

## Empirische Formel - Molekülmassenbestimmung

### 1979/I

3. Eine organische Verbindung enthält die Elemente Kohlenstoff, Wasserstoff, Sauerstoff und Stickstoff.  
Bei der Analyse von 0,377 g der Substanz entstehen die Verbindungen Kohlenstoffdioxid, Wasser und Stickstoffdioxid, die 0,122 g Kohlenstoff, 0,05 g Wasserstoff bzw. 0,071 g Stickstoff enthalten. Die Molekülmasse wurde experimentell mit 75 u ermittelt.
- 3.1 Stellen Sie den Weg der Berechnung dar, der zur Aufstellung der Summenformel dieser Substanz führt.
- 3.2 Die Verbindung bildet mit Laugen und Säuren Salze. Geben Sie eine mögliche Strukturformel an und ordnen Sie die Substanz der entsprechenden organischen Stoffgruppe zu.

### 1983/I/1

1. Von einer gasförmigen Verbindung, die nur aus den Elementen Kohlenstoff und Wasserstoff besteht, soll die empirische Formel ermittelt werden. Hierzu werden 9,67 mg der Substanz vollständig zu 26,53 mg Kohlenstoffdioxid und 21,56 mg Wasser verbrannt.
- 1.1 Beschreiben Sie einen Versuch, mit dem man die obengenannten Verbrennungsprodukte quantitativ ermitteln kann! 4BE
- 1.2 Leiten Sie aus den unter Ziffer 1. gemachten Angaben die empirische Formel der zu untersuchenden gasförmigen Verbindung ab! 5BE
- 3 Beschreiben Sie ein Experiment, mit dem man von der empirischen Formel eines gasförmigen Stoffes zur Summenformel gelangt und formulieren Sie die nötigen Rechenansätze! (Ein Massenspektrometer steht nicht zur Verfügung.) 6BE

### 1985/III/1

- 1 Eine unbekannte organische Säure soll identifiziert werden.
- 1.1 Zur Bestimmung der Molekülmasse löst man 8,20 g der Säure in 50,00 g Trichlormethan und erhitzt die Lösung bis zum Sieden. Man mißt einen Siedepunkt von 68,17 °C. Siedepunkt von Trichlormethan: 61,16 °C.  
Molare Siedepunktserhöhung von Trichlormethan: 3,85 K · kg · mol<sup>-1</sup>.  
Molare Siedepunktserhöhung von Wasser: 0,51 K · kg · mol<sup>-1</sup>.
- 1.1.1 Erklären Sie kurz diese Methode der Molekülmassenbestimmung, und geben Sie Gründe an, die gegen die Verwendung von Wasser als Lösungsmittel sprechen! 6BE
- 1.1.2 Berechnen Sie die Molekülmasse der Säure!  
Der Gang der Berechnung muß ersichtlich sein. [Ergebnis:  $m_M = 90$  u] 4BE
- 1.2 Um diese Stärke identifizieren zu können, wird eine qualitative Elementaranalyse durchgeführt.  
Ergebnis: Die Säure enthält nur die Elemente Kohlenstoff, Wasserstoff und Sauerstoff.  
Bei der quantitativen Elementaranalyse werden 10,0 g der Säure total oxidiert, wobei 14,7 g Kohlenstoffdioxid und 6,0 g Wasser entstehen.
- 1.2.1 Berechnen Sie die Summenformel der Säure!  
Der Gang der Berechnung muß klar ersichtlich sein.  
[Ergebnis:  $C_3H_6O_3$ ] 5BE
- 1.2.2 Zur Strukturaufklärung wird mit der Säure die Iodoformprobe durchgeführt; sie verläuft positiv.

Erläutern Sie, welche Schlüsse sich aus diesem Versuchsergebnis bezüglich der Struktur der Säure ableiten lassen, und benennen Sie diese Verbindung!

3BE

**1987/II**

- 1 Die Struktur einer organischen Verbindung, die aus den Elementen Kohlenstoff, Wasserstoff und Sauerstoff besteht, soll aufgeklärt werden.
- 1.1 Um die Molekülmasse dieser organischen Verbindung zu bestimmen, wird ein Teil der zu analysierenden Substanz in einem auf 393 K erhitzten 1-Liter-Gefäß verdampft. Dabei erzeugen 1,000 g der Verbindung einen Druckanstieg von  $0,545 \cdot 10^5 \text{ Nm}^{-2}$ .  
Berechnen Sie die Molekülmasse!  
Der Gang der Berechnung muss klar ersichtlich sein.  
Hinweis: Allgemeine Gaskonstante  $R = 8,314 \text{ Nm K}^{-1} \text{ mol}^{-1}$   
[Ergebnis:  $M = 60 \text{ u}$ ] 4
- 1.2 Zur Ermittlung der Summenformel werden 0,120 g der organischen Substanz vollständig oxidiert. Dabei entstehen 0,265 g Kohlenstoffdioxid und 0,143 g Wasser.  
Stellen Sie durch Berechnung die Summenformel auf!  
Der Gang der Berechnung muss klar ersichtlich sein. [Ergebnis:  $\text{C}_3\text{H}_8\text{O}$ ] 6BE

