

## Zusammenhang zwischen der Struktur und der Siedetemperatur organischer Stoffe



### 1. Einordnung in den Fachlehrplan Gymnasium

Schuljahrgang: 9
Kompetenzschwerpunkt(e): – Kohlenstoff und die Vielfalt seiner Verbindungen beschreiben – Ausgewählte Derivate der Alkane untersuchen
Kompetenzen: – Zusammenhang zwischen der Struktur und den Eigenschaften auf die homologe Reihe der Alkane übertragen – Summen- und Strukturformeln für Kohlenwasserstoffe ableiten und unterscheiden sowie in der Fachsprache wiedergeben – Zusammenhang zwischen der Struktur und den Eigenschaften auf die homologe Reihe der Alkanole übertragen – Zusammenhang zwischen der Struktur und den Eigenschaften auf Ethansäure übertragen – Sauerstoffderivate der Alkane anhand der Strukturmerkmale systematisieren – Strukturformeln für Alkanole und Alkansäuren entwickeln und in der Fachsprache wiedergeben – Bedeutung ausgewählter Alkansäuren erklären
Grundlegende Wissensbestände: – Methan, homologe Reihe der Alkane, Isomerie (verzweigte und unverzweigte Kohlenwasserstoffe) – intermolekulare Wechselwirkungen (Van-der-Waals), hydrophob, unpolare Lösungsmittel – Ethanol, homologe Reihe der Alkanole – Ethanal, Ethansäure, ausgewählte Alkansäuren, Ester – funktionelle Gruppen (Hydroxy-, Aldehyd-, Carboxy- und Ester-Gruppe) – intermolekulare Wechselwirkungen (Dipol-Dipol, Wasserstoffbrücken)
Beitrag zur Entwicklung von Schlüsselkompetenzen: – Die Schülerinnen und Schüler verwenden die Fachsprache ziel- und sachgerecht. (Sprachkompetenz) – Die Schülerinnen und Schüler bilden Hypothesen und prüfen diese durch theoretische Überlegungen. (Naturwissenschaftliche Kompetenz)
Beitrag zur Entwicklung fächerübergreifender Kompetenzen: – Die grundlegenden Wissensbestände, im Speziellen die intermolekulare Wechselwirkungen, legen die chemischen Grundlagen für die Betrachtung von Proteinstrukturen (vgl. FLP Biologie).

### 2. Anregungen und Hinweise zum unterrichtlichen Einsatz

Zum Abschluss des Kompetenzschwerpunktes „Ausgewählte Derivate der Alkane untersuchen“ kann der Zusammenhang zwischen der Struktur und den Eigenschaften mithilfe dieser Aufgabe systematisiert werden. Dies kann in Einzel- oder Partnerarbeit erfolgen.

Teile der Aufgabe (Reduzieren der Verbindungen auf die einzelnen Zusammenhänge) können entsprechend unterrichtsbegleitend eingesetzt werden.

Im Kompetenzschwerpunkt: „Zusammenhang zwischen der Struktur und den Eigenschaften zur systematisierenden Betrachtung organischer Verbindungen und deren Reaktionen nutzen“ kann die Aufgabe zur Reaktivierung bzw. Systematisierung des Vorwissens genutzt werden.

### **3. Variations- bzw. Differenzierungsmöglichkeiten**

#### Variation - Aufgabe 3:

Den Schülerinnen und Schülern kann eine Übersicht (siehe Anhang) mit den Siedetemperaturen gegeben werden. Aus diesen Daten können Sie die Zusammenhänge ableiten.

- Leiten Sie drei Zusammenhänge zwischen der Struktur und der Siedetemperatur der organischen Stoffe aus dieser Ordnung ab.

Die Aufgaben 2 und 3 können zusammengefasst werden.

- Analysieren Sie den Zusammenhang zwischen der Struktur und der Siedetemperatur der gegebenen Stoffe.
- Ordnen Sie darauf basierend die Stoffe nach steigenden Siedetemperaturen.

#### Einsatz Hilfekarten:

Je nach Variation der Aufgabe 3 können zum einen die Zusammenhänge und zum anderen die Teilordnungen als Hilfekarten eingesetzt werden. Es ist ebenso denkbar, dass Zusammenhang und Teilordnung die Vorder- und Rückseite einer Hilfekarte bilden.

### **4. Mögliche Probleme bei der Umsetzung**

- Der Umgang mit Hilfekarten sollte den Schülerinnen und Schülern bekannt sein bzw. entsprechend erklärt werden.

