

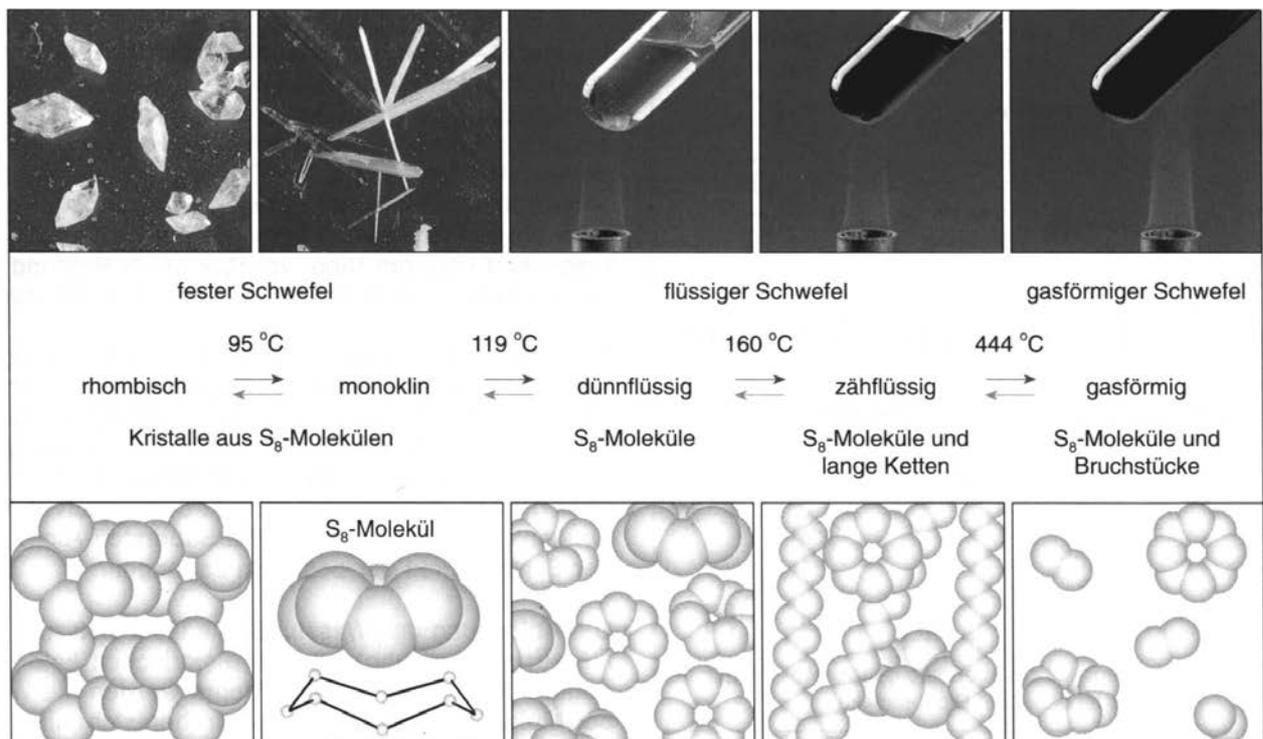
## Erscheinungsform von Stoffen und zwischenmolekulare Kräfte am Beispiel des Schwefels

### Einleitung

Schwefel ist ein Element mit ungewöhnlichen Eigenschaften. Bei Raumtemperatur ist Schwefel ein spröder, gelber Stoff. Er löst sich nicht in Wasser, wohl aber in den Lösungsmitteln Kohlenstoffdisulfid ( $\text{CS}_2$ ) und Toluol ( $\text{CH}_3\text{-C}_6\text{H}_6$ ). Schwefel schmilzt bei  $119\text{ }^\circ\text{C}$  und siedet bei  $444\text{ }^\circ\text{C}$ . Ähnlich wie beim Kohlenstoff (Diamant und Graphit) und beim Phosphor (roter Phosphor und weisser Phosphor) gibt es auch beim Schwefel verschiedene Erscheinungsformen, die aus gleichen Atomen – jedoch unterschiedlich miteinander verknüpft – bestehen (= Modifikationen). In den Eigenschaften gibt es aber längst nicht so grosse Unterschiede wie bei den zwei Kohlenstoffmodifikationen Diamant und Graphit.

In der Natur tritt nur eine Form des Schwefels auf: der rhombische Schwefel ( $\alpha$ -Schwefel). Diese Schwefelkristalle gleichen kleinen Doppelpyramiden. Aus einer Schwefelschmelze bildet sich dagegen monokliner Schwefel ( $\beta$ -Schwefel) in Form von nadelförmigen Kristallen.