**1988/III/4**

- 4 Bei der Elementaranalyse einer organischen Substanz konnten nur die Elemente Wasserstoff und Kohlenstoff festgestellt werden.  
Bei der quantitativen Analyse erhielt man bei einer Einwaage von 1 g der Substanz 3,437 g Kohlenstoffdioxid und 0,562 g Wasser.  
Löst man 2 g dieser Substanz in 30 g Chloroform, so beobachtet man eine Siedepunktserhöhung von  $\Delta T_s = 1,99 \text{ K}$ .  
Ebullioskopische Konstante  $E_s$  (Chloroform) =  $3,83 \text{ K} \cdot \text{kg} \cdot \text{mol}^{-1}$ .  
Ermitteln Sie die Summenformel der Substanz!  
Der Gang der Berechnung muss klar ersichtlich sein

**1991/I**

1. Die qualitative Elementaranalyse einer Verbindung X ergab, dass sie nur die Elemente Kohlenstoff, Wasserstoff und Sauerstoff enthält.  
Bei der vollständigen Oxidation von 14,00 g der Verbindung X entstanden 31,68 g Kohlenstoffdioxid und 13,05 g Wasser.  
In einem weiteren Analyseschritt wurde festgestellt, dass eine Stoffportion der Verbindung X mit der Masse  $m(X) = 100 \text{ mg}$  bei einer Temperatur von  $20 \text{ }^\circ\text{C}$  und einem Druck von  $0,935 \cdot 10^5 \text{ Nm}^{-2}$  ein Volumen von  $44,9 \text{ cm}^3$  einnimmt.
- 1.1 Berechnen Sie die Summenformel der Verbindung X!  
Der Gang der Berechnung muss klar ersichtlich sein [Ergebnis:  $\text{C}_3\text{H}_6\text{O}$ ]

**1992/I**

- 1 Natürliche Weinsäure wurde 1769 erstmals von Scheele aus Weinstein gewonnen.
- 1.1 Für eine Elementaranalyse wurden 3,00 g Weinsäure im Sauerstoffstrom verbrannt. Bei der Verbrennung entstanden 1,79 l Kohlenstoffdioxid (Normzustand) und 1,08 g Wasser. Andere Verbrennungsprodukte traten nicht auf.  
In einem weiteren Analyseschritt wurde festgestellt, dass die molare Masse der Weinsäure  $M = 150 \text{ g} \cdot \text{mol}^{-1}$  beträgt.  
Berechnen Sie die Summenformel der Weinsäure! Der Gang der Berechnung muss klar ersichtlich sein.  
[Ergebnis:  $\text{C}_4\text{H}_6\text{O}_6$ ]

**1993/III**

- 1 Harnstoff, ein Endprodukt des Eiweißstoffwechsels beim Menschen, wurde im Jahre 1828 von Friedrich Wöhler erstmals synthetisiert. Die Strukturformel von Harnstoff, dessen Molekül aus Kohlenstoff-, Wasserstoff-, Sauerstoff- und Stickstoff-Atomen aufgebaut ist, soll ermittelt werden.
- 1.1 1,60 g Harnstoff werden vollständig oxidiert. Unter den Produkten sind 0,96 g Wasser und 1,17 g Kohlenstoffdioxid. In einem weiteren Analyseschritt, ebenfalls ausgehend von 1,60 g Harnstoff, wird der Stickstoffanteil in 0,91 g Ammoniak übergeführt.  
Berechnen Sie das Atomzahlenverhältnis im Harnstoffmolekül!  
Der Gang der Berechnung muss klar ersichtlich sein. 6

