

# HAUSARBEIT

---

**Fachwissenschaftliche und fachdidaktische Aspekte  
der 17. Elementgruppe (Halogene)  
für den Chemieunterricht der Sekundarstufe I**

---

*vorgelegt von:*

Mario Haas

# Inhaltsverzeichnis

|                                                     |           |
|-----------------------------------------------------|-----------|
| <b>Halogene .....</b>                               | <b>1</b>  |
| <b>1 Fachwissenschaftliche Aspekte .....</b>        | <b>1</b>  |
| 1.1 Fluor .....                                     | 2         |
| 1.2 Chlor.....                                      | 3         |
| 1.3 Brom.....                                       | 4         |
| 1.4 Iod .....                                       | 4         |
| 1.5 Astat .....                                     | 5         |
| 1.6 Tenness.....                                    | 5         |
| 1.7 Hydrohalogene .....                             | 5         |
| 1.8 Sauerstoffsäuren des Chlors .....               | 6         |
| 1.9 Interhalogenverbindungen .....                  | 6         |
| 1.9.1 Zweiatomige Interhalogene .....               | 6         |
| 1.10 Edelgasverbindungen.....                       | 7         |
| <b>2 Alltag, Lebenswelt.....</b>                    | <b>8</b>  |
| 2.1 Meerwasser/Speisesalz .....                     | 8         |
| 2.2 Zahnpasta .....                                 | 8         |
| 2.3 Halogenlampe.....                               | 8         |
| 2.4 Kunststoffherstellung (PVC) .....               | 9         |
| 2.5 Desinfektion .....                              | 9         |
| 2.5.1 Natriumhypochlorit .....                      | 9         |
| 2.5.2 Wasseraufbereitung.....                       | 10        |
| 2.6 Bleichmittel .....                              | 10        |
| <b>3 Natur/Umwelt .....</b>                         | <b>11</b> |
| 3.1 Toxizität elementarer Halogene .....            | 11        |
| 3.2 Versalzung der Böden .....                      | 11        |
| 3.3 Fluorierte Kohlenwasserstoffe (FCKW) .....      | 11        |
| 3.4 Dioxine und polychlorierte Biphenole (PCB)..... | 12        |

|          |                                                      |           |
|----------|------------------------------------------------------|-----------|
| <b>4</b> | <b>Experimente.....</b>                              | <b>13</b> |
| 4.1      | Gefährdung durch elementare Halogene .....           | 13        |
| 4.2      | Experimente mit elementaren Halogenen .....          | 14        |
| 4.2.1    | Löslichkeit von Iod in unterschiedlichen Medien..... | 14        |
| 4.2.2    | Elektrolyse .....                                    | 15        |
| 4.2.3    | Sublimation von Iod .....                            | 16        |
| 4.2.4    | Darstellung von Chlor(wasser) .....                  | 16        |
| 4.2.5    | Rosenbleiche .....                                   | 18        |
| 4.2.6    | Chlorwasser auf Tinte .....                          | 18        |
| 4.3      | Experimente mit Salzen.....                          | 19        |
| 4.3.1    | Ionenwanderung .....                                 | 19        |
| 4.3.2    | Kältemischung .....                                  | 20        |
| 4.4      | Nachweisreaktionen .....                             | 21        |
| 4.4.1    | Iod-/Stärkenachweis.....                             | 21        |
| 4.4.2    | Beilsteinprobe.....                                  | 22        |
| 4.4.3    | Halogenidnachweis mit Silbernitrat .....             | 22        |
| 4.4.4    | Kriechprobe .....                                    | 23        |
|          | <b>Literaturverzeichnis .....</b>                    | <b>24</b> |
|          | <b>Anhänge .....</b>                                 | <b>28</b> |
|          | <b>Eigenständigkeitserklärung .....</b>              | <b>56</b> |

# Halogene

Die Elemente der 17. Gruppe – Halogene – sind Fluor (*F*), Chlor (*Cl*), Brom (*Br*), Iod (*I*), das radioaktive Astat (*At*) und das synthetisch hergestellte Tenness (*Ts*). Halogene werden als Salzbildner bezeichnet (griech. *hals*, Salz und griech. *gennan*, bilden): Sie bilden durch Reaktion mit Metallen Salze (Eisner et al. 2004, S. 126).

## 1 Fachwissenschaftliche Aspekte

Halogene weisen eine hohe Elektronegativität und eine daraus resultierende hohe Reaktivität auf (vgl. Tabelle 1). Sie kommen daher nahezu ausschließlich nicht elementar vor.<sup>1</sup>

| Eigenschaft                       | Fluor ( <i>F</i> )       | Chlor ( <i>Cl</i> )      | Brom ( <i>Br</i> )       | Iod ( <i>I</i> )         | Astat ( <i>At</i> )              |
|-----------------------------------|--------------------------|--------------------------|--------------------------|--------------------------|----------------------------------|
| Ordnungszahl                      | 9                        | 17                       | 35                       | 53                       | 85                               |
| Elektronenkonfiguration           | $[He] 2s^2 2p^5$         | $[Ne] 3s^2 3p^5$         | $[Ar] 3d^{10} 4s^2 4p^5$ | $[Kr] 4d^{10} 5s^2 5p^5$ | $[Xe] 4f^{14} 5d^{10} 6s^2 6p^5$ |
| Elektro-negativität (Pauling)     | 3,98                     | 3,16                     | 2,96                     | 2,66                     | 2,2                              |
| Elektronen-affinität              | -3,4 eV                  | -3,6 eV                  | -3,4 eV                  | -3,1 eV                  |                                  |
| 1. Ionisie-rungsenergie           | 17,5 eV                  | 13,0 eV                  | 11,8 eV                  | 10,4 eV                  | 9,31 eV                          |
| Schmelz-temperatur                | -220 °C                  | -101 °C                  | -7 °C                    | 114 °C                   | 302 °C                           |
| Siede-temperatur                  | -188 °C                  | -34 °C                   | 59 °C                    | 185 °C                   | 370 °C                           |
| Standard-potential ( $X_2/2X^-$ ) | +2,87 V                  | +1,36 V                  | +1,07 V                  | +0,54 V                  |                                  |
| Dichte bei 20°C                   | $0,00159 \frac{g}{cm^3}$ | $0,00299 \frac{g}{cm^3}$ | $3,12 \frac{g}{cm^3}$    | $4,93 \frac{g}{cm^3}$    | $8,75 \frac{g}{cm^3}$            |

Tabelle 1: **Eigenschaften der Halogene**

(Riedel 2011, S. 423; Eisner et al. 2004, S. 125; Holleman/Wiberg/Wiberg 2017, S. 489f; WebElements: Astatine; Seilnacht: Fluor, Chlor, Brom, Iod, Astat)

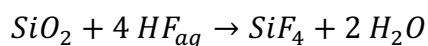
<sup>1</sup> Eine Ausnahme bilden Fluorvorkommen in Stinkspat (vgl. Kap. 1.1).

Mit Ausnahme von Fluor können die Halogene Oxidationszahlen von 0,  $-1$ ,  $+3$ ,  $+5$  und  $+7$  annehmen. Fluor kann nur die Oxidationszahlen von 0 und  $-1$  annehmen, da es das elektronegativste Element des Periodensystems ist. Elementar kommen Halogene als zweiatomige Moleküle vor (Riedel 2011, S. 423ff). Aufgrund ihrer Unpolarität sind Halogene schlecht wasserlöslich.<sup>2</sup> Halogene und halogenhaltige Verbindungen können mit der Beilsteinprobe nachgewiesen werden (vgl. Kap. 4.4.2). Halogenide können außerdem durch die Fällungsreaktion mit Silbernitrat nachgewiesen werden (vgl. Kap. 4.4.3). Fluoride können mithilfe der Kriechprobe (vgl. Kap. 4.4.4) nachgewiesen werden. Elementare Halogene sind aufgrund der Elektronegativität sehr reaktiv und deswegen giftig. Die Reaktivität nimmt mit zunehmender Ordnungszahl ab.

## 1.1 Fluor



Fluor ( $F_2$ ) ist bei Normalbedingungen ein schwach gelbes Gas. Es kommt in der Natur als Flußspat ( $CaF_2$ ), Apatit ( $Ca_5(PO_4)_3(OH, F)$ ) und Kryolith ( $Na_3AlF_6$ ) vor. Fluor wird durch wasserfreie Elektrolyse der o.g. Verbindungen dargestellt. Elementares Fluor wird in der Aufbereitung von Kernstoffen wie zum Beispiel Uran verwendet (Riedel 2011, S. 428). Fluorverbindungen sind essentiell für den menschlichen Körper: Apatit trägt zur Festigkeit des Knochens bei. Das Dentin des Zahns besteht ebenfalls aus Apatit (Eisner et al. 2004, S. 129). Flußsäure, die wässrige Lösung des Fluorwasserstoffs  $HF$ , wird zum Ätzen von Glas verwendet:



**Formel 1:** Reaktion von Glas (hier:  $SiO_2$ ) mit Flußsäure ( $HF_{aq}$ ).

(Seilnacht: Fluor). Die maximale Arbeitsplatzkonzentration (MAK) beträgt  $\sigma = 1 \frac{mL}{m^3}$  (GESTIS: Fluor).

---

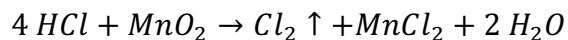
<sup>2</sup> Eine Ausnahme bildet das Chlor, welches in Wasser zu  $HCl$  und  $HClO$  dissoziiert (Riedel 2011, S. 427).

Fluor kommt in elementarer Form im Stinkspat vor. Durch radioaktiven Zerfall von Uran entsteht elementares Fluor, welches wiederum mit Flussspat ( $CaF_2$ ) zu Fluoriden reagiert, welche inert gegenüber Fluor sind. Dadurch können im in der Oberpfalz vorkommenden Stinkspat Fluoreinschlüsse vorliegen. (Schmedt auf der Günne et al. 2012) Fluor wird ebenfalls zur Isotopentrennung von  $^{235}_{92}U$  und  $^{238}_{92}U$  mittels Gasdiffusion in Form von  $UF_6$  verwendet (Atomwaffen A-Z: Uranhexafluorid).

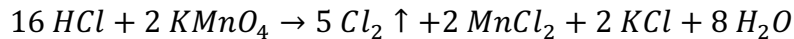
## 1.2 Chlor



Chlor ( $Cl_2$ ) ist ebenfalls bei Normalbedingungen gasförmig. Das schwach grüne Gas ist schwerer als Luft. Technisch wird Chlor durch Elektrolyse wässriger  $NaCl$ -Lösungen dargestellt. Im Labor kann Chlor durch die Reaktion von konzentrierter Salzsäure  $HCl$  mit  $MnO_2$  oder  $KMnO_4$  dargestellt werden:



**Formel 2:** Darstellung von elementarem Chlor ( $Cl_2$ ) aus der Reaktion von Braunstein ( $MnO_2$ ) mit Salzsäure ( $HCl$ ).



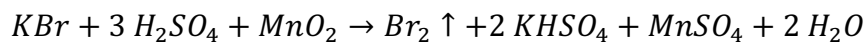
**Formel 3:** Reaktion von Salzsäure ( $HCl$ ) mit Kaliumpermanganat ( $KMnO_4$ ) zur Darstellung von elementarem Chlor ( $Cl_2$ ).

Chlor kommt in der Natur – ebenso wie Brom – überwiegend in Salzlagerstätten sowie im Meerwasser vor (Riedel 2011, S. 424ff). Chlor wird zur Synthese von verschiedenen Produkten in der Chemie verwendet. Es ist Bestandteil des Polyvinylchlorids (PVC) und wird unter anderem in Reinigungsmitteln, Medikamenten und Farbstoffen verwendet (Asselborn/Jäckel/Risch 2001, S. 140). Der MAK liegt bei  $\sigma = 0,5 \frac{mL}{m^3}$  (GESTIS: Chlor).

### 1.3 Brom



Brom ( $Br_2$ ) ist unter Normalbedingungen eine rotbraune Flüssigkeit, welche schwere Dämpfe mit einem Dampfdruck von  $p = 220 \text{ hPa}$  entwickelt. Brom hat einen unangenehm riechenden Geruch (griech. *bromos*, übelriechend). (Riedel 2011, S. 424ff; GESTIS: Brom; Eisner et al. 2004, S. 124f). Brom wird industriell durch Reaktion von elementarem Chlor mit  $Br^-$ -haltigen Lösungen dargestellt (Riedel 2011, S. 430). Im Labor kann Brom durch Oxidation von Kaliumbromid mit konzentrierter Schwefelsäure sowie Braunstein dargestellt werden:



**Formel 4:** Reaktion von Kaliumbromid ( $KBr$ ) mit Schwefelsäure ( $H_2SO_4$ ) und Braunstein ( $MnO_2$ ) zur Darstellung von elementarem Brom ( $Br_2$ )

(Chem-Page.de: Brom). Brom findet unter anderem Verwendung als Oxidations-, Desinfektions- und Bleichmittel. Silberbromid wird in der analogen Fotografie verwendet (Holleman/Wiberg/Wiberg 2017, S. 486). Der MAK liegt bei  $\beta = 0,7 \frac{mg}{m^3}$  (GESTIS: Brom).

### 1.4 Iod

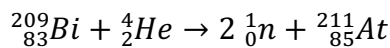


Iod ( $I_2$ ) bildet bei Raumtemperatur grauschwarze, metallisch erscheinende Kristalle, welche Halbleitereigenschaften aufweisen. Gasförmiges Iod ist violett (griech. *ioeides*, veilchenfarbig). Iod reichert sich im Meer in Meeresalgen an. Hauptsächlich kommt Iod als Unreinheit im Chilesalpeter  $Na_2NO_3$  als Lautarit  $Ca(IO_3)_2$  vor (Riedel 2011, S. 425ff; Eisner et al. 2004, S. 125; Holleman/Wiberg/Wiberg 2017, S. 486f). Iod wird durch Aufbereitung des Chilesalpeters gewonnen. Im Labor kann Iod durch Einwirkung von Schwefelsäure und Braunstein auf Kaliumiodid dargestellt werden. Iod wird, wie andere Halogene ebenfalls zur Desinfektion verwendet (Holleman/Wiberg/Wiberg 2017, S. 487ff). Da es Bestandteil des Schilddrüsen-

hormons Thyroxin<sup>3</sup> ist, ist es essentiell für den Menschen (DocCheck: Thyroxin). Es wird ebenfalls in der Pharmazie verwendet und ist Bestandteil von Futtermitteln und Farbstoffen (Riedel 2011, S. 430). Der MAK liegt bei  $\beta = 1,1 \frac{mg}{m^3}$  (Eisner et al. 2004, S. 125).

