Brenzcatechin ist ein Ausgangsmaterial für die Synthese verschiedener Farbstoffe, Duftstoffe und Arzneimittel. Die folgende Abbildung zeigt schematisch, wie sich heute Brenzcatechin aus Phenol im Labor synthetisieren lässt:

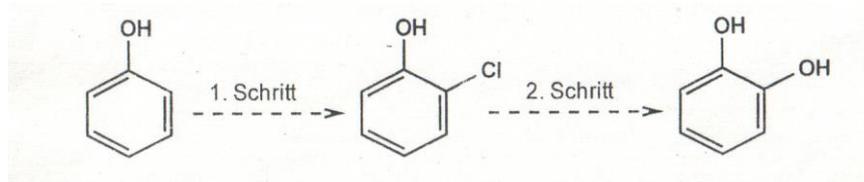
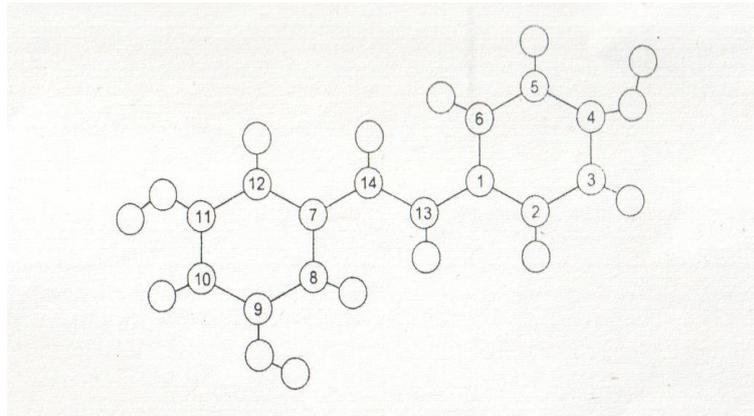


Abb. 1: Schritte der Brenzcatechin-Synthese im Labor

Formulieren Sie den Reaktionsmechanismus mit Strukturformeln für den ersten Schritt der Brenzcatechin-Synthese im Labor! Für Phenol kann vereinfacht die gleiche Reaktivität wie bei Benzol angenommen werden. [6 BE]

- 2 Im roten Traubensaft ist das antioxidativ wirkende Polyphenol (E)-Resveratrol ( $C_{14}H_{12}O_3$ ) enthalten. Forschungen konnten im Tierversuch eine lebensverlängernde Wirkung nachweisen und wecken das Interesse an Resveratrol als funktionellem Lebensmittelzusatz.

Die folgende Abbildung zeigt die modellhafte Darstellung eines (E)-Resveratrol-Moleküls:



An (E)-Resveratrol wurde eine schwingungsspektroskopische Strukturanalyse durchgeführt, deren Ergebnisse die folgende Tabelle zeigt:

Tab. 1: Bindungslängen der Kohlenstoff-Kohlenstoff-Bindungen in (E)- Resveratrol<sup>1</sup>  
[40 BE]

Abbildungen und Tabellen:

1 F. Billes, I. Mohammed-Ziegler, H. Mikosch, E. Tyihak: *Vibrational spectroscopy of resveratrol* In: *Spectrochimica Acta Part A*. 68. Jg. 2007, S. 671

Bindung	Länge in pm	Bindung	Länge in pm	Bindung	Länge in pm
<b>C1-C2</b>	140	<b>C6-C1</b>	140	<b>C11-C12</b>	137
<b>C2-C3</b>	137	<b>C7-C8</b>	140	<b>C12-C7</b>	140
<b>C3-C4</b>	139	<b>C8-C9</b>	137	<b>C7-C14</b>	146
<b>C4-C5</b>	138	<b>C9-C10</b>	138	<b>C1-C13</b>	147
<b>C5-C6</b>	137	<b>C10-C11</b>	137	<b>C13-C14</b>	133

Strukturanalysen ergaben eine Bindungslänge der Kohlenstoff- Kohlenstoff-Bindung im Ethan-Molekül von 154 pm und im Ethen- Molekül von 134 pm.

