

Gemeinsame Aufgabenpools der Länder

Pool für das Jahr 2025

Aufgaben für das Fach Chemie

Kurzbeschreibung

Aufgabentitel	Die Chemie der Parfüme
Anforderungsniveau	grundlegend
Inhaltsbereiche	♦ Stoffe, Strukturen, Eigenschaften ♦ Verbindungen mit funktionellen Gruppen ♦ Strukturen ausgewählter organischer und anorganischer Stoffe ♦ Arbeitsweisen ♦ Qualitative Analyse
Materialien	♦ M 1 Ester als Duftstoffe ♦ M 2 Grundlagen zum Riechvorgang ♦ M 3 Komposition eines Parfüms ♦ M 4 Empfehlungen für Kauf und die Verwendung eines Parfüms ♦ M 5 Sandal-Pentanol oder natürliches Sandelholzöl?
Quellenangaben	♦ M 2: König, J. (2011, 15. Dezember). <i>Der richtige Riecher: RUB-Forscher entschlüsseln Interaktion von Duftstoffen und Riechrezeptoren</i>. https://idw-online.de/de/news455907 (Zugriff am: 23.03.2024) ♦ M 3: Slaby, P. (2006): <i>Mit Düften experimentieren</i>. http://www.chemikus.de/download/handout_duft.pdf (Zugriff am: 23.03.2024) ♦ M 5: ♦ Hauthal, H. G. & Henning, K. (2013, Dezember): <i>Jubiläum: 60. SEPAWA-Kongress und 9. European Detergents Conference 2013</i>. Deutsche Gesellschaft der Parfümeure. https://www.dgp-die-parfumeure.de/attachments/article/29/Kongressbericht_SEPAWA_2013.pdf (Zugriff am: 23.03.2024) ♦ Stark, G. (2006, 1. Dezember). <i>Sandelholz - Ätherisches Öl und Anwendung</i>. https://www.satureja.com/i/sandelholz-aetherisches-oel-und-anwendung (Zugriff am: 23.03.2024)
Hilfsmittel	♦ digitales Hilfsmittel, das mindestens die Funktionalität eines WTR hat

	♦ mathematisch-naturwissenschaftliche Formelsammlung
fachpraktischer Anteil	nein

1 Aufgabe

Die Chemie der Parfüme

Ursprünglich extrahierte man zur Herstellung der Parfüme Duftstoffe aus Pflanzen oder aus Drüsensekreten von Tieren. Im Jahre 1921 wurde „Chanel N° 5“ vorgestellt, eines der ersten synthetisch hergestellten Parfüme. Heute entstammen Parfüme überwiegend chemischen Laboratorien und sind häufig „vollsynthetisch“.

	BE
1 Formulieren Sie die Reaktionsgleichung zur Bildung des Ester-Moleküls aus Material 1 unter Verwendung von Strukturformeln und benennen Sie die Edukte der Reaktion (M 1). Erklären Sie anhand des Struktur-Eigenschaft-Konzepts die Löslichkeit von kurzkettigen Estern in Ethanol (M 1).	7
2 Erklären Sie anhand des Struktur-Eigenschaft-Konzepts die Eignung von kurzkettigen Estern als Duftstoffe (M 1, M 2). Stellen Sie die Wasserstoffbrücke zwischen einem Ester-Molekül und dem Riechrezeptor-Molekül mit Strukturformeln dar (M 1, M 2).	6
3 Planen Sie ein experimentelles Vorgehen zur Unterscheidung der drei in Abbildung 3 dargestellten Duftkomponenten unter Angabe der zu erwartenden Beobachtungen (M 3). Formulieren Sie für eine der positiv verlaufenden Nachweisreaktionen eine Reaktionsgleichung (M 3).	9
4 Begründen Sie die vier genannten Empfehlungen für den Kauf und die Verwendung eines Parfüms (M 1, M 3, M 4).	4
5 Diskutieren Sie anhand von zwei Argumenten, ob synthetisch hergestelltes Sandal-Pentanol als Alternative zum natürlichen Sandelholzöl in einem Parfüm eingesetzt werden sollte (M 5).	4

Quellen (ggf. verändert):