**1994/III/1**

- 1 Bei der Suche nach biologisch abbaubaren Kunststoffen zur Lösung des Müllproblems fand man in bestimmten Bakterien körnchenförmige Einlagerungen eines makromolekularen Stoffes mit thermoplastischen Eigenschaften. Der Abbau dieser Substanz liefert als Monomeres die Verbindung X der Zusammensetzung  $C_aH_bO_c$ , mit der die Untersuchungen I, II, III durchgeführt werden:
- I: Bei der Verbrennungsanalyse entstehen aus 123,0 mg der Verbindung X 208,2 mg Kohlenstoffdioxid und 85,2 mg Wasser.
- II: Nach Auflösen von 220,0 mg der Verbindung X in 5,0 g Wasser wird eine Gefrierpunktniedrigung von 0,79 °C festgestellt.  
[ $E_f(\text{Wasser}) = 1,86 \text{ K kg mol}^{-1}$ ]
- III: Die Verbindung X, eine Flüssigkeit, zeigt folgende Eigenschaften:
- Die wässrige Lösung reagiert sauer;
  - nach Zugabe schwefelsaurer Kaliumdichromat-Lösung tritt Grünfärbung auf;
  - im Polarimeter zeigt die Lösung der Substanz optische Aktivität;
  - die Iodoformprobe verläuft positiv.
- 1.1.1 Ermitteln Sie aus den Ergebnissen der Untersuchung I die empirische Formel (Verhältnisformel) der Verbindung X! Der Gang der Berechnung muss klar ersichtlich sein. 6
- 1.1.2 Berechnen Sie die molare Masse der Verbindung X, und geben Sie die Summenformel von X an! (Ergebnis:  $C_4H_8O_3$ )  
Der Gang der Berechnung muss klar ersichtlich sein. 4BE
- 1.2 Leiten Sie unter Einbeziehung der Befunde von III die Strukturformel der Verbindung X ab, und benennen Sie diese!  
Begründen Sie Ihre Entscheidung! 5BE
- 1.3 Stellen Sie die Redoxgleichung für die Reaktion der Verbindung X mit Dichromat-Ionen in saurer Lösung auf! 3BE
- 1.4 Beschreiben Sie die Durchführung der Iodoformprobe! Geben Sie die Beobachtungen an, und stellen Sie die Strukturformeln der organischen Reaktionsprodukte auf! 3BE
- 1.5 Die Verbindung X ist das Monomere eines Kunststoffs.  
Zeichnen Sie einen charakteristischen Strukturformelausschnitt (Repetiereinheit) des Kunststoffmoleküls! 2BE

**1996/II**

- 1 Gegeben ist eine Verbindung, deren Moleküle aus Kohlenstoff-, Wasserstoff- und Chlor-Atomen aufgebaut sind.

- 1.1 Bei der vollständigen Oxidation von 21,500 g dieser Verbindung entstehen 14,941 Liter (Normzustand) Kohlenstoffdioxid. Der gebundene Wasserstoff wird zu Wasser oxidiert. Allerdings zerbricht das Absorptionsgefäß für Wasser im Verlauf der Analyse, so dass der Wasserstoffgehalt nicht direkt ermittelt werden kann. In einem zweiten Analysegang werden 12,900 g der Verbindung eingesetzt. Das gebundene Chlor wird vollständig in Wasserstoffchlorid (Chlorwasserstoff) übergeführt. Dieses Gas leitet man in 250 ml Natronlauge der Konzentration  $c(\text{NaOH}) = 1 \text{ mol/l}$ . Zur Rücktitration der nicht umgesetzten Natronlauge benötigt man 50 ml Salzsäure der Konzentration  $c(\text{HCl}) = 1 \text{ mol/l}$ .  
Berechnen Sie die Verhältnisformel (empirische Formel) der Verbindung! Der Gang der Berechnungen muss klar ersichtlich sein. 9
- 1.2 6,450 g der Verbindung aus Nr. 1 nehmen im gasförmigen Zustand bei einem Druck von  $1,01 \cdot 10^3 \text{ hPa}$  und einer Temperatur von  $+50,0 \text{ °C}$  ein Volumen von 2,663 l ein.  
Berechnen Sie die molare Masse des Stoffs! Der Gang der Berechnung muss klar ersichtlich sein. 4BE

#### 1997/IV/1

- 1 Die Verhältnisformel eines flüssigen gesättigten Kohlenwasserstoffs (KW) kann titrimetrisch bestimmt werden.  
Bei der vollständigen Oxidation einer Probe mit der Masse  $M(\text{KW}) = 129 \text{ mg}$  wird das gebildete Kohlenstoffdioxid in 100 ml einer Bariumhydroxidlösung der Konzentration  $c(\text{Ba}(\text{OH})_2) = 0,1 \text{ mol/l}$  eingeleitet. Zur Rücktitration des überschüssigen Bariumhydroxids werden 20 ml einer Salzsäure der Konzentration  $c(\text{HCl}) = 0,1 \text{ mol/l}$  verbraucht.
- 1.1 Ermitteln Sie das Atomzahlenverhältnis in dem gegebenen Kohlenwasserstoff! Der Gang der Berechnung muss klar ersichtlich sein. 8BE
- 1.2 Leiten Sie ab, um welches Alkan es sich bei dem unter Nr. 1.1 analysierten Kohlenwasserstoff handelt! 3BE