## 1.5 Astat

Das stabilste Astat-Isotop ist das  $^{210}_{85}At$  mit einer Halbwertszeit von  $T = 8,3 h$ . Es kommt in der Natur sehr selten vor; es ist davon auszugehen, dass die Erdkruste weniger als  $45 mg$  Astat enthält. Es wird in der Nuklearmedizin verwendet (Seilnacht: Astat). Künstlich kann das  $^{211}_{85}At$  mit einer Halbwertszeit von  $T = 7,22 h$  durch  $\alpha$ -Bestrahlung eines  $^{209}_{83}Bi$  hergestellt werden:

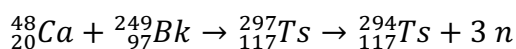
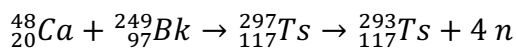


**Formel 5:** Darstellung von  $^{211}_{85}At$  durch  $\alpha$ -Bestrahlung von  $^{209}_{83}Bi$

Hierbei wird eine kinetische Energie des  $\alpha$ -Teilchens von  $E \in (26, 29) MeV$  benötigt. (Holleman/Wiberg/Wiberg 2017, S. 489f)

## 1.6 Tenness

Im Jahr 2010 wurden durch Bestrahlung von  $^{249}_{97}Bk$  mit  $^{48}_{20}Ca$  fünf  $^{293}_{117}Ts$ -Atome sowie ein  $^{294}_{117}Ts$ -Atom nachgewiesen:



**Formel 6:** Darstellung von Tenness durch Bestrahlung von  $^{249}_{97}Bk$  mit  $^{48}_{20}Ca$ .

Das  $^{294}_{117}Ts$ -Atom hatte eine Lebensdauer von  $45 ms$ , die  $^{293}_{117}Ts$ -Atome eine durchschnittliche Lebensdauer von  $10 ms$ . (Ts Oganessian et al. 2010; WebElements: Tennessine)

## 1.7 Hydrohalogene

Halogenwasserstoffverbindungen ( $HX$ ) sind farblose, stechend riechende Gase. Wichtige Eigenschaften sind in Tabelle 2 zusammengefasst.

---

<sup>3</sup> Ein erhöhter bzw. verminderter Thyroxinspiegel des Blutes (Hyper-/Hypothyreose) kann Ursache für zum Teil gegensätzliche Symptome sein.



| Eigenschaft       | <i>HF</i>                         | <i>HCl</i>                        | <i>HBr</i>                        | <i>HI</i>                         |
|-------------------|-----------------------------------|-----------------------------------|-----------------------------------|-----------------------------------|
| Schmelztemperatur | −83 °C                            | −114 °C                           | −87 °C                            | −51 °C                            |
| Siedetemperatur   | +20 °C                            | −85 °C                            | −67 °C                            | −35 °C                            |
| Verdampfungswärme | 30 $\frac{\text{kJ}}{\text{mol}}$ | 13 $\frac{\text{kJ}}{\text{mol}}$ | 18 $\frac{\text{kJ}}{\text{mol}}$ | 20 $\frac{\text{kJ}}{\text{mol}}$ |

Tabelle 2: **Eigenschaften der Hydrohalogene.**  
(Riedel 2011, S. 434)

Die Abweichung von *HF* aus der Reihe ist aufgrund der stärkeren Wasserstoffbrückenbindungen, welche auf die Molekülgröße zurückzuführen sind, zu erklären. Wässrige Lösungen sind mit zunehmender Ordnungszahl des Halogens abnehmend starke Säuren. Der Trivialname für *HF<sub>aq</sub>* ist Flusssäure; für *HCl<sub>aq</sub>* ist der Trivialname Salzsäure (Riedel 2011, S. 434ff).

## 1.8 Sauerstoffsäuren des Chlors

Es existieren Chlorsauerstoffsäuren der Form *HClO<sub>n</sub>* für  $n \in \{1, 2, 3, 4\}$ . Die Oxidationszahl des Chlors nimmt hierbei Werte von  $+(2n - 1)$  an. Die Stabilität der Sauerstoffsäure steigt mit zunehmender Oxidationszahl aufgrund der daraus resultierenden mesomeren Stabilisierung (Riedel/Meyer 2019, S. 437ff). Die Nomenklatur kann Tabelle 3 entnommen werden.

|      | <i>HClO</i>        | <i>HClO<sub>2</sub></i> | <i>HClO<sub>3</sub></i> | <i>HClO<sub>4</sub></i> |
|------|--------------------|-------------------------|-------------------------|-------------------------|
| Name | Hypochlorige Säure | Chlorige Säure          | Chlorsäure              | Perchlorsäure           |

Tabelle 3: **Nomenklatur der Chlorsauerstoffsäuren.**  
(Riedel 2011, S. 438)

## 1.9 Interhalogenverbindungen

Verbindungen von unterschiedlichen Halogenen werden als Interhalogene bezeichnet. Es existieren für *X* (Halogen mit höherer Ordnungszahl) und *Y* (Halogen mit niedrigerer Ordnungszahl) die Formen *XY*, *XY<sub>3</sub>*, *XY<sub>5</sub>* und *XY<sub>7</sub>*, wobei nur Iod alle drei höheren Interhalogenverbindungen ausbildet. Chlor und Brom bilden entsprechend nur höhere Interhalogenverbindungen der Form *XY*, *XY<sub>3</sub>* und *XY<sub>5</sub>* aus (Holleman/Wiberg/Wiberg 2017, S. 505ff).

### 1.9.1 Zweiatomige Interhalogene

Durch Kombination zweier Halogene kann die Eigenschaft der entstehenden Interhalogenverbindung gemittelt werden. Jedoch neigen zweiatomige Interhalogene zu einer Disproportionierung. Dieses Verhalten wird mit größerem Abstand im

Periodensystem größer.<sup>4</sup> Technisch werden sie daher als Halogenierungsmittel eingesetzt. (Holleman/Wiberg/Wiberg 2017, S. 505ff)

### 1.10 Edelgasverbindungen

Alle Halogene können mit Edelgasen eine Bindung eingehen. Es konnten bisher folgende Verbindungen hergestellt werden:  $KrF_2$ ,  $XeF_2$ ,  $XeF_6$ ,  $RnF_2$ ,  $XeCl_2$ ,  $XeCl_4$ ,  $XeBr_2$ . In Kombination mit Wasserstoff existieren folgende Verbindungen:  $HArF$ ,  $HKrCl$ ,  $HXeCl$ ,  $HXeBr$ ,  $HXeI$ . Edelgashalogenide sind starke Oxidations- sowie Halogenierungsmittel. Sie zersetzen sich beim Erhitzen. Unter Normalbedingungen kann  $XeF_2$  unter Aktivierung von Fluor (homolytische Spaltung) dargestellt werden. (Riedel 2011, S. 416ff; Holleman/Wiberg/Wiberg 2017, S. 464ff)

---

<sup>4</sup> Bemerkenswert ist, dass die Interhalogenverbindung  $IF$  oberhalb einer Temperatur von  $T = -14\text{ °C}$  in seine Bestandteile disproportioniert. (Holleman/Wiberg/Wiberg 2017, S. 506)

## 2 Alltag, Lebenswelt

Halogene und halogenhaltige Verbindungen sind Bestandteil vieler alltäglicher Produkte.<sup>5</sup>

### 2.1 Meerwasser/Speisesalz

Chloridionen sind im Meerwasser zu 2 % enthalten, Bromidionen hingegen nur zu 0,01 % (Riedel 2011, S. 424). Speisesalz besteht aus Natriumchlorid ( $\text{NaCl}$ ). Iodate werden dem Speisesalz zugefügt, um eine ausreichende Versorgung der Bevölkerung in Bezug auf Iod sicherzustellen (Eisner et al. 2004, S. 129).

### 2.2 Zahnpasta

Für die Bildung von Fluorapatit, ein Bestandteil des Zahnschmelzes, werden Fluorverbindungen benötigt. Ein Mangel an Fluoriden begünstigt die Entstehung von Karies (Eisner et al. 2004, S. 129). Aus diesem Grund werden der Zahnpasta Fluorverbindungen bis zu einer Konzentration von 1 500 ppm hinzugefügt (Bundesärztekammer 2019: Fluoridierungsmaßnahmen zur Kariesprophylaxe Patienteninformation).

### 2.3 Halogenlampe

Der Glaskolben einer Halogenlampe wird zusätzlich mit einem Halogen ( $\text{Br}_2$  oder  $\text{I}_2$ ) befüllt, mit dem Ziel einen Stoffkreislauf zu erzeugen:

- Wolfram sublimiert aufgrund der Temperatur des Glühdrahtes.<sup>6</sup>
- In der Gasphase bindet das Wolfram an das Halogen ( $\text{X}_2$ ), wodurch das Wolfram sich nicht am Glaskolben anlagern kann:  $\text{W} + 3 \text{X}_2 \rightarrow \text{WX}_6$

---

<sup>5</sup> Zur Aufzählung werden an dieser Stelle neben eigenen Überlegungen drei verschiedene Schulbücher herangezogen (Eisner et al. 2004; Tausch/von Wachtendonk 2010; Asselborn/Jäckel/Risch 2001). Dennoch soll die Aufzählung nur eine Übersicht über die Alltagswelt bieten und stellt somit keinen Anspruch auf Vollständigkeit.

<sup>6</sup> Die Schmelztemperatur des Wolframs liegt unter Normalbedingungen bei 3 410 °C dies entspricht 3 683,15 K. Handelsübliche Halogenlampen haben jedoch Farbtemperaturen zwischen 2 700 K und 8 000 K (Anmerkung des Autors: Übliche Strahler bewegen sich erfahrungsgemäß zwischen 2 700 K und 4 500 K.), was in etwa der Temperatur des Strahlers entspricht. Wolfram würde unter Normalbedingungen bei diesen Temperaturen schmelzen. Um dem entgegen zuwirken, wird zur Verschiebung des Schmelzpunktes unter anderem der Glaskolben unter Druck mit Schutzgasen (z.B. Edelgase) befüllt (Holleman/Wiberg/Wiberg 2017, S. 462). Dadurch kann die Temperatur des Glühfadens auf 3 200 °C erhöht werden (Riedel 2011, S. 415).

- Am Glühdraht dissoziiert das Wolframhalogenid wieder in seine Bestandteile, es lagert sich entsprechend wieder am Glühdraht an:  $WX_6 \rightarrow W + 3 X_2$

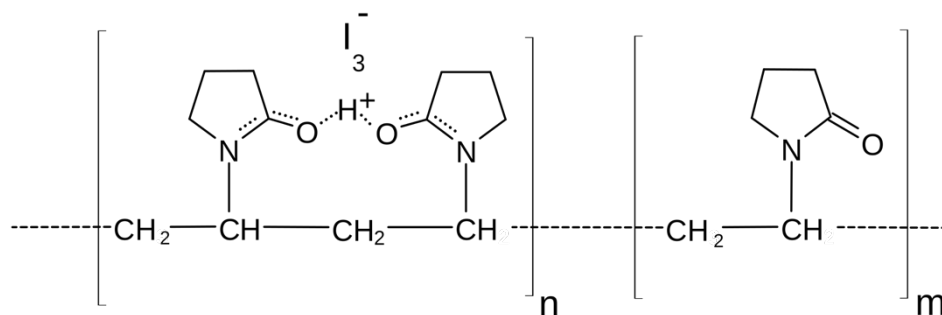
(Tausch/von Wachtendonk 2010, S. 114; Eisner et al. 2004, S. 132; Riedel 2011, S. 415). Dieser Prozess ist nach einiger Zeit als Körnung des Glühdrahtes aufgrund der Kristallbildung erkennbar.

## 2.4 Kunststoffherstellung (PVC)

Chlor ist Bestandteil des Thermoplasten Polyvinylchlorid (PVC) mit der allgemeinen Summenformel  $[C_2H_3Cl]_n$ . Bei der Verbrennung von PVC können unter anderem giftige Dioxine (vgl. Kap. 3.4) entstehen. PVC wird aufgrund seiner Langlebigkeit und Beständigkeit verwendet (Tausch/von Wachtendonk 2010, S. 113).

## 2.5 Desinfektion

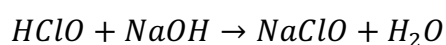
Desinfektion, also die Reduktion der Erregerlast unter die Infektionsgrenze (DocCheck: Desinfektion), ist ebenfalls durch Halogene bzw. halogenhaltige Verbindungen möglich, da diese unter anderem durch ihre Reaktivität Erreger angreifen und damit inaktivieren können. Eine bekannte Verbindung zur medizinischen Anwendung ist das *Povidon-Iod* (Handelsname: Betaisodona), ein Iodidkomplex (DocCheck: Povidon-Iod) (vgl. Kap. 4.2.1).



**Abbildung 1:** Chemische Struktur von Povidon-Iod. Es ist deutlich erkennbar, dass ein  $I_3^-$ -Ion durch eine Komplexverbindung eingelagert

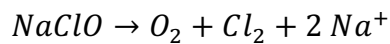
### 2.5.1 Natriumhypochlorit

Ein weiteres Desinfektionsmittel ist das in vielen Reinigern verwendete Natriumhypochlorit ( $NaClO$ ), das Natriumsalz der hypochlorigen Säure:

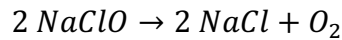


**Formel 7:** Darstellung von Natriumhypochlorit ( $NaClO$ ) aus der Hypochlorigen Säure ( $HClO$ ) und Natriumhydroxid ( $NaOH$ )

Diese zerfällt bei thermischer Einwirkung unter Anderem zu Sauerstoff und Chlor:



**Formel 8:** Vollständige Dissoziation von  $NaClO$  in seine Bestandteile



**Formel 9:** Zerfall von  $NaClO$  in Natriumchlorid ( $NaCl$ ) und Sauerstoff ( $O_2$ )

Sauerstoff und Chlor oxidieren wiederum Stoffe (GESTIS: Natriumhypochlorit wässrige Lösung mit aktivem Chlor). Die folgende Oxidation ist als Desinfektionsprozess zu verstehen, da durch die Oxidation Eigenschaften verloren gehen bzw. Proteine denaturieren.

### 2.5.2 Wasseraufbereitung

Zur Desinfektion von Schwimmbadwasser stehen neben physikalischen Maßnahmen (Bestrahlung mit UV-C Licht, Erhitzung) halogenhaltige Verbindungen wie Natriumhypochlorit ( $NaClO$ ), Chlordioxid ( $Cl_2O$ ) oder Monochloramin ( $NH_2Cl$ ) zur Verfügung (Eisner et al. 2004, S. 124; Holleman/Wiberg/Wiberg 2017, S. 551). Stickstofftrichlorid ( $NCl_3$ ), ein Reaktionsprodukt von Chlor mit (organischen) Stickstoffverbindungen, steht jedoch im Verdacht, Asthma bei Babys zu verursachen (Umweltbundesamt 2010: Babyschwimmen und Desinfektionsnebenprodukte in Schwimmbädern). Eine Alternative ist die Wasseraufbereitung mit Ozon. Dem Trinkwasser können bei notwendigen Desinfektionsmaßnahmen ebenfalls Chlor zugefügt werden; hier beträgt die maximale Konzentration  $w = 1,2 \frac{mg}{L}$  (Umweltbundesamt 2012: Bekanntmachung der Liste der Aufbereitungsstoffe und Desinfektionsverfahren).