- [1] König, J. (2011, 15. Dezember). *Der richtige Riecher: RUB-Forscher entschlüsseln Interaktion von Duftstoffen und Riechrezeptoren*. <https://idw-online.de/de/news455907> (Zugriff am: 23.03.2024)
- [2] Slaby, P. (2006). *Mit Düften experimentieren*. http://www.chemikus.de/download/handout_duft.pdf (Zugriff am: 23.03.2024)
- [3] Hauthal, H. G. & Henning, K. (2013, Dezember): Jubiläum: 60. SEPAWA-Kongress und 9. European Detergents Conference 2013. Deutsche Gesellschaft der Parfümeure. https://www.dgp-die-parfumeu-re.de/attachments/article/29/Kongressbericht_SEPAWA_2013.pdf (Zugriff am: 23.03.2024)
- [4] Stark, G. (2006, 1. Dezember). *Sandelholz - Ätherisches Öl und Anwendung*. <https://www.satureja.com/i/sandelholz-aetherisches-oel-und-anwendung> (Zugriff am: 23.03.2024)

2 Material

Material 1: Ester als Duftstoffe

Chemisch betrachtet ist ein Parfüm eine ethanolische Lösung aus einer Reihe von Duftstoffen. Mit synthetischen Duftstoffen lassen sich unzählige Duftkompositionen kreieren.

Als Duftstoffe können wohlriechende kurzkettige Ester-Verbindungen eingesetzt werden. In Abbildung 1 ist die Strukturformel eines solchen Ester-Moleküls dargestellt.

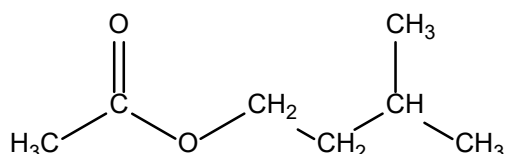


Abb. 1: Strukturformel eines Ester-Moleküls

Material 2: Grundlagen zum Riechvorgang [1]

Für die Wahrnehmung eines Geruchs ist es erforderlich, dass Moleküle der Duftstoffe über die Gasphase in die Nase gelangen. Geeignet dafür sind leicht flüchtige Stoffe.

Die menschliche Nase besitzt ungefähr 350 verschiedene Arten von Riechrezeptoren, die jeweils auf bestimmte Duftstoff-Moleküle spezialisiert sind. Ein interdisziplinäres Forscherteam der Ruhr Universität Bochum klärte erstmals die dreidimensionale Struktur der Bindetasche eines Riechrezeptors auf. Die Duftstoffe werden an der Bindetasche des Riechrezeptors angelagert. Entscheidend dafür ist die Bildung von Wasserstoffbrücken zwischen Duftstoff- und Rezeptor-Molekülen.

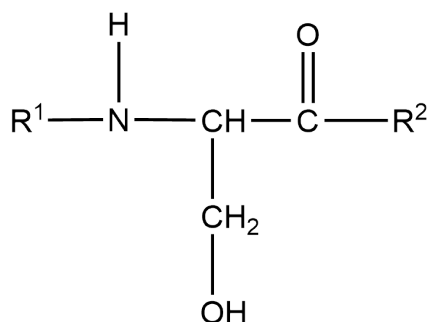


Abb. 2: vereinfachte Strukturformel der Bindestelle eines Riechrezeptor-Moleküls

Material 3: Komposition eines Parfüms [2]

Parfümhersteller bringen jährlich zahlreiche neue Parfümkreationen auf den Markt. Dabei folgen sie dem traditionellen dreiteiligen Aufbau eines Parfüms aus Kopf-, Herz- und Basisnote. Allein daraus ergibt sich ein gestaffeltes Dufterlebnis, da die Duftstoffe der drei „Noten“ unterschiedlich schnell verdunsten. Die Duftstoffe der Kopfnote sind bereits nach wenigen Minuten verdunstet. Die Inhaltsstoffe der Herznote entfalten sich nach Abklingen der Kopfnote. Die Duftstoffe der Basisnote verdunsten sehr langsam.

In einem Labor wurden aus einem Parfüm folgende drei Duftkomponenten (Kopf-, Herz- und Basisnote) destilliert und dadurch voneinander getrennt. Anschließend können die drei Verbindungen durch Nachweisreaktionen unterschieden werden.