Zeichnen Sie die Strukturformel eines (E)-Resveratrol-Moleküls und erklären Sie die Bindungslänge zwischen den Kohlenstoffatomen C1 und C2 im (E)-Resveratrol-Molekül im Vergleich zu den Bindungslängen zwischen den Kohlenstoffatomen im Ethan- und im Ethen-Molekül! [7 BE]

- 3 Die Löslichkeit von Polyphenolen in Wasser ist pH-abhängig. Erläutern Sie diese Beobachtung! [6 BE]

### 2014 C2

Ambroxol ist eine Substanz mit schleimlösender Wirkung, die in vielen Medikamenten zur Behandlung von feststehendem Husten eingesetzt wird.

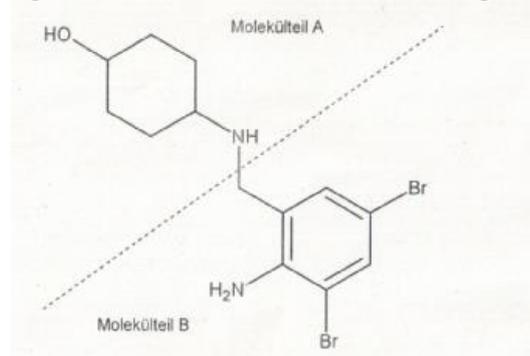


Abb. 1: Strukturformel von Ambroxol

- Bei der Herstellung von Ambroxol werden zunächst die Vorstufen der Molekülteile A und B getrennt synthetisiert. Zur Synthese der Vorstufe von Molekülteil A wird Phenol mit Nitriersäure zu 4-Nitrophenol umgesetzt. Durch Reaktion mit Zinn in essigsaurer Lösung reagiert 4-Nitrophenol zu 4-Aminophenol, das anschließend durch katalytische Hydrierung zu 4-Aminocyclohexanol reduziert wird. Formulieren Sie den Reaktionsmechanismus mit Strukturformeln für die Bildung von 4-Nitrophenol aus Phenol! Das reagierende Teilchen in der Nitriersäure ist das Nitronium-Ion ( $\text{NO}_2^+$ ). Für Phenol kann vereinfacht die gleiche Reaktivität wie bei Benzol angenommen werden. [6BE ]
- Im Ambroxolmolekül finden sich zwei Ringstrukturen aus Kohlenstoffatomen. Vergleichen Sie die Molekülgeometrie dieser Ringstrukturen! [6 BE]  
Um den Wirkstoff Ambroxol haltbarer zu machen, wird er mit Wasserstoffchlorid versetzt und so in Ambroxolhydrochlorid überführt. Die Protonierung des Ambroxols erfolgt dabei an einem der Stickstoffatome. Begründen Sie unter Verwendung einer weiteren Grenzstrukturformel, welches Stickstoffatom bevorzugt protoniert wird! [6 BE]
- Ambroxolsaft wird in braunen Plastikflaschen aus Polyethylenterephthalat (PET) vertrieben. PET-Einwegflaschen werden in Deutschland größtenteils werkstofflich recycelt. Hierbei wird in einem Verfahren A durch Zerkleinern, Reinigen und Abtrennen anderer Bestandteile ein Teil des PET als so genannte „Flakes“ zurückgewonnen, aus denen nach Zusatz von frischem PET erneut Flaschen hergestellt werden können. In einem Verfahren B können die PET-Abfälle alternativ in einem rohstofflichen Recycling-Verfahren nach Reinigen und Abtrennen anderer Kunststoffabfälle in einer basischen

Lösung unter 20 bar Druck und bei einer Temperatur von 200 °C nahezu vollständig in die Kunststoff- Monomere zerlegt werden.

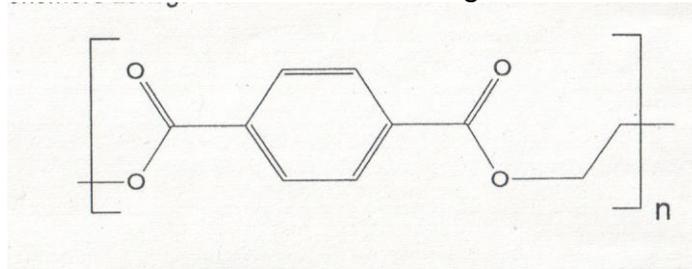


Abb. 2: Strukturformelausschnitt von PET

- 4.1 Formulieren Sie die Strukturformelgleichung für die Reaktion bei Verfahren B und benennen Sie den Reaktionstyp! [4 BE]
- 4.2 Diskutieren Sie Vor- und Nachteile beider Recycling-Verfahren und gehen Sie dabei auf die prinzipielle Notwendigkeit des Kunststoff- Recyclings ein! [6BE]

### 2015/C1

Vanillin ( $C_8H_8O_3$ ) ist der weltweit am häufigsten produzierte Aromastoff. Es wird unter anderem in Getränken, Speiseeis und Backwaren verwendet.