In Lösungen und in den beiden kristallinen Formen des Schwefels liegen kronenartige Moleküle aus jeweils 8 Schwefelatomen vor ( $\text{S}_8$ -Molekül, vgl. GF-Skript, Teil B). Im  $\text{S}_8$ -Ringmolekül ist jedes Schwefelatom über zwei Einfachbindungen mit den Nachbaratomen verknüpft.



Siede- und Schmelzpunkt eines Stoffes und damit dessen Aggregatzustand bei einer bestimmten Temperatur sind von den Anziehungskräften zwischen den Stoff aufbauenden Teilchen abhängig. Beim Schwefel liegen Moleküle vor. Es sind also die Anziehungskräfte zwischen  $\text{S}_8$ -Molekülen respektive zwischen kleineren oder grösseren Ketten von Schwefelatomen (vgl. obige Abbildung) zu beurteilen.

- Lernziele:**
- Du kannst die beim Erhitzen von Schwefel zu beobachtenden Erscheinungsformen beschreiben.
  - Du bist in der Lage, diese Erscheinungsformen auf Teilchenebene zu begründen.

<b>Sicherheit:</b>	Beim Verbrennen von Schwefel entsteht giftiges Schwefeldioxid. Nicht einatmen.
<b>Entsorgung:</b>	Das Reagenzglas und die Schwefelreste kommen in den normalen Abfall.

## Versuche

### Geräte

- Bunsenbrenner
- Filterpapier (klein)
- Trichter (Kunststoff), klein
- Handlupe
- Reagenzglas
- Reagenzglasgestell
- Reagenzglasklammer
- Spatellöffel
- Schutzbrille
- Konfitüreglas
- Universalindikatorpapier
- Magnesiastäbchen
- Pinzette (Metall)

### Chemikalien

- Schwefelpulver
- Schwefelkristalle aus Sammlung (zentral)
- Sammelgefäß für Schwefelabfälle (zentral)

### Versuch 1: Schwefelkristalle aus Schmelze

- 1.1 Fülle in ein Reagenzglas 3 gehäufte Spatellöffel Schwefelpulver.
- 1.2 Stelle einen Trichter mit Filterpapier in das Reagenzglasgestell.
- 1.3 (Abzug)  Erhitze den Schwefel ganz vorsichtig unter ständigem leichten Schütteln mit einer schwachen, aber nicht-leuchtenden Flamme (Luftzufuhr etwa zur Hälfte zu), bis sich alles Pulver in eine goldgelbe homogene Flüssigkeit verwandelt hat.

Achtung: Nicht überhitzen, sonst taucht vorübergehend ein unerwünschter roter Farbton auf! Halte deshalb das RG nur ganz kurz (nicht länger als jeweils 2 Sekunden) in die Flamme und warte einige Sekunden bis zum erneuten Erhitzen. Bis eine homogene goldgelbe Flüssigkeit vorliegt, dauert es somit 1–2 Minuten.
- 1.4 Giesse die Flüssigkeit 'aufs Mal', d. h. möglichst schnell und ohne Verzug direkt nach dem Erhitzen, aufs Filterpapier im Trichter. Es kann dabei kein Schwefel durch das Papier gelangen. Lass den Schwefel erkalten und fahre mit Versuch 2 weiter. Es ist wichtig, dass du während den nächsten 5 Minuten den Erstarrungsprozess nicht störst (nicht mehr berühren).
- 1.5 Nun kannst du den erstarrten Schwefel vorsichtig vom Filterpapier lösen. Betrachte die Struktur des Schwefels zuerst von bloßem Auge und dann unter der Handlupe. Bei Bedarf kannst du die erstarrte Schwefelschmelze auch vorsichtig aufbrechen und erneut die Struktur betrachten. Notiere deine Beobachtungen.

### Versuch 2: Erscheinungsformen von Schwefel

- 2.1 Das Reagenzglas samt Inhalt (aus Versuch 1) kannst du im Folgenden weiter verwenden.
- 2.2 Zu den Resten gibst du so viel Schwefelpulver, bis das RG  $\frac{1}{4}$  hoch gefüllt ist.
- 2.3 Fülle ein Konfitüreglas zur Hälfte mit Leitungswasser.
- 2.4 (Abzug)  Erhitze nun das Reagenzglas wieder (wie unter 1.3 beschrieben). Die Schwefelreste im oberen Teil des Reagenzglases lassen sich durch vorsichtiges Erwärmen verflüssigen.
- 2.5 Erhitze unter ständigem Schütteln sorgfältig weiter, bis sich die Erscheinungsform ändert. Prüfe die Konsistenz (Fliessverhalten) durch Schütteln und die Farbe der Schwefelschmelze. Nimm nun das RG sofort von der Flamme. Notiere deine Beobachtung.