## 2.6 Bleichmittel

Halogene und halogenhaltige Verbindungen wie  $NCl_3$  oder  $CaF_2$ , ebenso wie  $NaClO$  (vgl. Kap. 2.5.1) werden zum Bleichen verwendet (Holleman/Wiberg/Wiberg 2017, S. 551). Aufgrund der Reaktivität sind Halogene in der Lage, durch eine Additionsreaktion das  $\pi$ -konjugierte Bindungssystem der Farbstoffe aufzubrechen und somit das Chromophor zu zerstören (Wittke 1992, S. 38ff).

### 3 Natur/Umwelt

#### 3.1 Toxizität elementarer Halogene

Alle elementaren Halogene sind toxisch und umweltgefährdend. Dies lässt sich ebenfalls durch die Reaktivität der Stoffgruppe erklären. Die Toxizität nimmt von Fluor zu Iod ab. Die Einstufungen der Halogene können Tabelle 4 entnommen werden.

| Gefahrenklasse      | Fluor  | Chlor                   | Brom                 | Iod                                                 |
|---------------------|--------|-------------------------|----------------------|-----------------------------------------------------|
| Akute Toxizität     | Kat. 1 | Kat. 2<br>(Einatmen)    | Kat. 2<br>(Einatmen) | Kat. 4<br>(Hautkontakt)<br>Kat. 4<br>(Einatmen)     |
| Zielorgan-Toxizität | -      | Kat. 3<br>(einm. Expos) | -                    | Kat. 3<br>(einm. Expos.)<br>Kat. 1<br>(wdh. Expos.) |
| Wassergefährdend    | -      | Akut Kat. 1             | Akut Kat. 1          | Akut Kat. 1                                         |

Tabelle 4: **Toxizität der Halogene**

Die Toxizität wird in vier Kategorien abgestuft, die Zielorgan-Toxizität (einmalige Exposition) in drei Kategorien, die wiederholte Exposition in zwei Kategorien. Bezüglich der Gewässerschädigung wird zwischen vier chronischen Kategorien und einer akuten Kategorie unterschieden. (GESTIS: Fluor, Chlor, Brom, Iod; Bundesanstalt für Arbeitsschutz und Arbeitsmedizin: Helpdesk - Einstufung - Übersicht der Gefahrenklassen und Gefahrenkategorien und ihre Kodierung)

#### 3.2 Versalzung der Böden

Eine hohe Salzkonzentration ist dem Pflanzenwachstum hinderlich. Selbst Bewässerungsmaßnahmen lassen Salze in den Böden akkumulieren. Steigt salzhaltiges Grundwasser in die Wurzelzone, so kann ein gefährlicher Kreislauf entstehen, in welchem das Wasser durch die Vegetation verdunstet, es folgt eine weitere Anreicherung (Brunner 2011).

#### 3.3 Fluorierte Kohlenwasserstoffe (FCKW)

Ausgangspunkt für fluorierte Kohlenwasserstoffe (FCKW) sind chlorierte Kohlenwasserstoffe. Diese werden durch Substitution der Chlorgruppe durch Fluor, meist unter Einsatz von  $HF$ , gebildet. Sie haben die Eigenschaft, farblos, ungiftig, nicht brennbar und chemisch inert zu sein. Durch die niedrigen Siedepunkte wurden FCKW als Kühlmittel verwendet. Ein bekannter Vertreter dieser Stoffgruppe ist das

Polytetrafluorethen (PTFE), vor allem bekannt unter dem Handelsnamen *Teflon* (Riedel 2011, S. 436f, 656ff). Fluorierte Kohlenwasserstoffe sind, ebenso wie teilfluorierte Kohlenwasserstoffe (HFKW), genauso wie Halone (vollhalogenierte, bromhaltige Kohlenwasserstoffe) beim Abbau der Ozonschicht beteiligt (Umweltbundesamt: Fluorierte Treibhausgase und FCKW; Riedel 2011, S. 658). Aufgrund der Eigenschaft, einzelne Halogenradikale vom Molekülrest abzuspalten, können Ozonmoleküle durch Halogenradikale katalytisch gespalten werden (Riedel 2011, S. 656ff).

### 3.4 Dioxine und polychlorierte Biphenole (PCB)

*Dioxine* und *Furane* sind planare Bibenzoverbindungen, welche über eine (Dioxine) bzw. über zwei  $C - O - C$ -Verbindungen (Furane) verbunden sind. Dioxine können als Nebenprodukt bei der Verbrennung von chlorhaltigen Verbindungen entstehen (vgl. Abschnitt 4.4.2); sie entstehen begünstigt bei Temperaturen von  $300 - 400\text{ }^{\circ}\text{C}$ . Oberhalb von Temperaturen von  $900\text{ }^{\circ}\text{C}$  zerfallen Dioxine. Sie können sich im Gewebe von Menschen und Tieren anreichern. Sie gelten als karzinogen, da sie in das zelluläre Wachstum und in die zelluläre Differenzierung eingreifen

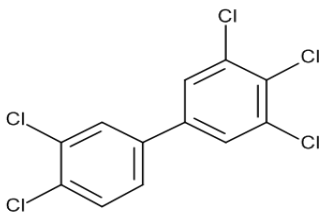


Abbildung 3: PCB 126

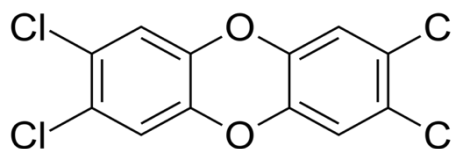


Abbildung 3: 2,3,7,8-Tetrachlordibenzo-p-dioxin

(Umweltbundesamt et al. 2014: Dioxine und dioxinähnliche PCB in Umwelt und Nahrungsketten). Man findet sieben verschiedene Dioxinderivate und zehn verschiedene Furanderivate (Umweltbundesamt 2017 in Dioxine). Es existieren zwölf *Polychlorierte Biphenole* (PCB), welche ähnliche Eigenschaften wie Dioxine aufweisen. PCB wurden zwischen 1930 und 1980 aufgrund ihrer Eigenschaften vielfach verwendet: Isolatoren in Kondensatoren, Kühlmittel, Weichmacher in Lacken und Dichtungen etc. Aufgrund neuerer Erkenntnisse gelten PCB jedoch ebenfalls als karzinogen (Umweltbundesamt 2017: Dioxine; Borja et al. 2005; Umweltbundesamt et al. 2014: Dioxine und dioxinähnliche PCB in Umwelt und Nahrungsketten). Aufgrund des späten Verbots finden sich PCB beispielsweise in Gebäuden (Badische neuste Nachrichten 2019: KIT: sieben Gebäude mit PCB belastet).

## 4 Experimente

Die hier dargestellten Experimente sind Beispiele für Experimente mit Halogenen/Halogeniden. Sie sind ausgesucht für den Chemieunterricht der Sekundarstufe 1. Die Erstellten Gefährdungsbeurteilungen des Anhangs sind vorbehaltlich eventueller Änderungen der Stoffklassifikationen und neueren Vorschriften der zuständigen Berufsgenossenschaft sowie etwaigen Irrtümern. Sicherheitsdatenblätter sowie Stoffinformationen sind über die GESTIS-Stoffdatenbank erhältlich; es wird in dieser Arbeit explizit darauf verwiesen. Sie sind im Falle einer Durchführung im Unterricht zusätzlich zu den vorgefertigten Gefährdungsbeurteilungen bereit zu stellen. Eine Reevaluation des Experiments ist dementsprechend vor Durchführung zwingend notwendig.

### 4.1 Gefährdung durch elementare Halogene<sup>7</sup>

Ausgangspunkt der folgenden Gefährungsbeschreibung ist die Stoffliste der DGUV, Anhang der DGUV Regel 113-018 (Deutsche Gesetzliche Unfallversicherung 2018: Stoffliste zur DGUV Regel 113-018 „Unterricht in Schulen mit gefährlichen Stoffen“) mit dem Stand vom 13.05.2020. Vgl. zudem Kap. 3.1.

**Elementares Fluor, Chlor sowie Brom** weisen die Tätigkeitsverbote

- S (Tätigkeitsbeschränkung für Schüler)
- w (Tätigkeitsverbot für gebärfähige Frauen, werdende und stillende Mütter) und
- ESP (Besondere Ersatzstoffprüfung erforderlich) auf.

Aufgrund der generellen Substituierbarkeit von Fluor durch Halogene größerer Ordnungszahl kommen Experimente mit elementarem Fluor in der Schule i.d.R. nicht in Betracht.

**Chlorwasser** mit einer Konzentration von  $c = 0,02 \frac{\text{mol}}{\text{L}}$  weist keine Tätigkeitsverbote auf.

---

<sup>7</sup> Stand 13.05.2020.



Eine **10%ige Bromlösung** (Lösungsmittel: Hexan) weist die Tätigkeitsverbote

- S4 (Tätigkeitsbeschränkung für Schüler bis einschließlich Jahrgangsstufe 4)
- w (Tätigkeitsverbot für gebärfähige Frauen, werdende und stillende Mütter) und
- ESP (Besondere Ersatzstoffprüfung erforderlich) auf.

**Gesättigtes Bromwasser** muss durch eine (männliche) Lehrkraft (Tätigkeitsbeschränkung w des Broms) hergestellt werden, darf jedoch aufgrund der einzigen Tätigkeitsbeschränkung

- S4 (Tätigkeitsbeschränkung für Schüler bis einschließlich Jahrgangsstufe 4)
- im Schülerexperiment eingesetzt werden.

**Elementares Iod** sowie Iodlösungen mit einer Konzentration von  $c > 0,01 \frac{\text{mol}}{\text{L}}$  weisen die Tätigkeitsbeschränkung

- S4 (Tätigkeitsbeschränkung für Schüler bis einschließlich Jahrgangsstufe 4) auf.

**Iodlösungen** mit einer Konzentration von  $c \leq 0,01 \frac{\text{mol}}{\text{L}}$  weisen keine Tätigkeitsbeschränkung auf.

## 4.2 Experimente mit elementaren Halogenen

### 4.2.1 Löslichkeit von Iod in unterschiedlichen Medien

Die Gefährdungsbeurteilung (GBU) für diesen Versuch ist im *Anhang 1* zu finden.

#### 4.2.1.1 Fachlicher Hintergrund

Iod löst sich aufgrund seiner Unpolarität schlecht in Wasser ( $c_{\text{max}} = 0,0013 \frac{\text{mol}}{\text{L}}$ ) mit schwacher brauner Farbe. In unpolaren Lösungsmitteln steigt hingegen die Löslichkeit (Holleman/Wiberg/Wiberg 2017, S. 488). In einer KI-Lösung bilden sich  $I_3^-$ -Ionen aus, ein Polyhalogenidion, welches durch Anlagerung eines  $I_2$ -Moleküls an ein  $I^-$ -Ion entsteht. Dadurch ist Iod leicht löslich in einer KI-Lösung mit einer dunkelbraunen Farbe.

#### 4.2.1.2 Durchführung

Einige Kristalle elementaren Iods werden mit Wasser, einer KI-Lösung und n-Heptan zur Lösung gebracht.

#### 4.2.1.3 Entsorgung

Die wässrige und ethanolische Lösung wird mit Natriumthiosulfat ( $\text{Na}_2\text{S}_2\text{O}_3$ ) reduziert, neutralisiert (kein Ammoniak verwenden) und in den Abguss gegeben. Die verbleibende Lösung (n-Heptan) wird ebenfalls mit Natriumthiosulfat reduziert und in den flüssigen halogenhaltigen organischen Abfällen entsorgt.

(Riedel/Meyer 2019, S. 433)

#### 4.2.2 Elektrolyse

Die Gefährdungsbeurteilung (GBU) für diesen Versuch ist im *Anhang 2* zu finden.

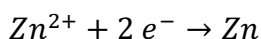
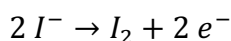
##### 4.2.2.1 Fachlicher Hintergrund

Die Elektrolyse von Zinkiodid ( $\text{ZnI}_2$ ) hat den Vorteil, dass diese durch die Schüler durchgeführt werden kann und die Produkte der Elektrolyse direkt erkannt werden können. Wird eine zentrale Spannungsversorgung eingerichtet, kann die Betriebsspannung durch die Lehrkraft festgelegt werden und somit Überspannungen vermieden werden. Alternativ können beispielsweise drei AA/AAA-Batterien verwendet werden (Betriebsspannung  $U = 4,5 \text{ V}$ ). An der Kathode ( $\ominus$ -Pol) scheidet sich Zink ab; an der Anode ( $\oplus$ -Pol) entsteht elementares Iod, welches mit dem in der Lösung befindlichem Iodid zu dunkelbraunem  $\text{I}_3^-$  reagiert (vgl. Kap. 4.2.1).

##### 4.2.2.2 Durchführung

Eine  $\text{ZnI}_2$ -Lösung mit  $c \leq 0,2 \frac{\text{mol}}{\text{L}}$  wird mit Graphitstäben bei einer Betriebsspannung von  $V \leq 5 \text{ V}$  elektrolysiert. Zur besseren Sichtbarkeit des entstehenden Iods kann Stärke der Lösung zugegeben werden (vgl. Experiment 4.4.1).

##### 4.2.2.3 Reaktionsgleichungen



**Formel 10:** Anodenreaktion und Kathodenreaktion bei der Elektrolyse von Zinkiodid ( $\text{ZnI}_2$ )

##### 4.2.2.4 Entsorgung

Zur Entsorgung werden die Lösungen alkalisiert (z.B. mit Natriumhydroxid ( $\text{NaOH}$ ); kein Ammoniak verwenden) und in den Schwermetallbehälter gegeben.

(Tausch/von Wachtendonk 2010, S. 132)

### **Achtung**

Bei einer Elektrolyse von  $\text{NaCl}$  entsteht elementares Chlor.

Führen Sie unter keinen Umständen eine Elektrolyse von  $\text{NaCl}$  ohne Abzug durch. Für Leitfähigkeitsbestimmungen von  $\text{NaCl}$ -Lösungen empfiehlt sich die Verwendung eines digitalen Multimeters (Impedanzmessung/Widerstandsmessung).

### **4.2.3 Sublimation von Iod**

Die Gefährdungsbeurteilung (GBU) für diesen Versuch ist im *Anhang 3* zu finden.

#### **4.2.3.1 Fachlicher Hintergrund**

Elementares Iod weist eine hohe Flüchtigkeit (Sublimationsneigung) auf. Eine langsame Erwärmung von Iod begünstigt diese (Holleman/Wiberg/Wiberg 2017, S. 488). Dieser Effekt kann im Schulversuch verdeutlicht werden.

#### **4.2.3.2 Durchführung**

Einige Iodkristalle werden in einem Erlenmeyerkolben zur Sublimation gebracht. Es resublimiert überwiegend auf einem darüber liegenden, durch einen Eiswürfel gekühlten Uhrglas.