- 1 Vanillin kann in zwei tautomeren Formen auftreten. Als Tautomere bezeichnet man Isomere, die sich reversibel ineinander umlagern können.

Die folgende Abbildung zeigt das Tautomerie-Gleichgewicht des Vanillins.

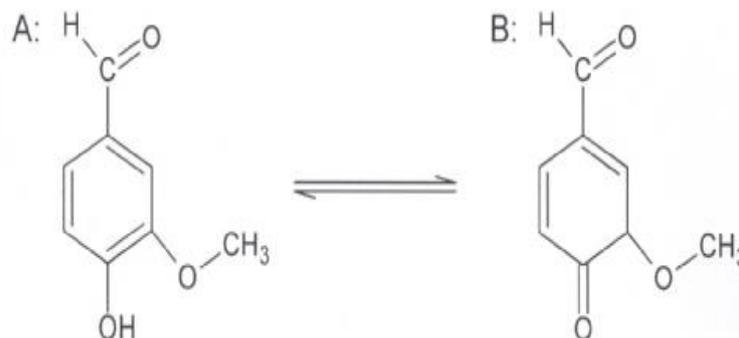


Abb. 1: Tautomerie-Gleichgewicht des Vanillins

Begründen Sie unter Berücksichtigung energetischer Aspekte, warum Vanillin bevorzugt in Form A vorliegt! [4 BE]

- 2 Der Inhalt eines Päckchens Vanillinzucker hat eine Masse von 8,0 g und enthält neben dem Aromastoff Vanillin nur Saccharose. Der Vanillin-gehalt muss aufgrund einer Norm zwischen 1,6 und 2,4 % liegen. Die Gehaltsbestimmung von Vanillin kann durch Titration mit Natronlauge erfolgen. Hierbei werden zur vollständigen Neutralisation des Vanillins aus einem Päckchen Vanillinzucker 8,6 ml Natronlauge mit der Konzentration  $c(\text{NaOH}) = 0,10 \text{ mol/l}$  benötigt.

Ermitteln Sie, ob der Gehalt der Probe den Vorgaben der Norm entspricht! [8 BE]

- 3 Die folgende Abbildung zeigt die Titrationskurve der Titration einer Vanillinlösung mit Natronlauge der gleichen Konzentration:

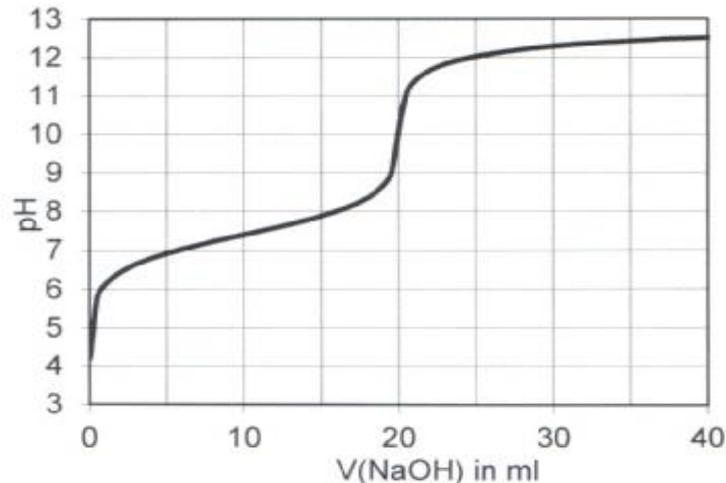


Abb. 2: Titrationskurve der Titration einer Vanillinlösung mit Natronlauge

- 3.1 Leiten Sie aus der Titrationskurve den  $pK_s$ -Wert des Vanillins ab! [5 BE]  
 3.2 Für eine weitere Titration wird der Indikator Methylrot mit einem Umschlagsbereich zwischen  $pH = 4,4$  und  $pH = 6,2$  verwendet. Beurteilen Sie, ob die Titration mit diesem Indikator das richtige Ergebnis liefern kann! [3 BE]

### 2015/C2

Der Verbrauch an Dieselkraftstoff liegt in Deutschland jährlich bei etwa 30 Millionen Tonnen. Damit ist Diesel der prozentual wichtigste Energieträger im Verkehrssektor.