#### 1998/I/1

- 1.) Durch quantitative Elementaranalyse wird die Verhältnisformel einer organischen Verbindung bestimmt. In den Molekülen eines unbekanntes Stoffes X sind Kohlenstoff-, Wasserstoff-, Sauerstoff und Stickstoff-Atome gebunden. Bei der vollständigen Oxidation einer Stoffportion mit der Masse  $m(\text{X}) = 300 \text{ mg}$  entstehen 352 mg Kohlenstoffdioxid und 180 mg Wasser. Zur Bestimmung des Stickstoffanteils wird eine weitere Stoffportion mit der Masse  $m(\text{X}) = 300 \text{ mg}$  analysiert. Der gebundene Stickstoff geht dabei in Ammoniak über. Das entstandene Ammoniak wird in 100 ml Schwefelsäure-Lösung der Konzentration  $c(\text{H}_2\text{SO}_4) = 0,1 \text{ mol/l}$  eingeleitet. Zur Rücktitration der nicht umgesetzten Schwefelsäure benötigt man 16 ml Natronlauge der Konzentration  $c(\text{NaOH}) = 1 \text{ mol/l}$ .  
Berechnen Sie die Verhältnisformel der Verbindung X! Der Gang der Berechnung muss klar ersichtlich sein.

10 BE

#### 2001/III/1

- 1 Die qualitative Elementaranalyse einer organischen Verbindung X ergab, dass diese nur Atome der Elemente Kohlenstoff, Wasserstoff, Sauerstoff und Stickstoff enthält. Bei der quantitativen Analyse durch Oxidation von 0,754 g

der Verbindung X erhielt man 0,887g Kohlendioxid, 0,45g Wasser und 0,140g Stickstoff. Die molare Masse der Verbindung X wurde mit 75g/mol bestimmt. Berechnen Sie die Summenformel der Verbindung X! Der Gang der Berechnung muss klar ersichtlich sein

### 2003/II/1

- 1 Von einer organischen Substanz, deren Moleküle nur aus Atomen der Elemente Kohlenstoff, Wasserstoff und Sauerstoff aufgebaut sind, wurden 0,0998 g im Sauerstoffstrom vollständig verbrannt. Bei der Verbrennung entstanden 0,2373 g Kohlenstoffdioxid und 0,1215 g Wasser
- 1.1 Berechnen Sie die Verhältnisformel der gesuchten Verbindung!  
Der Gang der Berechnung muss klar ersichtlich sein 8 BE
- 1.2 0,0974 g der organischen Substanz werden verdampft und nehmen bei der Temperatur  $t = 99\text{ }^{\circ}\text{C}$  das Volumen  $V(\text{Dampf}) = 40,5\text{ ml}$  ein. Bei der Messung herrscht ein Druck von 1013 hPa. Berechnen Sie die molare Masse der organischen Substanz und deren Summenformel!  
Der Gang der Berechnung muss klar ersichtlich sein. 5 BE

### 2004/IV/1

- 1 Aspartam hat eine zweihundertmal stärkere Süßkraft als Saccharose und ist mittlerweile ein häufig verwendeter Süßstoff. Die Analyse von Aspartam zeigt, dass die Süßstoffmoleküle aus Kohlenstoff-, Wasserstoff-, Stickstoff- und Sauerstoffatomen aufgebaut sind.
- 1.1 Beschreiben Sie die Durchführung der Verbrennungsanalyse zur quantitativen Bestimmung von Kohlenstoff und Wasserstoff! 4 BE
- 1.2 Die Analyse von Aspartam ergab folgende Werte:  
Aus 0,2202 g der Substanz entstanden 0,1222 g Wasser und 0,4607 g Kohlenstoffdioxid; aus 0,3105 g der Substanz erhielt man 0,0295 g Stickstoff. Die Molekülmasse von Aspartam beträgt 294 u.  
Berechnen Sie die Summenformel dieser Verbindung! 6 BE

### 2006/IV/1

- 1 Zimtsäure ist in einigen mittel- und südamerikanischen Baumharzen enthalten. Das Zimtsäuremolekül enthält nur Kohlenstoff-, Wasserstoff- und Sauerstoffatome. Die Molekülmassenbestimmung ergab eine Masse von 148 u. Abfolge und Ergebnisse der Verbrennungsanalyse von Zimtsäure sind in folgender Übersicht dargestellt:



Reaktionsgeschehen in der Analysevorrichtung:		
Verbrennungsrohr:	Zimtsäure reagiert vollständig mit Sauerstoff	
Absorptionsgefäß A:	$\text{CaCl}_2(\text{s}) + 6\text{H}_2\text{O}(\text{g}) \rightarrow \text{CaCl}_2 \cdot 6\text{H}_2\text{O}(\text{s})$	
Absorptionsgefäß B:	$\text{Ca}(\text{OH})_2(\text{s}) + \text{CO}_2(\text{g}) \rightarrow \text{CaCO}_3(\text{s}) + \text{H}_2\text{O}(\text{l})$	
Wägungsergebnisse	vor der Reaktion	nach der Reaktion
Absorptionsgefäß A	54,011 g	55,379 g
Absorptionsgefäß B	68,254 g	75,778 g

Darüber hinaus ist Folgendes bekannt:

- a) Zimtsäure entfärbt Bromwasser bereits im Dunkeln.
- b) Die Decarboxylierung von Zimtsäure führt zu Styrol (Phenylethen).
- c) Zimtsäure ist (E)-konfiguriert (trans-konfiguriert).

- 1.1 Ermitteln Sie aus den Ergebnissen der Verbrennungsanalyse die Summenformel der Zimtsäure! Der Gang der Berechnung muss klar ersichtlich sein! 6 BE
- 1.2 Stellen Sie die Strukturformeln der Verbindungen auf, die den Analyseergebnissen a) und b) entsprechen! Geben Sie an, welche dieser Strukturformeln das Zimtsäuremolekül beschreibt! 4 BE

### 2008 A2

- 1.) Colchicin ist in allen Pflanzenteilen der Herbstzeitlose enthalten. Bei der qualitativen Analyse von Colchicin können ausschließlich die Elemente Stickstoff, Sauerstoff, Wasserstoff und Kohlenstoff nachgewiesen werden. Zur Ermittlung der Summenformel wird die Molekülmasse bestimmt- sie beträgt 399 u. Anschließend wird mit 3,00 g der Substanz eine quantitative Verbrennungsanalyse durchgeführt. Hierbei entstehen 1,69 g Wasser und 7,28 g Kohlenstoffdioxid.  
Der Stickstoffanteil des Giftstoffs wird durch das Verfahren nach Kjeldahl ermittelt. Dabei werden die Stickstoffatome aus 1,00 g Colchicin quantitativ in Ammoniak überführt. Dieses Gas wird vollständig in einem Gefäß mit 100,0 ml Salzsäure der Konzentration  $c = 0,100 \text{ mol/l}$  aufgefangen. Nach Ablauf der Reaktion werden 25,0 ml der Salzsäurelösung entnommen und mit Natronlauge der Konzentration  $c = 0,100 \text{ mol/l}$  zurücktitriert. Hierbei werden 18,7 ml Natronlauge verbraucht.
- 1.1 Beschreiben Sie das Prinzip der oben genannten Verbrennungsanalyse! [5 BE]
- 1.2 Ermitteln Sie aus den Ergebnissen der beiden Analysen die Summenformel des Colchicins! Der Gang der Berechnung muss nachvollziehbar sein. [13 BE] (Zwischenergebnis: Der Stickstoffanteil beträgt 3,5 Massenprozent.)

### 2009/A1

- 1 Die echte Grippe (Influenza) ist eine Infektionskrankheit mit nach wie vor hoher Sterblichkeitsrate. Zur Infektion von Zellen müssen Grippeviren an spezifische Rezeptoren der Zellmembran binden. Bestimmte Moleküle auf der Zelloberfläche, die zur Klasse der Sialinsäuren gehören, können diesen Vorgang wirkungsvoll verhindern.
- 1.1 Bei der qualitativen Analyse einer bestimmten Sialinsäure lassen sich ausschließlich die Elemente Stickstoff, Sauerstoff, Wasserstoff und Kohlenstoff nachweisen.  
Mit 3,09 g dieser Substanz wird eine quantitative Verbrennungsanalyse durchgeführt. Hierbei entstehen 1,71 g Wasser und 4,84 g Kohlenstoffdioxid. Der Massenanteil des Stickstoffs beträgt 4,53 %, die Molekülmasse 309 u.  
Ermitteln Sie aus diesen Angaben die Summenformel der Sialinsäure! [8 BE]