#### **4.2.3.3 Entsorgung**

Der Erlenmeyerkolben sowie das Uhrglas wird mit einer Natriumthiosulfat-Lösung ( $\text{Na}_2\text{S}_2\text{O}_3$ ) gereinigt, nachdem der  $\text{pH}$ -Wert der Lösung neutralisiert wurde (kein Ammoniak verwenden) kann die Lösung in den Abguss gegeben werden.

(Schmidt: Sublimation von Iod; Uni Göttingen: V1-Sublimation und Resublimation von Iod)

### **4.2.4 Darstellung von Chlor(wasser)**

Die Gefährdungsbeurteilung (GBU) für diesen Versuch ist im *Anhang 4* zu finden.

#### **4.2.4.1 Fachlicher Hintergrund**

Es existieren drei Wege zur Darstellung von Chlor:

- (1)** die hier beschriebene Reaktion von Braunstein ( $\text{MnO}_2$ ) mit konzentrierter Salzsäure ( $\text{HCl}$ );

- (2) die kontrollierte Reaktion von Natriumhypochlorit ( $NaClO$ ) mit Ethansäure/Essigsäure ( $CH_3COOH$ ) und
- (3) die Elektrolyse einer chloridhaltigen Salzlösung. Entstehendes Chlor kann wahlweise mithilfe einer pneumatischen Wanne in einem Standzylinder aufgefangen werden oder in Wasser eingeleitet werden.

#### 4.2.4.2 Durchführung

Ein wenig Braunstein ( $MnO_2$ ) wird mit Salzsäure im Abzug erhitzt. Das entstehende Gas wird wahlweise über eine pneumatische Wanne aufgefangen oder alternativ in Wasser eingeleitet. Vor Beendigung der Wärmezufuhr wird das System belüftet. Wenn durch Stöchiometrie garantiert werden kann, dass das entstehende Chlorwasser eine Konzentration  $c \leq 0,02 \frac{mol}{L}$  aufweist, kann dieses im Schülerversuch verwendet werden (vgl. Kap. 4.1).

#### 4.2.4.3 Reaktionsgleichung



**Formel 11:** Reaktion von Braunstein ( $MnO_2$ ) mit Salzsäure ( $HCl_{aq}$ ) zur Darstellung von Chlor ( $Cl_2$ ).

#### 4.2.4.4 Entsorgung

Entstandenes Chlorwasser wird mit großzügiger Verdünnung in den Ausguss gegeben. Gasförmiges Chlor wird in einer Waschflasche mit Natriumhydrogensulfit ( $NaHSO_3$ ), alternativ mit einer Natriumthiosulfat-Lösung ( $Na_2S_2O_3$ ), gewaschen, welches anschließend nach Neutralisation ebenfalls in den Ausguss gegeben werden kann. (Arbeitskreis Arbeitssicherheit und Umweltschutz der Fachhochschulen NRW; Beck 2019)

#### 4.2.5 Rosenbleiche

Die Gefährdungsbeurteilung (GBU) für diesen Versuch ist im *Anhang 5* zu finden.

Die Bleichwirkung von Chlor (vgl. Kap. 2.6) kann auch in einem Schulexperiment anhand des Bleichens einer Blüte (z.B. Rose) gezeigt werden.

##### 4.2.5.1 Durchführung

Zu dem im Experiment 4.2.4 dargestelltem Chlorgas wird im Abzug eine Rose oder eine andere farbige Blüte gelegt. Der Standzylinder wird mittels eines Glasdeckels verschlossen.

##### 4.2.5.2 Entsorgung

Überschüssiges Chlor wird in einer Waschflasche mit Natriumhydrogensulfit ( $\text{NaHSO}_3$ ), alternativ mit einer Natriumthiosulfat-Lösung ( $\text{Na}_2\text{S}_2\text{O}_3$ ), ausgewaschen, welches anschließend nach Neutralisation ebenfalls in den Ausguss gegeben werden kann. Die Rose/Blüte wird, nachdem sie im Abzug ausgelüftet wurde, in den Restmüll gegeben.

(Eisner et al. 2004, S. 124)

#### 4.2.6 Chlorwasser auf Tinte

Die Gefährdungsbeurteilung (GBU) für diesen Versuch ist im *Anhang 6* zu finden.

##### 4.2.6.1 Fachlicher Hintergrund

Die Bleichwirkung von Chlor (Kap. 2.6) kann ebenfalls in einem Schülerexperiment verdeutlicht werden. Hierbei wird durch die Lehrkraft Chlorwasser mit einer Konzentration von  $c \leq 0,02 \frac{\text{mol}}{\text{L}}$  dargestellt (Experiment 4.2.4) und den Schülern bereitgestellt.

##### 4.2.6.2 Durchführung

Ein Filterpapier wird mit dem Füller beschrieben. Anschließend wird mithilfe einer Pipette etwas Chlorwasser auf die getrocknete Tinte gegeben und die Farbveränderung beobachtet.

#### 4.2.6.3 Entsorgung

Das Filterpapier kann nach Trocknung (z.B. im Abzug) über den Restmüll entsorgt werden. Das Chlorwasser kann nach Verdünnung in den Abguss gegossen werden.

(Tausch/von Wachtendonk 2010, S. 112)

### 4.3 Experimente mit Salzen

#### 4.3.1 Ionenwanderung

Die Gefährdungsbeurteilung (GBU) für diesen Versuch ist im *Anhang 7* zu finden.

##### 4.3.1.1 Fachlicher Hintergrund

Obleich Halogenide farblos sind, kann die Ionenwanderung experimentell sichtbar gemacht werden. Geladene Ionen der Ladung  $q$  erfahren aufgrund der Feldwirkung des elektrischen Feldes  $E$  eine Kraft  $F$  mit:  $F = q \cdot E$  (Kuchling 2014, S. 432f). Dieser Kraft steht die Viskosität des Laufmediums sowie Reibungseffekte entgegen. Sofern die Ionen farbig sind, kann deren Bewegung entlang des elektrischen Feldes sichtbar gemacht werden.

##### 4.3.1.2 Durchführung

Ein Filterpapier wird rechteckig zugeschnitten und in eine Kaliumnitrat-Lösung ( $KNO_3$ ) getränkt. Kaliumnitrat, welches als Laufmittel verwendet wird, hat den Vorteil, dass an den Elektroden nur Sauerstoff und Wasserstoff entsteht. Zwei Kupferbleche werden parallel gegenüber um das Papier gefaltet, ohne dass sich diese berühren. Die zu untersuchende Salzlösung (hier: Eisen(III)-chlorid) wird zwischen die Elektroden platziert und eine Gleichspannung angelegt. Das Experiment wird vor Erreichen der Ionen an den Elektroden abgebrochen.

##### 4.3.1.3 Entsorgung

Das Filterpapier wird getrocknet und mit dem Feststoffabfall entsorgt.

(Wiechoczek 2006: Versuch: Ionenwanderung auf einer Glasplatte; Uni-Bayreuth 2019: Experimente für den Chemieunterricht: Ionenwanderung, vereinfacht)

### 4.3.2 Kältemischung

Dadurch, dass keine Gefahrstoffe eingesetzt werden, entfällt die Erstellung einer Gefährdungsbeurteilung. Beachten Sie jedoch, dass bei dem Experiment Temperaturen von  $-21\text{ }^{\circ}\text{C}$  erreicht werden.

#### 4.3.2.1 Fachlicher Hintergrund

Zum Aufbrechen einer Gitterstruktur wird Energie benötigt ( $H_G < 0$ ), dieser steht wiederum die freiwerdende Hydratisierungsenergie mit entsprechend umgedrehten Vorzeichen ( $H_H > 0$ ) entgegen. Wenn die Summe beider Energien  $DH_s := H_G + H_H > 0$  ist, wird Energie für den Lösungsprozess benötigt; das System kühlt sich dementsprechend ab. Wenn  $DH_s < 0$  ist, so wird Energie beim Lösungsprozess frei; das System erwärmt sich. Im Falle von Natriumchlorid beträgt  $DH_s = +3,89 \frac{\text{kJ}}{\text{mol}}$  (Uni-Ulm: Die Solvation / Hydratation).

#### 4.3.2.2 Durchführung

Wird Natriumchlorid mit Eis im Verhältnis 1:3 vermengt, können Temperaturen bis zu  $-21\text{ }^{\circ}\text{C}$  erreicht werden. Dieser Effekt ist auch bei Lösung von Natriumchlorid in flüssigem Wasser beobachtbar. Hierbei ist die Temperaturabnahme jedoch deutlich geringer als bei einer Eismischung. Dies lässt sich durch die unterschiedlichen spezifischen Wärmekapazitäten von Eis  $c = 2,1 \frac{\text{kJ}}{\text{kg}\cdot\text{K}}$  beziehungsweise Wasser  $c = 4,128 \frac{\text{kJ}}{\text{kg}\cdot\text{K}}$  erklären. (Demtröder 2018, S. 278)

#### 4.3.2.3 Entsorgung

Die Entsorgung ist problemlos. Die Mischung kann beispielsweise über den Abguss entsorgt werden.

(Chemie-Schule: Kältemischung)

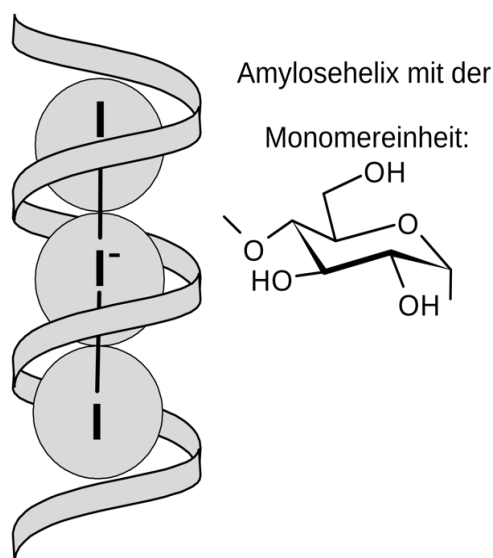
## 4.4 Nachweisreaktionen

### 4.4.1 Iod-/Stärkenachweis

Die Gefährdungsbeurteilung (GBU) für diesen Versuch ist im *Anhang 8* zu finden.

#### 4.4.1.1 Fachlicher Hintergrund

Die Iodstärkereaktion ist eine Einschlussverbindung von Iod (genauer  $I_3^-$ ) in Stärke. Der entstehende Iod-Stärke-Komplex ist tiefblau. Ist einer der Stoffe bekannt, so kann mithilfe dieser Einschlussreaktion der andere Stoff eindeutig nachgewiesen werden. Zur besseren Löslichkeit des Iods empfiehlt es sich, eine Kaliumiodid-Lösung (vgl. Experiment 4.2.1) vorzuhalten.



**Abbildung 4:** Schematisch: Einlagerung von  $I_3^-$  in die Helix der Stärke. Der Komplex hat eine tiefblaue Farbe. Bild: (Wikimedia Commons)

#### 4.4.1.2 Durchführung

In einer KI-Stärkelösung werden Iodkristalle zur Lösung gebracht. Der Versuch kann ebenfalls mit einer aufgeschnittenen Kartoffel (durch die darin enthaltene Stärke) durchgeführt werden. Jedoch sollte diese vorher mit einer KI-Lösung beträufelt werden.

#### 4.4.1.3 Entsorgung

Flüssige Abfälle werden in den Behälter für die halogenhaltigen Abfällen entsorgt; die Kartoffel kann über den Restmüll entsorgt werden.

(Riedel 2011, S. 428; Holleman/Wiberg/Wiberg 2017, S. 489)



#### 4.4.2 Beilsteinprobe

Die Gefährdungsbeurteilung (GBU) für diesen Versuch ist im *Anhang 9* zu finden.

##### 4.4.2.1 Fachlicher Hintergrund

Halogene sind in der Lage, sich mit Kupfer bei Erwärmung zu Kupferhalogeniden zum Beispiel  $CuX_2$  ( $X$ : Halogen) zu verbinden. Kupferhalogenide sind bei Erwärmung leicht flüchtig und das enthaltene Kupfer färbt die Flamme grün. Dadurch können Halogene und Halogenide in Verbindungen nachgewiesen werden.

##### 4.4.2.2 Durchführung

Ein Kupferdrahtnetz wird im Abzug bis keine Flammfärbung mehr beobachtbar ist ausgeglüht. Anschließend wird die zu untersuchende Probe auf das Netz gelegt/das Netz in die zu untersuchende Probe getaucht. Anschließend wird das Netz erneut im Abzug in die Brennerflamme gehalten.

##### 4.4.2.3 Entsorgung

Das Kupferdrahtnetz wird erneut ausgeglüht. Es ist so zu arbeiten, dass keine Abfälle entstehen können (Probe vollständig verbrennen).

(Asselborn/Jäckel/Risch 2001, S. 143)

#### 4.4.3 Halogenidnachweis mit Silbernitrat

Die Gefährdungsbeurteilung (GBU) für diesen Versuch ist im *Anhang 10* zu finden

##### 4.4.3.1 Fachlicher Hintergrund

Halogenide fallen mit Silberionen in wässriger Lösung zu einem Silberhalogenid aus.

##### 4.4.3.2 Durchführung

Die zu untersuchende Salzlösung wird mit verdünnter Salpetersäure ( $KNO_3$ ) angesäuert und mit einer stark verdünnten Silbernitratlösung ( $AgNO_3$ ) versetzt. Es entsteht ein Niederschlag. Um jedoch nachvollziehen zu können, welches Halogenid nachgewiesen worden ist, bedarf es einer Untersuchung des Löslichkeitsverhaltens in Ammoniak. Der entstehende Niederschlag wird nach Dekantieren des Lösungsmittels in zwei Reagenzgläser aufgeteilt und mit Ammoniak (verdünnt/konzentriert) analysiert:

- Silberchlorid löst sich sowohl in verdünnten als auch in konzentrierten Ammoniak.
- Silberbromid löst sich in konzentrierten Ammoniak, aber nicht in verdünnten Ammoniak.
- Silberiodid löst sich weder in verdünntem noch in konzentriertem Ammoniak.

#### 4.4.3.3 Entsorgung

Die Lösungen werden mit den silbersalzhaltigen Abfällen entsorgt.

(Beck 2019, S. 4ff)

#### 4.4.4 Kriechprobe

Die Gefährdungsbeurteilung (GBU) für diesen Versuch ist im *Anhang 11* zu finden.

##### 4.4.4.1 Fachlicher Hintergrund

Die Reaktion zwischen Schwefelsäure ( $H_2SO_4$ ) mit Fluoriden ( $F^-$ ) zu Flusssäure ( $HF_{aq}$ ) und der anschließenden Reaktion von Flusssäure mit Glas ( $SiO_2$ ) kann zum Nachweis von Fluoriden verwendet werden: Das verwendete (neue) Reagenzglas wird durch die Bildung von Flusssäure und den Ätzzvorgang zu Tetrafluorsilan ( $SiF_4$ ) angegriffen; es gehen Oberflächeneigenschaften des Glases verloren, sodass (wässrige) Flüssigkeiten nicht mehr daran haften können.