- 1 Dieselkraftstoff wird im Wesentlichen durch fraktionierte Destillation aus fossilem Rohöl gewonnen und hat einen Siedebereich von ca.  $170\text{ }^\circ\text{C}$  bis  $390\text{ }^\circ\text{C}$ , da sich das Gemisch aus mehreren Hundert verschiedenen Verbindungen zusammensetzt. Tabelle 1 fasst die wesentlichen Substanzgruppen im Dieselkraftstoff zusammen:

Tab. 1: Zusammensetzung von Dieselkraftstoff<sup>1</sup>

Abbildungen und Tabellen:

<sup>1</sup> verändert nach: *Dieselmotoren – Anforderungen, Qualität, Perspektiven.*

[www.fip.de/fileadmin/pdf\\_s/Aral-Dieselmotoren.pdf](http://www.fip.de/fileadmin/pdf_s/Aral-Dieselmotoren.pdf), zuletzt aufgerufen am 19.11.2014

- 1.1 Die im Dieselkraftstoff enthaltenen Alkane und Aromaten reagieren unter unterschiedlichen Bedingungen mit Halogenen. Dabei finden in beiden Fällen Substitutionsreaktionen statt. Erklären Sie den Begriff Substitutionsreaktion und formulieren Sie exemplarisch anhand je einer Verbindung des Dieselkraftstoffs eine Reaktionsgleichung für die Umsetzung von Chlor mit einem Alkan bzw. einem Aromaten! [7 BE]  
 1.2 Dieselkraftstoff enthält einen hohen Anteil an Indan.

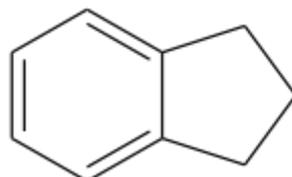


Abb. 1: Strukturformel von Indan

Beschreiben Sie die Molekülgeometrie des Indanmoleküls! [6 BE]

- 2 Pflanzenöle unterscheiden sich von mineralischem Dieselkraftstoff in wichtigen Kenngrößen, z. B. in der Viskosität. Sie können jedoch durch entsprechende chemische Prozesse in geeignete Kraftstoffe umgewandelt werden. Das Fettsäuremuster hierfür relevanter Öle ist in Tabelle 2 wiedergegeben.

Tab. 2: Fettsäuremuster verschiedener Öle (prozentuale Durchschnittswerte)<sup>2</sup>

	Palmitin- säure (Hexadecan- säure)	Palmitol- einsäure (Z- Hexadeca- 9-ensäure)	Stearin- säure (Octadecan- säure)	Öl- säure (Z- Octadeca- 9-ensäure)	Linol- säure (Z,Z- Octadeca- 9,12- diensäure)	Linolen- säure (Z,Z,Z- Octadeca- 9,12,15- triensäure)
Rapsöl	4,0	-	1,5	63,0	20,0	9,0
Sonnen- blumenöl	6,5	-	5,0	23,0	63,0	<0,5
Oliveneröl	11,5	1,5	2,5	75,0	7,5	1,0
Palmöl	43,8	0,5	5,0	39,0	10,0	0,2

<sup>2</sup> verändert nach: M. Kaltschmitt: *Energie aus Biomasse*. Springer Verlag, Berlin, 2009, 2. Auflage

- 2.1 Dieselkraftstoff enthält in Deutschland derzeit eine Beimischung von maximal 7 % Fettsäuremethylestern (Biodiesel). Biodiesel wird hierzulande vor allem aus Rapsöl hergestellt. Dabei wird das Öl mit Methanol zur Reaktion gebracht. Formulieren Sie für die Umsetzung eines charakteristischen Fettmoleküls aus dem Rapsöl mit Methanol eine Strukturformelgleichung! [7 BE]
- 2.2 Ein alternatives Verfahren zur Gewinnung von Kraftstoffen aus Pflanzenölen läuft über die vollständige Hydrierung der Öle mit Wasserstoff. Hierbei werden alle im Fettmolekül vorhandenen Sauerstoffatome zu Wassermolekülen umgesetzt und die Kohlenstoffketten nicht gebrochen. Erklären Sie, weshalb bei der Hydrierung aller in der Tabelle genannten

Öle stets ein Produktgemisch entsteht, das neben Wasser nur noch drei andere Stoffe enthält, und beurteilen Sie, welche dieser drei Stoffe dem mineralischem Dieselkraftstoff problemlos beigemischt werden können!