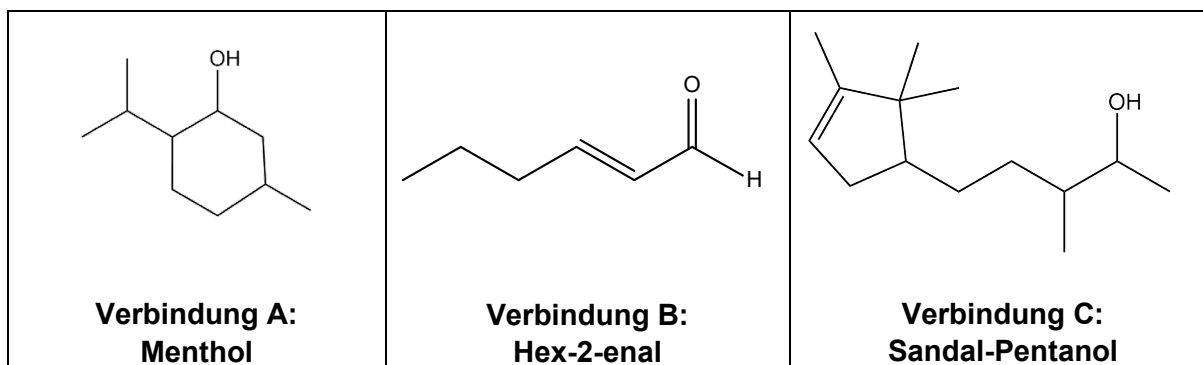


Abb. 3: Strukturformeln der Moleküle von Duftkomponenten eines Parfüms

Material 4: Empfehlungen für den Kauf und die Verwendung eines Parfüms

Folgende Empfehlungen werden für den Kauf und die Verwendung eines Parfüms gegeben:

Nicht unmittelbar nach dem ersten Geruchseindruck kaufen; Parfümflasche nach Gebrauch wieder zügig verschließen; kühl lagern und nicht in offene Flammen sprühen

Material 5: Sandal-Pentanol oder natürliches Sandelholzöl? [3], [4]

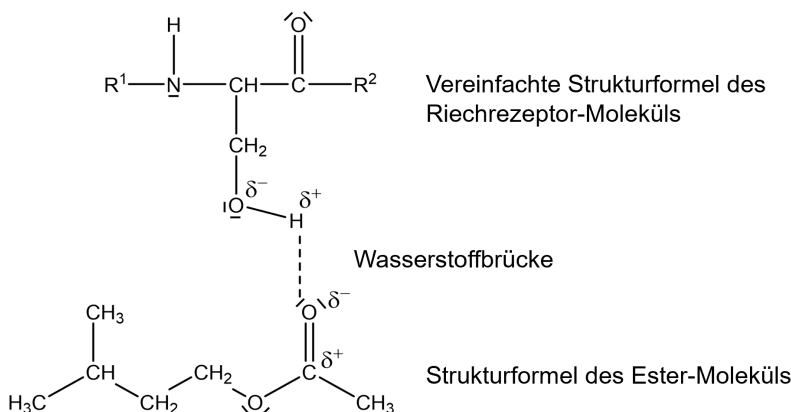
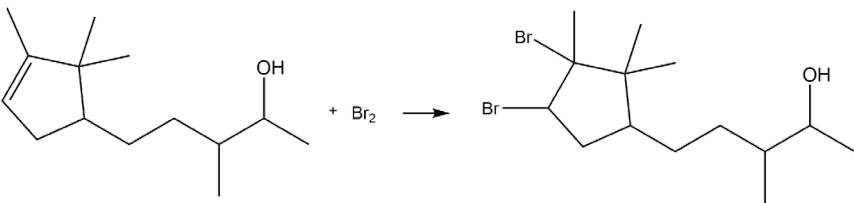
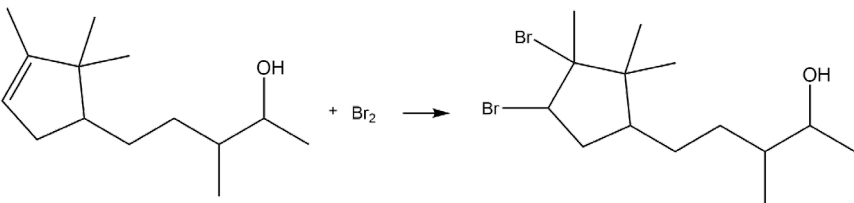
Natürliches Sandelholzöl wird durch Wasserdampfdestillation aus den Holzspänen des in Indien und Australien heimischen Sandelholzbaumes gewonnen. Für 1 kg Sandelholzöl sind etwa 20 kg Holzspäne nötig, wobei die verarbeiteten Bäume dazu mindestens 30 Jahre alt sein müssen. Sandelholz ist seit jeher ein Luxusgut. Der Preis für Sandelholzöl beträgt derzeit über 1.500 € pro kg. Die unkontrollierte Abholzung infolge der rasant steigenden Nachfrage der Parfümindustrie zeigte fatale Auswirkungen. Deshalb griff die indische Regierung zu drastischen Maßnahmen, wie der Verknappung des Handels, und zu strengen gesetzlichen Regelungen.