## 5. Lösungserwartungen

Erwartungshorizont																			
1	Angeben der Summen- und Strukturformeln sowie Ermitteln der molaren Masse:																		
	<table border="1" style="width: 100%; border-collapse: collapse;"> <thead> <tr> <th style="width: 50%; text-align: center;">Ethan</th> <th style="width: 50%; text-align: center;">Propan</th> </tr> </thead> <tbody> <tr> <td>Summenformel: <math>C_2H_6</math> mögliche Strukturformel:  <math display="block">\begin{array}{c} \text{H} \quad \text{H} \\   \quad   \\ \text{H}-\text{C}-\text{C}-\text{H} \\   \quad   \\ \text{H} \quad \text{H} \end{array}</math> </td> <td>Summenformel: <math>C_3H_8</math> mögliche Strukturformel:  <math display="block">\begin{array}{c} \text{H} \quad \text{H} \quad \text{H} \\   \quad   \quad   \\ \text{H}-\text{C}-\text{C}-\text{C}-\text{H} \\   \quad   \quad   \\ \text{H} \quad \text{H} \quad \text{H} \end{array}</math> </td> </tr> <tr> <td>molare Masse: <math>M = 30 \frac{\text{g}}{\text{mol}}</math></td> <td>molare Masse: <math>M = 44 \frac{\text{g}}{\text{mol}}</math></td> </tr> <tr> <th style="text-align: center;">2-Methylbutan</th> <th style="text-align: center;">Butan</th> </tr> <tr> <td>Summenformel: <math>C_5H_{12}</math> mögliche Strukturformel:  <math display="block">\begin{array}{c} \text{H} \quad \text{H} \quad \text{CH}_3 \quad \text{H} \\   \quad   \quad   \quad   \\ \text{H}-\text{C}-\text{C}-\text{C}-\text{C}-\text{H} \\   \quad   \quad   \quad   \\ \text{H} \quad \text{H} \quad \text{H} \quad \text{H} \end{array}</math> </td> <td>Summenformel: <math>C_4H_{10}</math> mögliche Strukturformel:  <math display="block">\begin{array}{c} \text{H} \quad \text{H} \quad \text{H} \quad \text{H} \\   \quad   \quad   \quad   \\ \text{H}-\text{C}-\text{C}-\text{C}-\text{C}-\text{H} \\   \quad   \quad   \quad   \\ \text{H} \quad \text{H} \quad \text{H} \quad \text{H} \end{array}</math> </td> </tr> <tr> <td>molare Masse: <math>M = 72 \frac{\text{g}}{\text{mol}}</math></td> <td>molare Masse: <math>M = 58 \frac{\text{g}}{\text{mol}}</math></td> </tr> <tr> <th style="text-align: center;">Ethansäuremethylester</th> <th style="text-align: center;">Butan-1-ol</th> </tr> <tr> <td>Summenformel<sup>1</sup>: <math>C_3H_6O_2</math> (bzw. <math>CH_3COOCH_3</math>) mögliche Strukturformel:  <math display="block">\begin{array}{c} \text{H} \quad \text{O} \quad \quad \text{H} \\   \quad    \quad \quad   \\ \text{H}-\text{C}-\text{C}-\text{O}-\text{C}-\text{H} \\   \quad \quad \quad   \\ \text{H} \quad \quad \quad \text{H} \end{array}</math> </td> <td>Summenformel<sup>1</sup>: <math>C_4H_{10}O</math> (bzw. <math>C_4H_9OH</math>) mögliche Strukturformel:  <math display="block">\begin{array}{c} \text{H} \quad \text{H} \quad \text{H} \quad \text{H} \\   \quad   \quad   \quad   \\ \text{H}-\text{C}-\text{C}-\text{C}-\text{C}-\text{OH} \\   \quad   \quad   \quad   \\ \text{H} \quad \text{H} \quad \text{H} \quad \text{H} \end{array}</math> </td> </tr> <tr> <td>molare Masse: <math>M = 74 \frac{\text{g}}{\text{mol}}</math></td> <td>molare Masse: <math>M = 74 \frac{\text{g}}{\text{mol}}</math></td> </tr> </tbody> </table>	Ethan	Propan	Summenformel: $C_2H_6$ mögliche Strukturformel: $\begin{array}{c} \text{H} \quad \text{H} \\   \quad   \\ \text{H}-\text{C}-\text{C}-\text{H} \\   \quad   \\ \text{H} \quad \text{H} \end{array}$	Summenformel: $C_3H_8$ mögliche Strukturformel: $\begin{array}{c} \text{H} \quad \text{H} \quad \text{H} \\   \quad   \quad   \\ \text{H}-\text{C}-\text{C}-\text{C}-\text{H} \\   \quad   \quad   \\ \text{H} \quad \text{H} \quad \text{H} \end{array}$	molare Masse: $M = 30 \frac{\text{g}}{\text{mol}}$	molare Masse: $M = 44 \frac{\text{g}}{\text{mol}}$	2-Methylbutan	Butan	Summenformel: $C_5H_{12}$ mögliche Strukturformel: $\begin{array}{c} \text{H} \quad \text{H} \quad \text{CH}_3 \quad \text{H} \\   \quad   \quad   \quad   \\ \text{H}-\text{C}-\text{C}-\text{C}-\text{C}-\text{H} \\   \quad   \quad   \quad   \\ \text{H} \quad \text{H} \quad \text{H} \quad \text{H} \end{array}$	Summenformel: $C_4H_{10}$ mögliche Strukturformel: $\begin{array}{c} \text{H} \quad \text{H} \quad \text{H} \quad \text{H} \\   \quad   \quad   \quad   \\ \text{H}-\text{C}-\text{C}-\text{C}-\text{C}-\text{H} \\   \quad   \quad   \quad   \\ \text{H} \quad \text{H} \quad \text{H} \quad \text{H} \end{array}$	molare Masse: $M = 72 \frac{\text{g}}{\text{mol}}$	molare Masse: $M = 58 \frac{\text{g}}{\text{mol}}$	Ethansäuremethylester	Butan-1-ol	Summenformel <sup>1</sup> : $C_3H_6O_2$ (bzw. $CH_3COOCH_3$ ) mögliche Strukturformel: $\begin{array}{c} \text{H} \quad \text{O} \quad \quad \text{H} \\   \quad    \quad \quad   \\ \text{H}-\text{C}-\text{C}-\text{O}-\text{C}-\text{H} \\   \quad \quad \quad   \\ \text{H} \quad \quad \quad \text{H} \end{array}$	Summenformel <sup>1</sup> : $C_4H_{10}O$ (bzw. $C_4H_9OH$ ) mögliche Strukturformel: $\begin{array}{c} \text{H} \quad \text{H} \quad \text{H} \quad \text{H} \\   \quad   \quad   \quad   \\ \text{H}-\text{C}-\text{C}-\text{C}-\text{C}-\text{OH} \\   \quad   \quad   \quad   \\ \text{H} \quad \text{H} \quad \text{H} \quad \text{H} \end{array}$	molare Masse: $M = 74 \frac{\text{g}}{\text{mol}}$	molare Masse: $M = 74 \frac{\text{g}}{\text{mol}}$
Ethan	Propan																		
Summenformel: $C_2H_6$ mögliche Strukturformel: $\begin{array}{c} \text{H} \quad \text{H} \\   \quad   \\ \text{H}-\text{C}-\text{C}-\text{H} \\   \quad   \\ \text{H} \quad \text{H} \end{array}$	Summenformel: $C_3H_8$ mögliche Strukturformel: $\begin{array}{c} \text{H} \quad \text{H} \quad \text{H} \\   \quad   \quad   \\ \text{H}-\text{C}-\text{C}-\text{C}-\text{H} \\   \quad   \quad   \\ \text{H} \quad \text{H} \quad \text{H} \end{array}$																		
molare Masse: $M = 30 \frac{\text{g}}{\text{mol}}$	molare Masse: $M = 44 \frac{\text{g}}{\text{mol}}$																		
2-Methylbutan	Butan																		
Summenformel: $C_5H_{12}$ mögliche Strukturformel: $\begin{array}{c} \text{H} \quad \text{H} \quad \text{CH}_3 \quad \text{H} \\   \quad   \quad   \quad   \\ \text{H}-\text{C}-\text{C}-\text{C}-\text{C}-\text{H} \\   \quad   \quad   \quad   \\ \text{H} \quad \text{H} \quad \text{H} \quad \text{H} \end{array}$	Summenformel: $C_4H_{10}$ mögliche Strukturformel: $\begin{array}{c} \text{H} \quad \text{H} \quad \text{H} \quad \text{H} \\   \quad   \quad   \quad   \\ \text{H}-\text{C}-\text{C}-\text{C}-\text{C}-\text{H} \\   \quad   \quad   \quad   \\ \text{H} \quad \text{H} \quad \text{H} \quad \text{H} \end{array}$																		
molare Masse: $M = 72 \frac{\text{g}}{\text{mol}}$	molare Masse: $M = 58 \frac{\text{g}}{\text{mol}}$																		
Ethansäuremethylester	Butan-1-ol																		
Summenformel <sup>1</sup> : $C_3H_6O_2$ (bzw. $CH_3COOCH_3$ ) mögliche Strukturformel: $\begin{array}{c} \text{H} \quad \text{O} \quad \quad \text{H} \\   \quad    \quad \quad   \\ \text{H}-\text{C}-\text{C}-\text{O}-\text{C}-\text{H} \\   \quad \quad \quad   \\ \text{H} \quad \quad \quad \text{H} \end{array}$	Summenformel <sup>1</sup> : $C_4H_{10}O$ (bzw. $C_4H_9OH$ ) mögliche Strukturformel: $\begin{array}{c} \text{H} \quad \text{H} \quad \text{H} \quad \text{H} \\   \quad   \quad   \quad   \\ \text{H}-\text{C}-\text{C}-\text{C}-\text{C}-\text{OH} \\   \quad   \quad   \quad   \\ \text{H} \quad \text{H} \quad \text{H} \quad \text{H} \end{array}$																		
molare Masse: $M = 74 \frac{\text{g}}{\text{mol}}$	molare Masse: $M = 74 \frac{\text{g}}{\text{mol}}$																		