##### 4.4.4.2 Durchführung

In einem unbenutzten Reagenzglas wird konzentrierte Schwefelsäure erhitzt und geschwenkt. Auf die Oberflächeneigenschaften des Glases ist hierbei zu achten. Die fluoridhaltige Probe wird nun dem Reagenzglas hinzugegeben. Unter Schwenken ist nun ein Perlen der Schwefelsäure beobachtbar.

##### 4.4.4.3 Entsorgung

Nach Neutralisation kann die Entsorgung über den Ausguss erfolgen.

(Beck 2019, S. 7; ChemaPedia: Nachweis von Fluorid)

# Literaturverzeichnis

ABBILDUNGEN OHNE QUELLENANGABE SIND ENTWEDER SELBST ERSTELLT ODER UNTERLIEGEN EINER GEMEINFREIEN LIZENZ.

Arbeitskreis Arbeitssicherheit und Umweltschutz der Fachhochschulen NRW: Betriebsanweisung nach § 14 GefStoffV Halogene (Chlor). [https://sifa.iuk-nrw.de/betriebsanweisungen/gruppenbetriebsanweisungen/Halogene\\_Chlor.pdf](https://sifa.iuk-nrw.de/betriebsanweisungen/gruppenbetriebsanweisungen/Halogene_Chlor.pdf) (Abruf 18.5.2020).

Asselborn, W./Jäckel, M./Risch, D. K. T. (2001): Chemie heute SI Gesamtband. 1. Auflage. Braunschweig: Westermann Schroedel.

Atomwaffen A-Z: Uranhexafluorid. <https://www.atomwaffena-z.info/glossar/u/u-texte/artikel/5c581327af/uranhexafluorid.html> (Abruf 31.5.2020).

Badische neuste Nachrichten (2019): KIT: sieben Gebäude mit PCB belastet. <https://bnn.de/lokales/karlsruhe/kit-sieben-weitere-gebaeude-mit-pcb-belastet> (Abruf 13.5.2020).

Beck, U. (2019): Einführung in die qualitative und quantitative Analyse. S. 1–32.

Borja, J./Taleon, D. M./Auresenia, J./Gallardo, S. (2005): Polychlorinated biphenyls and their biodegradation. In: Process Biochemistry 40, S. 1999–2013.

Brunner, P. (2011): Folgen einer intensiven Bewässerungslandwirtschaft am Beispiel des Yanqi-Beckens, China. In: Warnsignal Klima: Genug Wasser für alle?, S. 425–429.

Bundesanstalt für Arbeitsschutz und Arbeitsmedizin: Helpdesk - Einstufung - Übersicht der Gefahrenklassen und Gefahrenkategorien und ihre Kodierung. <https://www.reach-clp-biozid-helpdesk.de/DE/CLP/Einstufung/Gefahrenklassen-Gefahrenkategorien.html> (Abruf 12.5.2020).

Bundesärztekammer (2019): Fluoridierungsmaßnahmen zur Kariesprophylaxe Patienteninformation. [www.bzaek.de](http://www.bzaek.de) (Abruf 10.5.2020).

Chem-Page.de: Brom. <https://www.chem-page.de/synthesen/brom.html> (Abruf 24.5.2020).

- ChemaPedia: Nachweis von Fluorid. [http://www.chemgapedia.de/vsen-gine/vlu/vsc/de/ch/6/ac/versuche/anionen/\\_vlu/fluorid.vlu/Page/vsc/de/ch/6/ac/versuche/anionen/fluorid/nachweis.vscml.html](http://www.chemgapedia.de/vsen-gine/vlu/vsc/de/ch/6/ac/versuche/anionen/_vlu/fluorid.vlu/Page/vsc/de/ch/6/ac/versuche/anionen/fluorid/nachweis.vscml.html) (Abruf 22.5.2020).
- Chemie-Schule: Kältemischung. <https://www.chemie-schule.de/KnowHow/Kältemischung> (Abruf 18.5.2020).
- Demtröder, W. (2018): Experimentalphysik 1 - Mechanik und Wärme. 8. Auflage. Berlin: Springer-Verlag.
- Deutsche Gesetzliche Unfallversicherung (2018): Stoffliste zur DGUV Regel 113-018 „Unterricht in Schulen mit gefährlichen Stoffen“. <https://publikationen.dguv.de/widgets/pdf/download/article/3060> (Abruf 13.5.2020).
- DocCheck: Thyroxin - DocCheck Flexikon. <https://flexikon.doc-check.com/de/Thyroxin> (Abruf 10.5.2020a).
- DocCheck: Desinfektion - DocCheck Flexikon. <https://flexikon.doc-check.com/de/Desinfektion> (Abruf 11.5.2020b).
- DocCheck: Povidon-Iod - DocCheck Flexikon. <https://flexikon.doc-check.com/de/Povidon-Iod> (Abruf 11.5.2020c).
- Eisner, W./Gietz, P./Justus, A./Laitenberger, K./Schierle, W. (2004): elemente chemie I - Baden Württemberg. 2. Auflage. Stuttgart: Ernst Klett Verlag.
- Gefahrstoffe-Schule-BW: Mustergefährdungsbeurteilung. [http://gefahrstoffeschule-bw.de/site/pbs-bw-new/get/documents/KULTUS.Dachmandant/KULTUS/Projekte/Gefahrstoffe-Schule-BW/GBU\\_Formular\\_lang.pdf](http://gefahrstoffeschule-bw.de/site/pbs-bw-new/get/documents/KULTUS.Dachmandant/KULTUS/Projekte/Gefahrstoffe-Schule-BW/GBU_Formular_lang.pdf).
- GESTIS, I. für A. der D. G. U.: GESTIS-Stoffdatenbank. <http://gestis.itrust.de/> (Abruf 10.5.2020).
- Holleman, P. D. A. F./Wiberg, P. D. N./Wiberg, P. D. E. (2017): Anorganische Chemie. 103. Auflage. Berlin, Boston: de Gruyter-Verlag.
- Kuchling, H. (2014): Taschenbuch der Physik. München: Carl Hanser Verlag.
- Riedel, E. (2011): Anorganische Chemie. Berlin: de Gruyter-Verlag.

- Riedel, E./Meyer, H. (2019): Allgemeine und Anorganische Chemie. 12. Auflage. Berlin, Boston: de Gruyter-Verlag.
- Schmedt auf der Gönne, J./Mangstl, M./Kraus, F./Kraus, F. (2012): Elementares Fluor in der Natur - In-situ-Nachweis und Quantifizierung durch NMR-Spektroskopie. In: Angewandte Chemie 124, S. 7968–7971.
- Schmidt, M.: Sublimation von Iod. [https://www.cumschmidt.de/v\\_iodsublimation.htm](https://www.cumschmidt.de/v_iodsublimation.htm) (Abruf 17.5.2020).
- Seilnacht, T.: Flusssäure. [https://www.seilnacht.com/Chemie/ch\\_hf.htm](https://www.seilnacht.com/Chemie/ch_hf.htm) (Abruf 2.5.2020a).
- Seilnacht: Periodensystem: Astat. <https://www.seilnacht.com/Lexikon/85Astat.htm> (Abruf 31.5.2020b).
- Tausch, P. D. M./von Wachtendonk, D. M. (2010): Chemie 2000+ Sekundarstufe I. 2. Auflage. Bamberg: C.C. Buchners Verlag.
- Ts Oganessian, Y./Sh Abdullin, F./Bailey, P. D./Benker, D. E./Bennett, M. E./Dmitriev, S. N./Ezold, J. G./Hamilton, J. H./Henderson, R. A./Itkis, M. G./Lobanov, Y. V./Mezentsev, A. N./Moody, K. J./Nelson, S. L./Polyakov, A. N./Porter, C. E./Ramayya, A. V./Riley, F. D./Roberto, J. B./Ryabinin, M. A./Rykaczewski, K. P./Sagaidak, R. N./Shaughnessy, D. A./Shirokovsky, I. V./Stoyer, M. A./Subbotin, V. G./Sudowe, R./Sukhov, A. M./Tsyganov, Y. S./Utyonkov, V. K./Voinov, A. A./Vostokin, G. K./Wilk, P. A. (2010): Synthesis of a New Element with Atomic Number  $Z \frac{1}{4} 117$ .
- Umweltbundesamt (2010): Babyschwimmen und Desinfektionsnebenprodukte in Schwimmbädern.
- Umweltbundesamt (2012): Umweltbundesamt Bekanntmachung der Liste der Aufbereitungsstoffe und Desinfektionsverfahren gemäß (Stand: November 2012 ). In: 2011, S. 1–30.
- Umweltbundesamt: Fluorierte Treibhausgase und FCKW. <https://www.umweltbundesamt.de/themen/klima-energie/fluorierte-treibhausgase-fckw> (Abruf 12.5.2020).

Umweltbundesamt (2017): Dioxine. <https://www.umweltbundesamt.de/themen/chemikalien/dioxine#was-sind-dioxine-und-dioxinahnliche-pcb> (Abruf 14.5.2020).

Umweltbundesamt/Behnke, A./Böhnhardt, A./Bussian, B. M./Blondzik, K./Dauert, U./Gärtner, P./Giese, E./Juhrich, K./Konietzka, R./Knetsch, G./Markard, C./Minkos, A./Moriske, H.-J./Plickert, S./Pirntke, U./Rappolder, M./Schmidt, S./Schroeter-Kermani, C./Utermann, J. (2014): Dioxine und dioxinähnliche PCB in Umwelt und Nahrungsketten. [https://www.umweltbundesamt.de/sites/default/files/medien/378/publikationen/hgp\\_dioxine\\_entwurf\\_25.04.2014\\_grau-ocker.pdf](https://www.umweltbundesamt.de/sites/default/files/medien/378/publikationen/hgp_dioxine_entwurf_25.04.2014_grau-ocker.pdf) (Abruf 14.5.2020).

Uni-Bayreuth (2019): Experimente für den Chemieunterricht: Ionenwanderung, vereinfacht. [http://daten.didaktikchemie.uni-bayreuth.de/experimente/standard/alt\\_html/0603a\\_ionenwanderung.htm](http://daten.didaktikchemie.uni-bayreuth.de/experimente/standard/alt_html/0603a_ionenwanderung.htm) (Abruf 18.5.2020).

Uni-Ulm: Die Solvation / Hydratation. [https://www.uni-ulm.de/fileadmin/website\\_uni\\_ulm/nawi.inst.251/Didactics/elekleit/html/03-01.html](https://www.uni-ulm.de/fileadmin/website_uni_ulm/nawi.inst.251/Didactics/elekleit/html/03-01.html) (Abruf 30.5.2020).

Uni Göttingen: V1-Sublimation und Resublimation von Iod. <http://unterrichtsmaterialien-chemie.uni-goettin> (Abruf 17.5.2020).

WebElements: Astatine. <https://www.webelements.com/astatine/> (Abruf 31.5.2020a).

WebElements: Tennessine. <https://www.webelements.com/tennessine/index.html> (Abruf 31.5.2020b).

Wiechoczek, D. (2006): Versuch: Ionenwanderung auf einer Glasplatte. <https://www.chemieunterricht.de/dc2/echemie/ionwan2v.htm> (Abruf 19.5.2020).

Wikimedia Commons: File:IodStaerke2.svg. <https://commons.wikimedia.org/wiki/File:IodStaerke2.svg> (Abruf 30.5.2020).

Wittke, G. (1992): Farbstoffchemie. 3. Auflage. Frankfurt am Main: Diesterweg Sauerländer.

## Anhänge

Sämtliche Gefährdungsbeurteilungen (GBU) sind nach dem Musterformular des Landes Baden-Württemberg erstellt (Gefahrstoffe-Schule-BW). Passen Sie vor Durchführung des Experiments nicht ausgefüllte Teile der Beurteilungen an und reevaluiieren Sie das Experiment auf die Zulässigkeit der Durchführung hinsichtlich aktualisierter Tätigkeitsverbote. Sofern in den GBU kein durchführender Personenkreis angegeben ist, können diese Experimente ebenfalls im Schülerversuch stattfinden. Kreuzen Sie in diesem Fall vor Durchführung des Experiments die durchführende Personengruppe an.

\* Stoff wurde aufgrund der Darreichungsform herabgestuft

## Anhang 1: Löslichkeit von Iod in unterschiedlichen Medien (GBU)

Tätigkeitsbezogene Gefährdungsbeurteilung nach § 6 GefStoffV

### Allgemeines

|                                            |                                                                                                                                                               |                                                     |                                           |
|--------------------------------------------|---------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|-----------------------------------------------------|-------------------------------------------|
| Versuch/Experiment:                        | Löslichkeit von Iod in unterschiedlichen Medien                                                                                                               |                                                     |                                           |
| Benötigte Materialien<br>(Geräte, Stoffe): | Reagenzgläser, Reagenzglasständer, Spatel, Uhrglas<br>Iodkristalle, Wasser, Kaliumiodidlösung $w \leq 10\%$ , n-Heptan,<br>Natriumthiosulfat (zur Entsorgung) |                                                     |                                           |
| Schulstufe                                 | <input type="checkbox"/> Primarstufe                                                                                                                          | <input checked="" type="checkbox"/> Sekundarstufe I | <input type="checkbox"/> Sekundarstufe II |
| Wer führt die Tätigkeit durch?             | <input type="checkbox"/> Lehrkraft                                                                                                                            | <input type="checkbox"/> Schülerinnen/Schüler       |                                           |

### Tätigkeitsbeschränkungen

- ☐ + Schüler- und Lehrerexperimente sind mit diesen Stoffen ohne Einschränkungen erlaubt
- ☐ - Generelles Tätigkeitsverbot an Schulen
- ☐ S Tätigkeitsverbot für Schüler
- ☒ S4 Tätigkeitsverbot für Schüler bis einschließlich Jahrgangsstufe 4
- ☐ S9 Tätigkeitsverbot für Schüler bis einschließlich Jahrgangsstufe 9
- ☐ w Tätigkeitsverbot für gebärfähige Frauen, werdende und stillende Mütter
- ☐ ESP Besondere Ersatzstoffprüfung erforderlich

### Versuchsbeschreibung/Vorgehensweise:

In den Reagenzgläsern werden die Lösungsmittel Wasser, Kaliumiodidlösung und n-Pentan vorgehalten. Auf einem Uhrglas bereitgestellte Iodkristalle werden mittels Spatel in die Reagenzgläser gegeben und durch Schwenken zur Lösung gebracht.

**Tätigkeit/Experiment mit Gefahrstoffen oder Tätigkeit/Experiment, bei dem/der Gefahrstoffe entstehen oder freigesetzt werden können?**

Ja



## Gefahrstoffe

|               |                                                                                   |         |                                                        |
|---------------|-----------------------------------------------------------------------------------|---------|--------------------------------------------------------|
| Gefahrstoff   | n-Heptan                                                                          |         |                                                        |
| Kennzeichnung |  |         |                                                        |
| Signalwort    | <b>Gefahr</b>                                                                     |         |                                                        |
| H-Sätze       | H225, H304, H315, H336, H410                                                      | P-Sätze | P210, P240, P273, P301+P330+P331, P302+P352, P403+P233 |
| Gefahrstoff   | Iod                                                                               |         |                                                        |
| Kennzeichnung |  |         |                                                        |
| Signalwort    | <b>Gefahr</b>                                                                     |         |                                                        |
| H-Sätze       | H312+H332, H315, H319, H335, H372, H400                                           | P-Sätze | P273, P302+P352, P305+P351+P338, P314                  |

## Gefährdungsbeurteilung

### Die Möglichkeiten einer Substitution sind geprüft?

Ja Ergebnis der Substitutionsprüfung  
Es wird das Halogen mit der geringsten Gefährlichkeit verwendet. Das organische Lösungsmittel n-Heptan ist wenig flüchtig.