Das Duftöl Sandal-Pentanol wird durch eine mehrschrittige chemische Synthese hergestellt und ist kaum vom natürlichen Sandelholzöl zu unterscheiden. Der dafür verwendete Ausgangsstoff wird unter anderem aus Fichten gewonnen. Diese sogenannte synthetische Aromachemikalie kam 1976 auf den Markt und ist zu Preisen von weniger als 100 € je kg Öl zu beziehen. Der Sandelholzduft nahm damit Einzug selbst in preisgünstige Kosmetika. In aktuellen Studien wurde die stärkere Toxizität gegenüber Wasserorganismen von Sandal-Pentanol im Vergleich zu Sandelholzöl erkannt.

3 Erwartungshorizont

Der Erwartungshorizont stellt für jede Teilaufgabe eine mögliche Lösung dar. Nicht dargestellte korrekte Lösungen sind als gleichwertig zu akzeptieren.

		BE/AFB		
		I	II	III
1	<u>Formulierung der Reaktionsgleichung und Benennung der Edukte:</u> $\text{H}_3\text{C}-\overset{\text{O}}{\parallel}{\text{C}}-\text{OH} + \text{HO}-\text{CH}_2-\text{CH}_2-\overset{\text{CH}_3}{\underset{\text{CH}_3}{\text{CH}}} \rightleftharpoons \text{H}_3\text{C}-\overset{\text{O}}{\parallel}{\text{C}}-\text{O}-\text{CH}_2-\text{CH}_2-\overset{\text{CH}_3}{\underset{\text{CH}_3}{\text{CH}}} + \text{H}-\text{O}-\text{H}$ Edukte der Reaktion: Ethansäure und 3-Methylbutan-1-ol <u>Erklärung der Löslichkeit:</u> - Die Eignung des Ethanols als Lösungsmittel für kurzkettige Ester wird sowohl von der Hydroxygruppe als auch von der Ethylgruppe bestimmt. - Zwischen der Ethylgruppe des Ethanol-Moleküls und dem unpolaren Teil des Ester-Moleküls können sich Wechselwirkungen zwischen temporären Dipolen ausbilden. - Aufgrund der Elektronenverschiebung ist die Bindung in der Hydroxygruppe im Ethanol-Molekül polar. Das positiv polarisierte Wasserstoff-Atom der Hydroxygruppe des Ethanol-Moleküls und die freien Elektronenpaare des negativ polarisierten Sauerstoff-Atoms der Carbonylgruppe des Ester-Moleküls können Wasserstoffbrücken ausbilden.	3	1	
2	<u>Erklärung der Eignung von kurzkettigen Estern als Duftstoffe:</u> - Ester-Moleküle bilden untereinander Wechselwirkungen zwischen temporären Dipolen und zwischen permanenten Dipolen aus. Je kürzer die Alkylketten, desto schwächer die Wechselwirkungen zwischen temporären Dipolen. Ester aus kurzkettigen Alkanolen und kurzkettigen Alkansäuren sind daher leicht flüchtig (niedrige Siedetemperatur) und können somit in die Nase zum Riechrezeptor gelangen. - Die Estergruppe bildet mit der Hydroxygruppe im Rezeptor-Molekül eine Wasserstoffbrücke aus, die entscheidend für den Riechvorgang ist.		1 2	1