[8 BE]

3 Um zu verhindern, dass steuerbegünstigtes Heizöl als Kraftstoff in Fahrzeugen verwendet wird, wird dieses mit dem Farbstoff Sudan I eingefärbt.

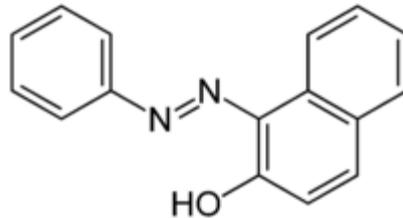


Abb. 2: Strukturformel von Sudan I

Begründen Sie die Farbigkeit dieser Verbindung unter Mitverwendung einer weiteren Grenzstrukturformel! [5 BE]

#### 2016 B1

Schokolade enthält eine Reihe pharmakologisch wirksamer Substanzen. So kann 2-Phenylethylamin (1-Amino-2-phenylethan) den Stimmungszustand des Menschen beeinflussen. Phenylethylamin und das strukturell ähnliche Anilin können beide als Base reagieren, besitzen aber unterschiedliche  $pK_B$ -Werte.

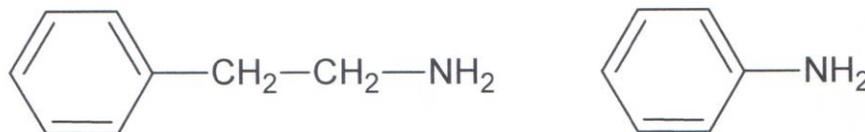


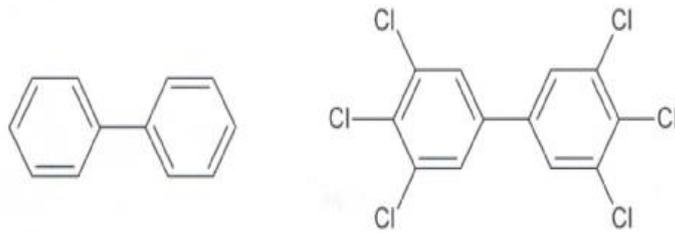
Abb. 5: Strukturformeln von Phenylethylamin und Anilin

Begründen Sie den Unterschied in den  $pK_B$ -Werten anhand mesomerer Grenzstrukturformeln! [5 BE]

#### 2017 C 1 Lachs

Lachs ist ein geschätzter Speisefisch. Da der Bestand an wildlebenden Lachsen stark zurückgegangen ist, werden Lachse in Aquakulturen gezüchtet. Während Wildlachs einen Fettgehalt von etwa 6 % aufweist, enthalten Lachse aus Aquakulturen, die vor allem mit Fischmehl und -öl gefüttert werden, ca. 13 % Fett. Die deutsche Gesellschaft für Ernährung empfiehlt den wöchentlichen Verzehr von Seefisch, wie z. B. Lachs, warnt aber gleichzeitig vor dem hohen Fettgehalt und einer eventuellen Schadstoffbelastung der Fische. 1 Krebserregende polychlorierte Biphenyle (PCB) reichern sich aufgrund ihrer Langlebigkeit in der Nahrungskette an. Deshalb wird der im deutschen Lebensmittelhandel angebotene Lachs regelmäßig auf die Belastung mit PCB untersucht.

Polychlorierte Biphenyle sind Verbindungen mit einem Biphenyl-Grundgerüst, bei dem ein oder mehrere Wasserstoff-Atome durch Chlor-Atome ersetzt sind. Ein Beispiel ist PCB 169.