### Bestehen Gefahren durch Einatmen?

Ja Beurteilung dieser Gefährdung:  
n-Heptan ist flüchtig. Es wird mit geringen Mengen gearbeitet, dennoch muss auf eine Raumbelüftung geachtet werden.

### Bestehen Gefahren durch Hautkontakt?

Ja Beurteilung dieser Gefährdung:  
Iod ist hautreizend. Dekontamination mit Wasser und Seife im Falle einer Berührung.

### Besteht eine Brand- und/oder Explosionsgefahr?

Ja

Beurteilung dieser Gefährdung:

n-Heptan ist leichtentzündlich; Löschmittel bereithalten und von Zündquellen fernhalten

### Ergebnis/Maßnahmen

|                                                               |                                                                                   |                                                                                   |                                                                                   |                                                                                    |                                                                                     |                                                                                     |
|---------------------------------------------------------------|-----------------------------------------------------------------------------------|-----------------------------------------------------------------------------------|-----------------------------------------------------------------------------------|------------------------------------------------------------------------------------|-------------------------------------------------------------------------------------|-------------------------------------------------------------------------------------|
| Mindest-standards<br>DGUV 113-018<br>§8 GefStoffV<br>TRGS 500 |  |  |  |  |  |  |
|                                                               | Schutzbrille                                                                      | Schutz-Hand-schuhe                                                                | Abzug                                                                             | geschlossenes System                                                               | Brandschutz-maßnahmen                                                               | Lüftungs-maßnahmen                                                                  |
| <input checked="" type="checkbox"/>                           | <input checked="" type="checkbox"/>                                               | <input type="checkbox"/>                                                          | <input type="checkbox"/>                                                          | <input type="checkbox"/>                                                           | <input checked="" type="checkbox"/>                                                 | <input checked="" type="checkbox"/>                                                 |

## Anhang 2: Elektrolyse von Zinkiodid (GBU)

Tätigkeitsbezogene Gefährdungsbeurteilung nach § 6 GefStoffV

### Allgemeines

|                                            |                                                                                                                                                         |                                                     |                                           |
|--------------------------------------------|---------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|-----------------------------------------------------|-------------------------------------------|
| Versuch/Experiment:                        | Elektrolyse von Zink(II)-iodid                                                                                                                          |                                                     |                                           |
| Benötigte Materialien<br>(Geräte, Stoffe): | Zink(II)-iodid-Lösung ( $c \leq 0,2 \text{ M}$ ), Stärke<br>Gleichspannungsquelle $U \leq 5 \text{ V}$ , Kabel, Elektroden, Becherglas, Krokodilklemmen |                                                     |                                           |
| Schulstufe                                 | <input type="checkbox"/> Primarstufe                                                                                                                    | <input checked="" type="checkbox"/> Sekundarstufe I | <input type="checkbox"/> Sekundarstufe II |
| Wer führt die Tätigkeit durch?             | <input type="checkbox"/> Lehrkraft                                                                                                                      | <input type="checkbox"/> Schülerinnen/Schüler       |                                           |

### Tätigkeitsbeschränkungen

- ☐ + Schüler- und Lehrerexperimente sind mit diesen Stoffen ohne Einschränkungen erlaubt
- ☐ - Generelles Tätigkeitsverbot an Schulen
- ☐ S Tätigkeitsverbot für Schüler
- ☒ S4 Tätigkeitsverbot für Schüler bis einschließlich Jahrgangsstufe 4
- ☐ S9 Tätigkeitsverbot für Schüler bis einschließlich Jahrgangsstufe 9
- ☐ w Tätigkeitsverbot für gebärfähige Frauen, werdende und stillende Mütter
- ☐ ESP Besondere Ersatzstoffprüfung erforderlich

### Versuchsbeschreibung/Vorgehensweise:

In einem Becherglas mit einer Zinkiodid-Lösung ( $c \leq 0,2 \text{ M}$ ) und gelöster Stärke werden zwei Graphitelektroden eingetaucht, wobei sich die Elektroden nicht berühren dürfen. Ein Kurzschlusschutz ist bei Verwendung eines Netzteils einzurichten. Die Elektroden werden an eine Gleichspannungsquelle ( $U \leq 5 \text{ V}$ ) angeschlossen.

### Tätigkeit/Experiment mit Gefahrstoffen oder Tätigkeit/Experiment, bei dem/der Gefahrstoffe entstehen oder freigesetzt werden können?

Ja

## Gefahrstoffe

|               |                                                                                   |         |                                                   |
|---------------|-----------------------------------------------------------------------------------|---------|---------------------------------------------------|
| Gefahrstoff   | Zinkiodid                                                                         |         |                                                   |
| Kennzeichnung |  |         |                                                   |
| Signalwort    | <b>Gefahr</b>                                                                     |         |                                                   |
| H-Sätze       | H314, H410                                                                        | P-Sätze | P273, P280, P302+P352, P305+P351+P338, P310, P501 |
| Gefahrstoff   | Iod                                                                               |         |                                                   |
| Kennzeichnung |  |         |                                                   |
| Signalwort    | <b>Gefahr</b>                                                                     |         |                                                   |
| H-Sätze       | H312+H332, H315, H319, H335, H372, H400                                           | P-Sätze | P273, P302+P352, P305+P351+P338, P314             |

## Gefährdungsbeurteilung

### Die Möglichkeiten einer Substitution sind geprüft?

☒ Ja Ergebnis der Substitutionsprüfung  
Schülerversuch mit geringstem Gefahrenpotential.

### Bestehen Gefahren durch Einatmen?

Nein

### Bestehen Gefahren durch Hautkontakt?

Ja Beurteilung dieser Gefährdung:  
Bei unsauberer Durchführung/Unfall ist Kontakt mit Zinkiodid und Iod möglich. Geringe Konzentration; Abwaschen der Haut mit Wasser und Seife genügt zur Dekontamination.

### Besteht eine Brand- und/oder Explosionsgefahr?

Nein

## Ergebnis/Maßnahmen

|                                                               |                                                                                   |                                                                                   |                                                                                   |                                                                                    |                                                                                     |                                                                                     |
|---------------------------------------------------------------|-----------------------------------------------------------------------------------|-----------------------------------------------------------------------------------|-----------------------------------------------------------------------------------|------------------------------------------------------------------------------------|-------------------------------------------------------------------------------------|-------------------------------------------------------------------------------------|
| Mindest-standards<br>DGUV 113-018<br>§8 GefStoffV<br>TRGS 500 |  |  |  |  |  |  |
|                                                               | Schutzbrille                                                                      | Schutz-Hand-<br>schuhe                                                            | Abzug                                                                             | geschlossenes<br>System                                                            | Brandschutz-<br>maßnahmen                                                           | Lüftungs-<br>maßnahmen                                                              |
| <input checked="" type="checkbox"/>                           | <input checked="" type="checkbox"/>                                               | <input type="checkbox"/>                                                          | <input type="checkbox"/>                                                          | <input type="checkbox"/>                                                           | <input type="checkbox"/>                                                            | <input type="checkbox"/>                                                            |

## Anhang 3: Sublimation von Iod (GBU)

Tätigkeitsbezogene Gefährdungsbeurteilung nach § 6 GefStoffV

### Allgemeines

|                                         |                                                          |                                                     |                                           |
|-----------------------------------------|----------------------------------------------------------|-----------------------------------------------------|-------------------------------------------|
| Versuch/Experiment:                     | Sublimation von Iod                                      |                                                     |                                           |
| Benötigte Materialien (Geräte, Stoffe): | Erlenmeyerkolben, Uhrglas, Heizplatte, Eiswürfel, Spatel |                                                     |                                           |
| Schulstufe                              | <input type="checkbox"/> Primarstufe                     | <input checked="" type="checkbox"/> Sekundarstufe I | <input type="checkbox"/> Sekundarstufe II |
| Wer führt die Tätigkeit durch?          | <input checked="" type="checkbox"/> Lehrkraft            | <input type="checkbox"/> Schülerinnen/Schüler       |                                           |

### Tätigkeitsbeschränkungen

- ☐ + Schüler- und Lehrerexperimente sind mit diesen Stoffen ohne Einschränkungen erlaubt
- ☐ - Generelles Tätigkeitsverbot an Schulen
- ☐ S Tätigkeitsverbot für Schüler
- ☒ S4 Tätigkeitsverbot für Schüler bis einschließlich Jahrgangsstufe 4
- ☐ S9 Tätigkeitsverbot für Schüler bis einschließlich Jahrgangsstufe 9
- ☐ w Tätigkeitsverbot für gebärfähige Frauen, werdende und stillende Mütter
- ☐ ESP Besondere Ersatzstoffprüfung erforderlich

### Versuchsbeschreibung/Vorgehensweise:

Einige Iodkristalle werden in einem Erlenmeyerkolben gegeben. Ein Uhrglas wird daraufgelegt. Das Uhrglas wird mit einem Eiswürfel gekühlt. Die Sublimation kann beschleunigt werden, wenn der Erlenmeyerkolben durch eine Heizplatte ( $T < 110^{\circ}\text{C}$ ) beheizt wird.

### Tätigkeit/Experiment mit Gefahrstoffen oder Tätigkeit/Experiment, bei dem/der Gefahrstoffe entstehen oder freigesetzt werden können?

Ja

## Gefahrstoffe

|               |                                                                                   |         |                                       |
|---------------|-----------------------------------------------------------------------------------|---------|---------------------------------------|
| Gefahrstoff   | Iod                                                                               |         |                                       |
| Kennzeichnung |  |         |                                       |
| Signalwort    | <b>Gefahr</b>                                                                     |         |                                       |
| H-Sätze       | H312+H332, H315, H319, H335, H372, H400                                           | P-Sätze | P273, P302+P352, P305+P351+P338, P314 |

## Gefährdungsbeurteilung

### Die Möglichkeiten einer Substitution sind geprüft?

Ja Ergebnis der Substitutionsprüfung  
Halogen mit geringstem Gefährdungspotential verwendet; Standardversuch an Schulen.

### Bestehen Gefahren durch Einatmen?

Ja Beurteilung dieser Gefährdung:  
Durch die Sublimation des Iods entstehen giftige Ioddämpfe. Arbeit im Abzug. Versuch erst nach Abkühlung aus dem Abzug nehmen.

### Bestehen Gefahren durch Hautkontakt?

Ja Beurteilung dieser Gefährdung:  
Iod ist hautreizend. Dekontamination mit Wasser und Seife.

### Besteht eine Brand- und/oder Explosionsgefahr?

Nein

## Ergebnis/Maßnahmen

|                                                              |                                                                                                     |                                                                                                          |                                                                                              |                                                                                                             |                                                                                                               |                                                                                                            |
|--------------------------------------------------------------|-----------------------------------------------------------------------------------------------------|----------------------------------------------------------------------------------------------------------|----------------------------------------------------------------------------------------------|-------------------------------------------------------------------------------------------------------------|---------------------------------------------------------------------------------------------------------------|------------------------------------------------------------------------------------------------------------|
| Mindeststandards<br>DGUV 113-018<br>§8 GefStoffV<br>TRGS 500 | <br>Schutzbrille | <br>Schutz-Handschuhe | <br>Abzug | <br>geschlossenes System | <br>Brandschutzmaßnahmen | <br>Lüftungsmaßnahmen |
| <input checked="" type="checkbox"/>                          | <input checked="" type="checkbox"/>                                                                 | <input type="checkbox"/>                                                                                 | <input checked="" type="checkbox"/>                                                          | <input type="checkbox"/>                                                                                    | <input type="checkbox"/>                                                                                      | <input type="checkbox"/>                                                                                   |

## Anhang 4: Darstellung von Chlor(wasser) (GBU)

Tätigkeitsbezogene Gefährdungsbeurteilung nach § 6 GefStoffV

### Allgemeines

|                                            |                                                                                                                                                                               |                                                     |                                           |
|--------------------------------------------|-------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|-----------------------------------------------------|-------------------------------------------|
| Versuch/Experiment:                        | Darstellung von Chlor(wasser)                                                                                                                                                 |                                                     |                                           |
| Benötigte Materialien<br>(Geräte, Stoffe): | Stativmaterial, Reagenzglas, durchbohrter Stopfen, Glasrohre,<br>Pneumatische Wanne mit Standzylinder oder Reagenzglas<br><br>Braunstein ( $\text{MnO}_2$ ), HCl konz, Wasser |                                                     |                                           |
| Schulstufe                                 | <input type="checkbox"/> Primarstufe                                                                                                                                          | <input checked="" type="checkbox"/> Sekundarstufe I | <input type="checkbox"/> Sekundarstufe II |
| Wer führt die Tätigkeit durch?             | <input checked="" type="checkbox"/> Lehrkraft                                                                                                                                 | <input type="checkbox"/> Schülerinnen/Schüler       |                                           |

### Tätigkeitsbeschränkungen

- ☐ + Schüler- und Lehrerexperimente sind mit diesen Stoffen ohne Einschränkungen erlaubt
- ☐ - Generelles Tätigkeitsverbot an Schulen
- ☒ S Tätigkeitsverbot für Schüler
- ☐ S4 Tätigkeitsverbot für Schüler bis einschließlich Jahrgangsstufe 4
- ☐ S9 Tätigkeitsverbot für Schüler bis einschließlich Jahrgangsstufe 9
- ☒ w Tätigkeitsverbot für gebärfähige Frauen, werdende und stillende Mütter
- ☒ ESP Besondere Ersatzstoffprüfung erforderlich

### Versuchsbeschreibung/Vorgehensweise:

Etwas  $\text{MnO}_2$  wird in einem Reagenzglas mit HCl konz. übergossen. Das RG wird schräg eingespannt und mit einem durchbohrten Stopfen und einem Glasrohr versehen. Das durch Erhitzen entstehende Gas wird wahlweise mit einer pneumatischen Wanne und einem Standzylinder aufgefangen oder alternativ in ein weiteres mit Wasser gefülltes Reagenzglas geleitet. Vor Ende der Wärmezufuhr wird das System belüftet, um ein Rücklaufen aus der pneumatischen Wanne bzw. dem zweiten RG zu verhindern.

### Tätigkeit/Experiment mit Gefahrstoffen oder Tätigkeit/Experiment, bei dem/der Gefahrstoffe entstehen oder freigesetzt werden können?