<b>Pentan</b>	<b>Propansäure</b>
<p>Summenformel:  <math>C_5H_{12}</math>            mögliche Strukturformel:</p> <pre>       H   H   H   H   H                         H — C — C — C — C — C — H                               H   H   H   H   H           </pre> <p>molare Masse:  <math>M = 72 \frac{\text{g}}{\text{mol}}</math></p>	<p>Summenformel<sup>1</sup>:  <math>C_3H_6O_2</math> (bzw. <math>C_2H_5COOH</math>)            mögliche Strukturformel:</p> <pre>       H   H   O                  H — C — C — C — O — H                   H   H           </pre> <p>molare Masse:  <math>M = 74 \frac{\text{g}}{\text{mol}}</math></p>
<p><b>Butansäure</b></p> <p>Summenformel<sup>1</sup>:  <math>C_4H_8O_2</math> (bzw. <math>C_3H_7COOH</math>)            mögliche Strukturformel:</p> <pre>       H   H   H   O                      H — C — C — C — C — O — H                       H   H   H           </pre> <p>molare Masse:  <math>M = 88 \frac{\text{g}}{\text{mol}}</math></p>	
<p><sup>1</sup> Summenformel besitzen den Vorteil, dass sich die molaren Massen leicht bestimmen lassen. Ein Nachteil ist, dass keine Aussagen über die Verknüpfung der Atome getroffen werden können. Daher wird die Verwendung von rationellen Formeln (Mischform aus Summen- und Konstitutionsformel) empfohlen. Die damit verbundene fachwissenschaftliche Unsauberkeit sowie die Vor- und Nachteile beider Darstellungsformen ist mit den Schülerinnen und Schülern an geeigneter Stelle zu thematisieren. Von der Verwendung und Unterscheidung der Begriffe „rationelle Formel“ und „Konstitutionsformel“ im Unterricht wird abgeraten.</p>	

2	<p>Ordnen nach steigenden Siedetemperaturen:</p> <ol style="list-style-type: none"><li>1. Ethan</li><li>2. Propan</li><li>3. Butan</li><li>4. 2-Methylbutan</li><li>5. Pentan</li><li>6. Ethansäuremethylester</li><li>7. Butan-1-ol</li><li>8. Propansäure</li><li>9. Butansäure</li></ol>
3	<p>Erklären der drei Zusammenhänge zwischen der Struktur und der Siedetemperatur:</p> <p><b>1. Zusammenhang:</b> <u>innerhalb der homologen Reihe einer Stoffklasse gilt:</u></p> <p>Je größer die molare Masse einer Verbindung (innerhalb einer homologen Reihe), umso stärker die intermolekularen Wechselwirkungen (Van-der-Waals).</p> <p>Je stärker die intermolekularen Wechselwirkungen, desto mehr Energie ist notwendig, um den Molekülabstand zu erhöhen und desto höher ist die Siedetemperatur dieses Stoffes.</p> <p>Ethan, Propan, Butan und Pentan gehören zur homologen Reihe der Alkane. Da Ethan die geringste molare Masse (kleinste Oberfläche) besitzt, hat es folglich die geringste Siedetemperatur. Entsprechend der molaren Massen folgen dann Propan, Butan und Pentan (höchste molare Masse).</p> <p>Gleiches gilt für die homologe Reihe der Alkansäuren.</p> <p><b>2. Zusammenhang:</b> <u>für Isomere einer Stoffklasse gilt:</u></p> <p>Je verzweigter die Moleküle von Verbindungen einer Stoffklasse, umso kleiner die intermolekularen Wechselwirkungen.</p> <p>Je schwächer die intermolekularen Wechselwirkungen, desto weniger Energie ist notwendig, um den Molekülabstand zu erhöhen und desto geringer ist die Siedetemperatur dieses Stoffes.</p>