**Abb. 1: Strukturformeln von Biphenyl (links) und PCB 169 (rechts)**

1.1 Im Jahr 2004 wurde der PCB-Gehalt in Stichproben ermittelt:

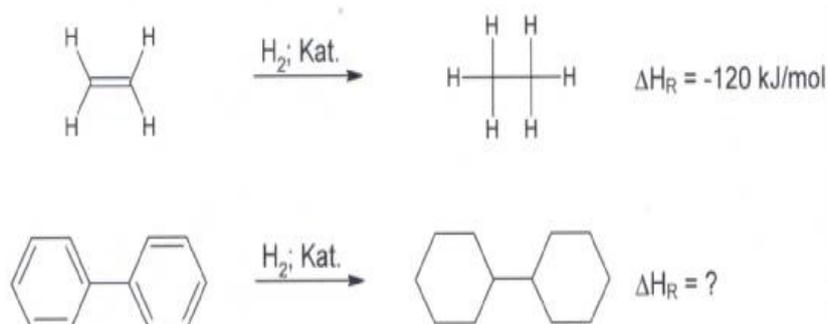
	PCB-Gehalt pro Kilogramm Fisch
Lachs aus Aquakulturen	0,0055
Wildlachs	< 0,0002 mg

**Tab. 1: PCB-Gehalt in Lachs verschiedener Herkunft**

Stellen Sie ausgehend von der Struktur des PCB 169 eine begründete Hypothese auf, die den unterschiedlichen PCB-Gehalt erklärt. [5 BE]

1.2 Bei der industriellen Synthese von polychlorierten Biphenylen, die seit Ende der 1970er Jahre verboten ist, wurde Biphenyl mit einem geeigneten Katalysator und Chlor zur Reaktion gebracht. Je nach Reaktionsbedingungen bilden sich dabei unterschiedlich stark chlorierte Biphenyle. Formulieren Sie den Reaktionsmechanismus für die Bildung eines monochlorierten Biphenyls mit Strukturformeln

3 Ungesättigte Verbindungen wie Ethen und Biphenyl lassen sich in exothermen Reaktionen zu gesättigten Verbindungen hydrieren:



**Abb. 2: Hydrierung von Ethen und Biphenyl**

Schätzwert 1	Schätzwert 2	Schätzwert 3
$H_R = - 720 \text{ kJ/mol}$	$H_R = - 460 \text{ kJ/mol}$	$H_R = - 950 \text{ kJ/mol}$

Tab. 2: Schätzwerte zur Hydrierungsenthalpie von Biphenyl

Wählen Sie aus der Tabelle einen plausiblen Wert für die Hydrierungsenthalpie von Biphenyl aus und begründen Sie Ihre Entscheidung. [5 BE]

### 2018/A1

- 2 Häufig enthält moderne Zahnpasta Triclosan, um Karies verursachende Bakterien abzutöten.

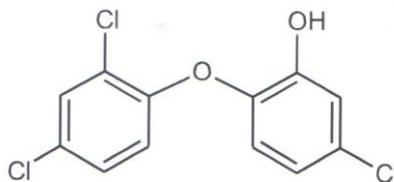


Abb. 3: Strukturformel von Triclosan

- 2.1 Ein Zwischenprodukt bei der Herstellung von Triclosan im Labor ist 1,4-Dichlor-2-nitrobenzol, das bei der Reaktion von 1,4-Dichlorbenzol mit Nitriersäure entsteht. Als elektrophiles Teilchen reagiert hierbei das Nitronium-Ion  $\text{NO}_2^+$

Formulieren Sie den Reaktionsmechanismus für die Bildung von 1,4-Dichlor-2-nitrobenzol mit Strukturformeln. [7 BE]

- 2.2 In Tierversuchen konnte nachgewiesen werden, dass Triclosan Einfluss auf das Hormonsystem der Tiere hat und Krebs auslösen kann. Bewerten Sie anhand zweier Aspekte die Durchführung von Tierversuchen zur Untersuchung der Nebenwirkungen von Triclosan. [4 BE]

### 2019 B1

- 2 Schadstoffe, wie Cadmium-Ionen oder Aromaten, sind für viele Organismen giftig und müssen aus dem Abwasser entfernt werden.

- 2.1 Aus Industrieanlagen können z. B. Phenol und 4-Chlorphenol ins Abwasser gelangen.

2.1.1 Das Lösen von Phenol in Wasser verändert den pH-Wert. Erklären Sie diesen Sachverhalt mithilfe von Grenzstrukturformeln. [6 BE]

2.1.2 Formulieren Sie den Mechanismus der Synthese von 4-Chlorphenol ausgehend von Phenol. [6 BE]