- 2.6 Warte 3–4 Minuten. Prüfe und notiere wiederum Konsistenz und Farbe.
- 2.7 Erhitze das RG erneut, bis der Schwefel siedet. Achte dabei auf die verschiedenen Erscheinungsformen (Farbe, Konsistenz) des Schwefels. Notiere deine Beobachtung.
- 2.8 Wenn der Schwefel siedet, nimmst du das RG aus der Flamme. Giesse dann den Reagenzglasinhalt 'aufs Mal' und rasch in das Wasser im Konfitüreglas. Nimm die Schwefelmasse mit einer Pinzette oder von Hand aus dem Wasser. Prüfe Farbe und Konsistenz. Beobachtung notieren.

### Versuch 3                      Verbrennungsprodukte von Schwefel

- 3.1 Erhitze kurz das RG mit den Schwefelresten aus Versuch 2, so dass im oberen Teil des RG wieder etwas geschmolzener Schwefel vorliegt.
- 3.2 Halte ein Magnesiastäbchen (allenfalls mit einer Pinzette) so in die Schmelze, dass etwas Schwefel haften bleibt. Halte ein angefeuchtetes Universalindikatorpapier bereit (1 cm Länge genügt!).
- 3.3 Entzünde nun den Schwefel an der Spitze des Magnesiastäbchens und halte mit der Metall-Pinzette das Universalindikatorpapier über die Schwefelflamme. Beachte die Farbe der Flamme und des Universalindikatorpapiers. Prüfe auch den Geruch der entstandenen Verbrennungsgase. Notiere deine Beobachtung respektive beschreibe deine Wahrnehmung.

### Aufgaben

*Die Aufgaben- korrespondiert mit der Versuchsnummer.*

1. Beschreibe die Struktur der erstarrten Schwefelschmelze. Liegt rhombischer oder monokliner Schwefel vor? Vergleiche deine Beobachtungen mit dem Schwefelkristall aus der Mineraliensammlung der Schule.
- 2.1 Beschreibe die verschiedenen Erscheinungsformen (Farbe, Konsistenz) des Schwefels. Welche Teilchen liegen in den einzelnen Erscheinungsformen vor? Zeichne die Teilchen in Lewis-Schreibweise (z. B. das  $S_8$ -Molekül).  
*Tipp:* Überlege dir, welches Teilchen bei der homolytischen Auftrennung einer S–S-Bindung im  $S_8$ -Molekülring entsteht (Eine Atombindung wird homolytisch getrennt, wenn bei den Bindungspartnern je eine Elektron der Bindung verbleibt.) Wie reagieren die entstanden Teilchen untereinander weiter? Was passiert beim weiteren Erwärmen (Energiezufuhr) mit den Teilchen?  
Zur Beantwortung der Frage erstellst du am besten eine Tabelle mit den Items 'Farbe', 'Konsistenz', 'Teilchenart' in Worten (z. B. Kettenbruchstück), 'Formel' (Lewis-Schreibweise).
- 2.2 Begründe in einigen Sätzen möglichst detailliert die jeweilige Konsistenz des Schwefels.  
*Tipp:* Überlege dir, welche Kräfte zwischen den unter 2.1 von dir beschriebenen Teilchen wirken. Von welchen Grössen sind diese Kräfte abhängig? Erwähne dich an die Abhängigkeiten von Siedetemperatur und Schmelzpunkt.
- 2.3 Hast du das 'Produkt', das durch das Einbringen der siedenden Schmelze in Wasser entstanden ist, erwartet? Warum? Warum nicht? Ist dieses Produkt immer noch Schwefel, oder fand eine chemische Reaktion statt? Begründe deine Vermutung.
- 3.1 Mit welcher Flammenfarbe verbrennt Schwefel? Gib die Reaktionsgleichung für die Verbrennung von Schwefel (IV) wieder. Kommt dir der Geruch aus dem Alltag bekannt vor?
- 3.2 Schwefeldioxid reagiert mit Wasser zu Schwefliger Säure ( $H_2SO_3$ ). Formuliere die entsprechende Reaktionsgleichung. Setze das entstandene Produkt in Beziehung mit der Farbe des Universalindikatorpapiers.  
Welche konkrete Umweltrelevanz hat das entstandene Produkt, wenn du berücksichtigst, dass geringe Mengen Schwefel in fossilen Energieträgern vorkommen?