Ja



## Gefahrstoffe

|               |                                                                                   |         |      |
|---------------|-----------------------------------------------------------------------------------|---------|------|
| Gefahrstoff   | Mangan(IV)-oxid                                                                   |         |      |
| Kennzeichnung |  |         |      |
| Signalwort    | <b>Gefahr</b>                                                                     |         |      |
| H-Sätze       | H302+H332, H373                                                                   | P-Sätze | P314 |

|               |                                                                                   |         |                                                            |
|---------------|-----------------------------------------------------------------------------------|---------|------------------------------------------------------------|
| Gefahrstoff   | Salzsäure                                                                         |         |                                                            |
| Kennzeichnung |  |         |                                                            |
| Signalwort    | <b>Gefahr</b>                                                                     |         |                                                            |
| H-Sätze       | H290, H314, H335                                                                  | P-Sätze | P260, P280, P303+P361+P353, P304+P340+P310, P305+P351+P338 |

|               |                                                                                     |         |                                                                                                      |
|---------------|-------------------------------------------------------------------------------------|---------|------------------------------------------------------------------------------------------------------|
| Gefahrstoff   | Chlor*                                                                              |         |                                                                                                      |
| Kennzeichnung |  |         |                                                                                                      |
| Signalwort    | <b>Gefahr</b>                                                                       |         |                                                                                                      |
| H-Sätze       | H270, H330, H315, H319, H335, H400, EUH071                                          | P-Sätze | P260, P220, P280, P273, P304+P340, P305+P351+P338, P332+P313, P370+P376, P302+P352, P315, P405, P403 |

|               |                                                                                     |         |                                              |
|---------------|-------------------------------------------------------------------------------------|---------|----------------------------------------------|
| Gefahrstoff   | Mangan(II)-chlorid                                                                  |         |                                              |
| Kennzeichnung |  |         |                                              |
| Signalwort    | <b>Gefahr</b>                                                                       |         |                                              |
| H-Sätze       | H302, H318, H373, H411                                                              | P-Sätze | P260, P264, P270, P280, P305+P351+P338, P310 |

## Gefährdungsbeurteilung

### Die Möglichkeiten einer Substitution sind geprüft?

Ja Ergebnis der Substitutionsprüfung  
Kontrollierbarer Versuch mit geringem Gefährdungspotential zur Darstellung von Chlor/Chlorwasser.

### Bestehen Gefahren durch Einatmen?

Ja Beurteilung dieser Gefährdung:  
Konzentrierte (rauchende) Salzsäure kann beim Einatmen die Atemwege verätzen. Chlor ist ein giftiges Gas. Arbeit im Abzug!

### Bestehen Gefahren durch Hautkontakt?

Ja Beurteilung dieser Gefährdung:  
Salzsäure ist ätzend. Arbeit mit Schutzhandschuhen. Dekontamination mit Wasser.

### Besteht eine Brand- und/oder Explosionsgefahr?

Ja Beurteilung dieser Gefährdung:  
Arbeit mit dem Brenner. Sicherheitsvorkehrungen beachten.

## Ergebnis/Maßnahmen

|                                                                   |                                                                                     |                                                                                     |                                                                                     |                                                                                      |                                                                                       |                                                                                       |
|-------------------------------------------------------------------|-------------------------------------------------------------------------------------|-------------------------------------------------------------------------------------|-------------------------------------------------------------------------------------|--------------------------------------------------------------------------------------|---------------------------------------------------------------------------------------|---------------------------------------------------------------------------------------|
| Mindest-standards<br>DGUV 113-018<br><br>§8 GefStoffV<br>TRGS 500 |  |  |  |  |  |  |
|                                                                   | Schutzbrille                                                                        | Schutz-Hand-<br>schuhe                                                              | Abzug                                                                               | geschlossenes<br>System                                                              | Brandschutz-<br>maßnahmen                                                             | Lüftungs-<br>maßnahmen                                                                |
| <input checked="" type="checkbox"/>                               | <input checked="" type="checkbox"/>                                                 | <input checked="" type="checkbox"/>                                                 | <input checked="" type="checkbox"/>                                                 | <input type="checkbox"/>                                                             | <input type="checkbox"/>                                                              | <input type="checkbox"/>                                                              |

### Weitere Maßnahmen:

Sofern Chlorwasser im Schülerversuch verwendet werden soll: Stöchiometrische Berechnung der verwendeten Mengen, sodass  $c \leq 0,02 \text{ M}$

## Anhang 5: Rosenbleiche (GBU)

Tätigkeitsbezogene Gefährdungsbeurteilung nach § 6 GefStoffV

### Allgemeines

|                                            |                                                     |                                                     |                                           |
|--------------------------------------------|-----------------------------------------------------|-----------------------------------------------------|-------------------------------------------|
| Versuch/Experiment:                        | Rosenbleiche                                        |                                                     |                                           |
| Benötigte Materialien<br>(Geräte, Stoffe): | Standzylinder, Glasdeckel, Rose (oder Blüte), Chlor |                                                     |                                           |
| Schulstufe                                 | <input type="checkbox"/> Primarstufe                | <input checked="" type="checkbox"/> Sekundarstufe I | <input type="checkbox"/> Sekundarstufe II |
| Wer führt die Tätigkeit durch?             | <input checked="" type="checkbox"/> Lehrkraft       | <input type="checkbox"/> Schülerinnen/Schüler       |                                           |

### Tätigkeitsbeschränkungen

- ☐ + Schüler- und Lehrerexperimente sind mit diesen Stoffen ohne Einschränkungen erlaubt
- ☐ - Generelles Tätigkeitsverbot an Schulen
- ☒ S Tätigkeitsverbot für Schüler
- ☐ S4 Tätigkeitsverbot für Schüler bis einschließlich Jahrgangsstufe 4
- ☐ S9 Tätigkeitsverbot für Schüler bis einschließlich Jahrgangsstufe 9
- ☒ w Tätigkeitsverbot für gebärfähige Frauen, werdende und stillende Mütter
- ☒ ESP Besondere Ersatzstoffprüfung erforderlich

### Versuchsbeschreibung/Vorgehensweise:

In einem mit Chlor gefüllten Standzylinder wird eine Blüte gegeben. Der Standzylinder wird mit einem Glasdeckel verschlossen.

**Tätigkeit/Experiment mit Gefahrstoffen oder Tätigkeit/Experiment, bei dem/der Gefahrstoffe entstehen oder freigesetzt werden können?**

Ja

## Gefahrstoffe

|               |                                                                                                                                                                                                                                                       |         |                                                                                                      |
|---------------|-------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|---------|------------------------------------------------------------------------------------------------------|
| Gefahrstoff   | Chlor*                                                                                                                                                                                                                                                |         |                                                                                                      |
| Kennzeichnung |    |         |                                                                                                      |
| Signalwort    | Gefahr                                                                                                                                                                                                                                                |         |                                                                                                      |
| H-Sätze       | H270, H330, H315, H319, H335, H400, EUH071                                                                                                                                                                                                            | H-Sätze | P260, P220, P280, P273, P304+P340, P305+P351+P338, P332+P313, P370+P376, P302+P352, P315, P405, P403 |

## Gefährdungsbeurteilung

### Die Möglichkeiten einer Substitution sind geprüft?

Ja Ergebnis der Substitutionsprüfung  
Da die Bleichwirkung von elementarem Chlor gezeigt werden soll, kann Chlor nicht substituiert werden.

### Bestehen Gefahren durch Einatmen?

Ja Beurteilung dieser Gefährdung:  
Chlor ist ein giftiges Gas. Arbeit im Abzug.

### Bestehen Gefahren durch Hautkontakt?

Ja Beurteilung dieser Gefährdung:  
Chlor ist hautreizend. Dekontamination mit Wasser und Seife.

### Besteht eine Brand- und/oder Explosionsgefahr?

Ja Beurteilung dieser Gefährdung:  
Chlor wirkt oxidierend. Arbeit im Abzug; Brandschutzmittel bereithalten.

## Ergebnis/Maßnahmen

|                                                              |                                                                                                     |                                                                                                          |                                                                                              |                                                                                                             |                                                                                                               |                                                                                                            |
|--------------------------------------------------------------|-----------------------------------------------------------------------------------------------------|----------------------------------------------------------------------------------------------------------|----------------------------------------------------------------------------------------------|-------------------------------------------------------------------------------------------------------------|---------------------------------------------------------------------------------------------------------------|------------------------------------------------------------------------------------------------------------|
| Mindeststandards<br>DGUV 113-018<br>§8 GefStoffV<br>TRGS 500 | <br>Schutzbrille | <br>Schutz-Handschuhe | <br>Abzug | <br>geschlossenes System | <br>Brandschutzmaßnahmen | <br>Lüftungsmaßnahmen |
| <input checked="" type="checkbox"/>                          | <input checked="" type="checkbox"/>                                                                 | <input type="checkbox"/>                                                                                 | <input checked="" type="checkbox"/>                                                          | <input type="checkbox"/>                                                                                    | <input checked="" type="checkbox"/>                                                                           | <input type="checkbox"/>                                                                                   |

## Anhang 6: Chlorwasser auf Tinte (GBU)

Tätigkeitsbezogene Gefährdungsbeurteilung nach § 6 GefStoffV

### Allgemeines

|                                         |                                                       |                                                     |                                           |
|-----------------------------------------|-------------------------------------------------------|-----------------------------------------------------|-------------------------------------------|
| Versuch/Experiment:                     | Chlorwasser auf Tinte                                 |                                                     |                                           |
| Benötigte Materialien (Geräte, Stoffe): | Filterpapier, Becherglas, Pipette, Chlorwasser, Tinte |                                                     |                                           |
| Schulstufe                              | <input type="checkbox"/> Primarstufe                  | <input checked="" type="checkbox"/> Sekundarstufe I | <input type="checkbox"/> Sekundarstufe II |
| Wer führt die Tätigkeit durch?          | <input type="checkbox"/> Lehrkraft                    | <input type="checkbox"/> Schülerinnen/Schüler       |                                           |

### Tätigkeitsbeschränkungen

- ☒ + Schüler- und Lehrerexperimente sind mit diesen Stoffen ohne Einschränkungen erlaubt
- ☐ - Generelles Tätigkeitsverbot an Schulen
- ☐ S Tätigkeitsverbot für Schüler
- ☐ S4 Tätigkeitsverbot für Schüler bis einschließlich Jahrgangsstufe 4
- ☐ S9 Tätigkeitsverbot für Schüler bis einschließlich Jahrgangsstufe 9
- ☐ w Tätigkeitsverbot für gebärfähige Frauen, werdende und stillende Mütter
- ☐ ESP Besondere Ersatzstoffprüfung erforderlich

### Versuchsbeschreibung/Vorgehensweise:

Ein Filterpapier wird mit Tinte beschrieben. Nach Trocknung der Tinte wird Chlorwasser ( $c \leq 0,002 \text{ M}$ ) auf das Filterpapier mithilfe der Pipette gegeben. Ggfs. muss Chlorwasser mehrfach auf die Tinte gegeben werden.

### Tätigkeit/Experiment mit Gefahrstoffen oder Tätigkeit/Experiment, bei dem/der Gefahrstoffe entstehen oder freigesetzt werden können?

Ja

## Gefahrstoffe

|               |                                                                                   |         |                                                  |
|---------------|-----------------------------------------------------------------------------------|---------|--------------------------------------------------|
| Gefahrstoff   | Chlorwasser*                                                                      |         |                                                  |
| Kennzeichnung |  |         |                                                  |
| Signalwort    | <b>Achtung</b>                                                                    |         |                                                  |
| H-Sätze       | H315, H319                                                                        | H-Sätze | P305+P351+P338,<br>P332+P313, P302+P352,<br>P315 |

## Gefährdungsbeurteilung

### Die Möglichkeiten einer Substitution sind geprüft?

Ja Ergebnis der Substitutionsprüfung  
Standardversuch an Schulen mit geringem Gefährdungspotential.

### Bestehen Gefahren durch Einatmen?

Nein

### Bestehen Gefahren durch Hautkontakt?

Ja Beurteilung dieser Gefährdung:  
Chlorwasser kann hautreizend sein. Dekontamination mit Wasser und Seife.

### Besteht eine Brand- und/oder Explosionsgefahr?

Nein

## Ergebnis/Maßnahmen

|                                                               |                                                                                     |                                                                                     |                                                                                     |                                                                                      |                                                                                       |                                                                                       |
|---------------------------------------------------------------|-------------------------------------------------------------------------------------|-------------------------------------------------------------------------------------|-------------------------------------------------------------------------------------|--------------------------------------------------------------------------------------|---------------------------------------------------------------------------------------|---------------------------------------------------------------------------------------|
| Mindest-standards<br>DGUV 113-018<br>§8 GefStoffV<br>TRGS 500 |  |  |  |  |  |  |
|                                                               | Schutzbrille                                                                        | Schutz-Hand-schuhe                                                                  | Abzug                                                                               | geschlossenes System                                                                 | Brandschutz-maßnahmen                                                                 | Lüftungs-maßnahmen                                                                    |
| <input checked="" type="checkbox"/>                           | <input checked="" type="checkbox"/>                                                 | <input type="checkbox"/>                                                            | <input type="checkbox"/>                                                            | <input type="checkbox"/>                                                             | <input type="checkbox"/>                                                              | <input type="checkbox"/>                                                              |

## Anhang 7: Ionenwanderung (GBU)

Tätigkeitsbezogene Gefährdungsbeurteilung nach § 6 GefStoffV

### Allgemeines

|                                            |                                                                                                                                                                          |                                                     |                                           |
|--------------------------------------------|--------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|-----------------------------------------------------|-------------------------------------------|
| Versuch/Experiment:                        | Ionenwanderung                                                                                                                                                           |                                                     |                                           |
| Benötigte Materialien<br>(Geräte, Stoffe): | Filterpapier, Gleichspannungsquelle ( $U \leq 30 \text{ V}$ ), Kupferblech, Krokodilklemmen<br><br>Eisen(III)-chloridlösung, Kaliumnitrat-Lsg ( $c \leq 0,2 \text{ M}$ ) |                                                     |                                           |
| Schulstufe                                 | <input type="checkbox"/> Primarstufe                                                                                                                                     | <input checked="" type="checkbox"/> Sekundarstufe I | <input type="checkbox"/> Sekundarstufe II |
| Wer führt die Tätigkeit durch?             | <input checked="" type="checkbox"/> Lehrkraft                                                                                                                            | <input type="checkbox"/> Schülerinnen/Schüler       |                                           |

### Tätigkeitsbeschränkungen

- ☐ + Schüler- und Lehrerexperimente sind mit diesen Stoffen ohne Einschränkungen erlaubt
- ☐ - Generelles Tätigkeitsverbot an Schulen
- ☒ S Tätigkeitsverbot für Schüler
- ☐ S4 Tätigkeitsverbot für Schüler bis einschließlich Jahrgangsstufe 4
- ☐ S9 Tätigkeitsverbot für Schüler bis einschließlich Jahrgangsstufe 9
- ☒ w Tätigkeitsverbot für gebärfähige Frauen, werdende und stillende Mütter
- ☒ ESP Besondere Ersatzstoffprüfung erforderlich

### Versuchsbeschreibung/Vorgehensweise:

Ein Filterpapier wird rechteckig zugeschnitten und in einer Kaliumnitrat-Lösung getränkt. Zwei Kupferbleche werden parallel gegenüber um das Papier gefaltet, ohne dass diese sich berühren und mit Krokodilklemmen an die ausgeschaltete Spannungsquelle angeschlossen. Eisen(III)-chlorid wird entweder als Kristall oder als Lösung zwischen die Elektroden platziert. Die Spannung wird eingeschaltet. Bevor die Eisen(III)-Ionen die Kathode erreichen, wird der Versuch durch Ausschalten der Spannungsquelle beendet.