2-Methylbutan und Pentan besitzen dieselbe molare Masse (Isomere). Die Moleküle von 2-Methylbutan sind verzweigter als die Moleküle von Pentan, sodass zwischen den Molekülen von 2-Methylbutan schwächere Wechselwirkungen herrschen (kleinere Oberfläche). Somit besitzt 2-Methylbutan eine geringere Siedetemperatur als Pentan.

### **3. Zusammenhang:**

für Moleküle mit vergleichbarer molarer Masse aus unterschiedlichen Stoffklassen gilt:

Je stärker die intermolekularen Wechselwirkungen (Van-der-Waals, Dipol-Dipol, Wasserstoffbrücken) zwischen den Molekülen einer Verbindung, desto mehr Energie ist notwendig, um den Molekülabstand zu erhöhen und desto höher ist die Siedetemperatur des Stoffes.

Zwischen Molekülen der Alkane (Pentan oder 2-Methylbutan) wirken nur Van-der-Waals-Wechselwirkungen.

Zwischen Molekülen des Ethansäuremethylesters wirken zusätzlich Dipol-Dipol-Wechselwirkungen (Ester-Gruppe).

Zwischen Molekülen des Butan-1-ols wirken zusätzlich Dipol-Dipol-Wechselwirkungen und Wasserstoffbrücken (Hydroxy-Gruppe, ein Sauerstoff-Atom).

Zwischen Molekülen der Propansäure wirken zusätzlich stärkere Dipol-Dipol-Wechselwirkungen und Wasserstoffbrücken (Carboxy-Gruppe, zwei Sauerstoff-Atome).

Im Vergleich zu den Wasserstoffbrücken sind Dipol-Dipol-Wechselwirkungen schwächer. Somit herrschen zwischen den Molekülen des Ethansäuremethylesters die geringsten intermolekularen Wechselwirkungen, woraus die geringste Siedetemperatur der drei Sauerstoffderivate folgt.

Zwischen Molekülen der Propansäure wirken stärkere Dipol-Dipol-Wechselwirkungen und Wasserstoffbrücken im Vergleich zu Butan-1-ol. Somit besitzt Propansäure die höhere Siedetemperatur.

## 6. Weiterführende Hinweise

- Es ist darauf zu achten, dass beim Ableiten bzw. Begründen von Siedetemperaturen mithilfe der Struktur nur Moleküle betrachtet werden, die einen vergleichbaren Aufbau (z. B. homologe Reihen) bzw. eine vergleichbare molare Masse haben.
- Bei leistungsstarken Lerngruppen (insbesondere in der Sekundarstufe II) besteht die Möglichkeit bei Wechselwirkungen zwischen Teilchen die Einteilung in „Wechselwirkung zwischen temporären Dipolen“, „Wechselwirkungen zwischen permanenten Dipolen“ sowie dem Sonderfall „Wasserstoffbrücke“ zu verwenden. Dadurch wird die Anschlussfähigkeit an die universitäre Unterscheidung der Wechselwirkungen (z. B. London-Kräfte, Debye- oder Keesom-Wechselwirkungen) erhöht.

## 7. Literatur- und Quellenverzeichnis

- Ministerium für Bildung Sachsen-Anhalt (Hrsg.) (2022): Fachlehrplan Gymnasium Chemie. Magdeburg, S. 30-33.
- Ministerium für Bildung Sachsen-Anhalt (Hrsg.) (2022): Fachlehrplan Gymnasium Biologie. Magdeburg, S. 47, S. 56, S. 60/61, S. 69.
- David R. Lide, ed.: CRC Handbook of Chemistry and Physics, Internet Version 2005, CRC Press, BocaRaton, FL, 2005
- <https://gestis.dguv.de/>, abgerufen am 26.09.2023

## 8. Anhang

- Verbindungen mit zugehörigen Siedetemperaturen
  - Butan -0,5 °C
  - Butan-1-ol 118 °C
  - Butansäure 163 °C
  - Ethan -88,6 °C
  - Ethansäuremethylester 57 °C
  - 2-Methylbutan 28 °C
  - Pentan 36 °C
  - Propan -42 °C
  - Propansäure 141 °C

Quelle: <https://gestis.dguv.de/>, abgerufen am 26.09.2023