	<u>Darstellung der Wasserstoffbrücke:</u>  Vereinfachte Strukturformel des Riechrezeptor-Moleküls Wasserstoffbrücke Strukturformel des Ester-Moleküls	2	
3	<u>Planung eines experimentellen Vorgehens:</u> ♦ Nachweis der C-C-Doppelbindung durch Zugabe von in Wasser gelöstem Brom: ♦ eine Lösung zeigt keine Entfärbung → Menthol identifiziert ♦ zwei Lösungen entfärben sich → Hex-2-enal und Sandal-Pentanol ♦ Aldehyd-Nachweis durch Zugabe von Fehling I und Fehling II (oder Benedict-Reagenz) und erhitzen: ♦ in einer Lösung: ziegelroter Niederschlag → Hex-2-enal identifiziert ♦ verbleibende Lösung → Sandal-Pentanol <u>Formulierung einer Reaktionsgleichung für eine positive Nachweisreaktion:</u> 	3	2
	<u>Formulierung einer Reaktionsgleichung für eine positive Nachweisreaktion:</u> 	1	1
4	<u>Begründung der vier Empfehlungen für den Kauf und der Verwendung:</u> ♦ nicht unmittelbar nach dem ersten Geruchseindruck kaufen, da beim Parfüm ein gestaffeltes Dufterlebnis (Kopf-, Herz- und Basisnote) entsteht, das sonst nicht wahrgenommen wird ♦ Parfümflasche nach Gebrauch wieder zügig verschließen, da Duftstoffe leicht flüchtig sind und so der Dufteindruck sich verändert ♦ kühl lagern, da hohe Temperaturen die Flüchtigkeit der Parfüm-Komponenten begünstigen ♦ nicht in offene Flammen sprühen, da das Lösungsmittel Ethanol leicht entzündlich ist	2	2
5	<u>Diskussion des Einsatzes von synthetisch hergestelltem Sandal-Pentanol anhand von zwei Argumenten:</u> ♦ Pro-Argumente: ♦ preisgünstig ♦ in großer Menge herstellbar → breite Verfügbarkeit ♦ Schonung der Sandelholz-Wälder vor Abholzung		1

♦ Contra-Argumente: ♦ technischer Syntheseaufwand (energieintensiv, Bereitstellung von Ausgangsstoffen, Entsorgung von Nebenprodukten, ...) ♦ Ausgangsstoff muss auch aus Naturprodukten (Fichte) gewonnen werden ♦ höhere Wassertoxizität ♦ Fazit		1	
Summe¹	10	15	5

4 Standardbezug²

Teilaufgabe	Kompetenzbereich			
	S	E	K	B
1	2, 6, 16			
2	2, 13		7	
3	16	4		
4			10	7
5				13

5 Bewertungshinweise

Die Bewertung der erbrachten Prüfungsleistungen hat sich für jede Teilaufgabe nach der am rechten Rand der Aufgabenstellung angegebenen Anzahl maximal erreichbarer Bewertungseinheiten (BE) zu richten.

Für die Bewertung der Gesamtleistung eines Prüflings ist ein Bewertungsraster³ vorgesehen, das angibt, wie die in den drei Prüfungsteilen insgesamt erreichten Bewertungseinheiten in Notenpunkte umgesetzt werden.

¹ Bei jeder Aufgabe liegen die Anzahlen der Bewertungseinheiten – abhängig vom Anforderungsniveau – in den Bereichen, die der folgenden Tabelle zu entnehmen sind:

Anforderungsniveau	erhöht			grundlegend		
Anforderungsbereich	I	II	III	I	II	III
Anzahl der BE	11 - 13	17 - 21	8 - 10	10 - 12	13 - 16	4 - 6

² Zu jeder Teilaufgabe sind zu jedem Kompetenzbereich die Nummern der Standards gemäß den Bildungsstandards im Fach Chemie für die Allgemeine Hochschulreife zu nennen, die zur Bearbeitung der Aufgabe erforderlich sind.

³ Das Bewertungsraster ist Teil des Dokuments „Beschreibung der Struktur“, das auf den Internetseiten des IQB zum Download bereitsteht.