### Tätigkeit/Experiment mit Gefahrstoffen oder Tätigkeit/Experiment, bei dem/der Gefahrstoffe entstehen oder freigesetzt werden können?

Ja

## Gefahrstoffe

|               |                                                                                     |         |                                                      |
|---------------|-------------------------------------------------------------------------------------|---------|------------------------------------------------------|
| Gefahrstoff   | Eisen(III)-chlorid                                                                  |         |                                                      |
| Kennzeichnung |    |         |                                                      |
| Signalwort    | <b>Achtung</b>                                                                      |         |                                                      |
| H-Sätze       | H302, H315, H318                                                                    | P-Sätze | P280, P301+P312+P330, P302+P352, P305+P351+P338+P310 |
| Gefahrstoff   | Kaliumnitrat                                                                        |         |                                                      |
| Kennzeichnung |    |         |                                                      |
| Signalwort    | <b>Achtung</b>                                                                      |         |                                                      |
| H-Sätze       | H272                                                                                | P-Sätze | P210, P221                                           |
| Gefahrstoff   | Wasserstoff <sup>*</sup>                                                            |         |                                                      |
| Kennzeichnung |  |         |                                                      |
| Signalwort    | <b>Gefahr</b>                                                                       |         |                                                      |
| H-Sätze       | H220                                                                                | P-Sätze | P210, P403                                           |
| Gefahrstoff   | Sauerstoff <sup>*</sup>                                                             |         |                                                      |
| Kennzeichnung |  |         |                                                      |
| Signalwort    | <b>Gefahr</b>                                                                       |         |                                                      |
| H-Sätze       | H270                                                                                | P-Sätze | P370+P376                                            |



|               |                                                                                   |         |                                                                                          |
|---------------|-----------------------------------------------------------------------------------|---------|------------------------------------------------------------------------------------------|
| Gefahrstoff   | Chlor* (bei zu spätem Abbruch)                                                    |         |                                                                                          |
| Kennzeichnung |  |         |                                                                                          |
| Signalwort    | <b>Gefahr</b>                                                                     |         |                                                                                          |
| H-Sätze       | H270, H330, H315, H319, H335, H400, EUH071                                        | H-Sätze | P260, P220, P280, P273, P304+P340, P305+P351+P338, P332+P313, P370+P376, P302+P352, P315 |

## Gefährdungsbeurteilung

### Die Möglichkeiten einer Substitution sind geprüft?

Ja Ergebnis der Substitutionsprüfung  
Chlor entsteht nur bei zu später Beendigung des Versuchs. Arbeit im Abzug

### Bestehen Gefahren durch Einatmen?

Ja Beurteilung dieser Gefährdung:  
Chlor ist giftig. Arbeit im Abzug.

### Bestehen Gefahren durch Hautkontakt?

Ja Beurteilung dieser Gefährdung:  
Eisen(III)-chlorid ist ätzend. Dekontamination mit Wasser und Seife.

### Besteht eine Brand- und/oder Explosionsgefahr?

Nein Beurteilung dieser Gefährdung:  
Verdünnte Lösungen. Das wässrige Milieu bietet einen ausreichenden Brandschutz.

## Ergebnis/Maßnahmen

|                                                              |                                                                                                     |                                                                                                          |                                                                                              |                                                                                                             |                                                                                                               |                                                                                                            |
|--------------------------------------------------------------|-----------------------------------------------------------------------------------------------------|----------------------------------------------------------------------------------------------------------|----------------------------------------------------------------------------------------------|-------------------------------------------------------------------------------------------------------------|---------------------------------------------------------------------------------------------------------------|------------------------------------------------------------------------------------------------------------|
| Mindeststandards<br>DGUV 113-018<br>§8 GefStoffV<br>TRGS 500 | <br>Schutzbrille | <br>Schutz-Handschuhe | <br>Abzug | <br>geschlossenes System | <br>Brandschutzmaßnahmen | <br>Lüftungsmaßnahmen |
| <input checked="" type="checkbox"/>                          | <input checked="" type="checkbox"/>                                                                 | <input checked="" type="checkbox"/>                                                                      | <input checked="" type="checkbox"/>                                                          | <input type="checkbox"/>                                                                                    | <input type="checkbox"/>                                                                                      | <input type="checkbox"/>                                                                                   |

## Anhang 8: Iod-Stärkenachweis (GBU)

Tätigkeitsbezogene Gefährdungsbeurteilung nach § 6 GefStoffV

### Allgemeines

|                                         |                                                                                                                                                                |                                                     |                                           |
|-----------------------------------------|----------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|-----------------------------------------------------|-------------------------------------------|
| Versuch/Experiment:                     | Iod-/Stärkenachweis                                                                                                                                            |                                                     |                                           |
| Benötigte Materialien (Geräte, Stoffe): | Reagenzglas und Reagenzglasständer, alternativ Becherglas, Spatel, Kartoffel (geschnitten) Pipette<br>Stärke, Kaliumiodid-Lösung $w \leq 10\%$ , Iod-Kristalle |                                                     |                                           |
| Schulstufe                              | <input type="checkbox"/> Primarstufe                                                                                                                           | <input checked="" type="checkbox"/> Sekundarstufe I | <input type="checkbox"/> Sekundarstufe II |
| Wer führt die Tätigkeit durch?          | <input type="checkbox"/> Lehrkraft                                                                                                                             | <input type="checkbox"/> Schülerinnen/Schüler       |                                           |

### Tätigkeitsbeschränkungen

- ☐ + Schüler- und Lehrerexperimente sind mit diesen Stoffen ohne Einschränkungen erlaubt
- ☐ - Generelles Tätigkeitsverbot an Schulen
- ☐ S Tätigkeitsverbot für Schüler
- ☒ S4 Tätigkeitsverbot für Schüler bis einschließlich Jahrgangsstufe 4
- ☐ S9 Tätigkeitsverbot für Schüler bis einschließlich Jahrgangsstufe 9
- ☐ w Tätigkeitsverbot für gebärfähige Frauen, werdende und stillende Mütter
- ☐ ESP Besondere Ersatzstoffprüfung erforderlich

### Versuchsbeschreibung/Vorgehensweise:

In einem Reagenzglas oder Becherglas wird zusätzlich zur vorliegenden KI-Lösung etwas Stärke in Lösung gebracht. Wenige Iodkristalle werden in Lösung gebracht.

Optional: Die Kartoffel wird mit reiner KI-Lösung beträufelt. Anschließend werden wenige Iodkristalle auf die Kartoffel (auf die beträufelte Stelle) gelegt.

### Tätigkeit/Experiment mit Gefahrstoffen oder Tätigkeit/Experiment, bei dem/der Gefahrstoffe entstehen oder freigesetzt werden können?

Ja

## Gefahrstoffe

|               |                                                                                   |         |                                       |
|---------------|-----------------------------------------------------------------------------------|---------|---------------------------------------|
| Gefahrstoff   | Iod                                                                               |         |                                       |
| Kennzeichnung |  |         |                                       |
| Signalwort    | <b>Gefahr</b>                                                                     |         |                                       |
| H-Sätze       | H312+H332, H315, H319, H335, H372, H400                                           | H-Sätze | P273, P302+P352, P305+P351+P338, P314 |

## Gefährdungsbeurteilung

### Die Möglichkeiten einer Substitution sind geprüft?

Ja Ergebnis der Substitutionsprüfung  
Keine Substitution möglich, da Nachweisversuch; Standardversuch an Schulen

### Bestehen Gefahren durch Einatmen?

Nein

### Bestehen Gefahren durch Hautkontakt?

Ja Beurteilung dieser Gefährdung:  
Iod ist hautreizend. Dekontamination mit Wasser und Seife.

### Besteht eine Brand- und/oder Explosionsgefahr?

Nein

## Ergebnis/Maßnahmen

|                                                              |                                                                                                     |                                                                                                          |                                                                                              |                                                                                                             |                                                                                                               |                                                                                                            |
|--------------------------------------------------------------|-----------------------------------------------------------------------------------------------------|----------------------------------------------------------------------------------------------------------|----------------------------------------------------------------------------------------------|-------------------------------------------------------------------------------------------------------------|---------------------------------------------------------------------------------------------------------------|------------------------------------------------------------------------------------------------------------|
| Mindeststandards<br>DGUV 113-018<br>§8 GefStoffV<br>TRGS 500 | <br>Schutzbrille | <br>Schutz-Handschuhe | <br>Abzug | <br>geschlossenes System | <br>Brandschutzmaßnahmen | <br>Lüftungsmaßnahmen |
| <input checked="" type="checkbox"/>                          | <input checked="" type="checkbox"/>                                                                 | <input type="checkbox"/>                                                                                 | <input type="checkbox"/>                                                                     | <input type="checkbox"/>                                                                                    | <input type="checkbox"/>                                                                                      | <input type="checkbox"/>                                                                                   |

## Anhang 9: Beilsteinprobe (GBU)

Tätigkeitsbezogene Gefährdungsbeurteilung nach § 6 GefStoffV

### Allgemeines

|                                         |                                                                    |                                                     |                                           |
|-----------------------------------------|--------------------------------------------------------------------|-----------------------------------------------------|-------------------------------------------|
| Versuch/Experiment:                     | Beilsteinprobe                                                     |                                                     |                                           |
| Benötigte Materialien (Geräte, Stoffe): | Brenner, Kupferdrahtnetz, Tiegelzange, zu untersuchende Stoffprobe |                                                     |                                           |
| Schulstufe                              | <input type="checkbox"/> Primarstufe                               | <input checked="" type="checkbox"/> Sekundarstufe I | <input type="checkbox"/> Sekundarstufe II |
| Wer führt die Tätigkeit durch?          | <input checked="" type="checkbox"/> Lehrkraft                      | <input type="checkbox"/> Schülerinnen/Schüler       |                                           |

### Tätigkeitsbeschränkungen

- ☐ + Schüler- und Lehrerexperimente sind mit diesen Stoffen ohne Einschränkungen erlaubt
- ☐ - Generelles Tätigkeitsverbot an Schulen
- ☒ S Tätigkeitsverbot für Schüler
- ☐ S4 Tätigkeitsverbot für Schüler bis einschließlich Jahrgangsstufe 4
- ☐ S9 Tätigkeitsverbot für Schüler bis einschließlich Jahrgangsstufe 9
- ☐ w Tätigkeitsverbot für gebärfähige Frauen, werdende und stillende Mütter
- ☐ ESP Besondere Ersatzstoffprüfung erforderlich

### Versuchsbeschreibung/Vorgehensweise:

Das Kupferdrahtnetz wird ausgeglüht. Anschließend wird die zu untersuchende Probe auf das Netz gelegt/das Netz in die zu untersuchende Probe getaucht und wieder in die Brennerflamme gehalten.

### Tätigkeit/Experiment mit Gefahrstoffen oder Tätigkeit/Experiment, bei dem/der Gefahrstoffe entstehen oder freigesetzt werden können?

Ja

### Gefährdungsbeurteilung

#### Die Möglichkeiten einer Substitution sind geprüft?

Ja Ergebnis der Substitutionsprüfung

Nachweisversuch. Sofern Halogenide von Salzen nachgewiesen werden sollen: Verwendung des Halogenidnachweises mit Silbernitrat.

### Bestehen Gefahren durch Einatmen?

Ja                      Beurteilung dieser Gefährdung:

Bei der Verbrennung von organischen Stoffen können Dioxine entstehen. Arbeit im Abzug!

### Bestehen Gefahren durch Hautkontakt?

Nein

### Besteht eine Brand- und/oder Explosionsgefahr?

Ja                      Beurteilung dieser Gefährdung:

Arbeit mit dem Brenner.

### Ergebnis/Maßnahmen

|                                                               |                                                                                   |                                                                                   |                                                                                   |                                                                                    |                                                                                     |                                                                                     |
|---------------------------------------------------------------|-----------------------------------------------------------------------------------|-----------------------------------------------------------------------------------|-----------------------------------------------------------------------------------|------------------------------------------------------------------------------------|-------------------------------------------------------------------------------------|-------------------------------------------------------------------------------------|
| Mindest-standards<br>DGUV 113-018<br>§8 GefStoffV<br>TRGS 500 |  |  |  |  |  |  |
| Schutzbrille                                                  | Schutz-Hand-<br>schuhe                                                            | Abzug                                                                             | geschlossenes<br>System                                                           | Brandschutz-<br>maßnahmen                                                          | Lüftungs-<br>maßnahmen                                                              |                                                                                     |
| <input checked="" type="checkbox"/>                           | <input checked="" type="checkbox"/>                                               | <input type="checkbox"/>                                                          | <input checked="" type="checkbox"/>                                               | <input type="checkbox"/>                                                           | <input type="checkbox"/>                                                            | <input type="checkbox"/>                                                            |

## Anhang 10: Halogenidnachweis mit Silbernitrat (GBU)

Tätigkeitsbezogene Gefährdungsbeurteilung nach § 6 GefStoffV

### Allgemeines

|                                            |                                                                                                                                                                     |                                                     |                                           |
|--------------------------------------------|---------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|-----------------------------------------------------|-------------------------------------------|
| Versuch/Experiment:                        | Halogenidnachweis durch Ausfällen mit Silbernitrat                                                                                                                  |                                                     |                                           |
| Benötigte Materialien<br>(Geräte, Stoffe): | Reagenzgläser, Reagenzglasständer, Pipetten<br>Salzproben (NaCl, KBr, KI), Silbernitrat verd., Ammoniaklösung<br>(verd. und konz.), Salpetersäure ( $w \leq 25\%$ ) |                                                     |                                           |
| Schulstufe                                 | <input type="checkbox"/> Primarstufe                                                                                                                                | <input checked="" type="checkbox"/> Sekundarstufe I | <input type="checkbox"/> Sekundarstufe II |
| Wer führt die Tätigkeit durch?             | <input checked="" type="checkbox"/> Lehrkraft                                                                                                                       | <input type="checkbox"/> Schülerinnen/Schüler       |                                           |

### Tätigkeitsbeschränkungen

- ☐ + Schüler- und Lehrerexperimente sind mit diesen Stoffen ohne Einschränkungen erlaubt
- ☐ - Generelles Tätigkeitsverbot an Schulen
- ☐ S Tätigkeitsverbot für Schüler
- ☒ S4 Tätigkeitsverbot für Schüler bis einschließlich Jahrgangsstufe 4
- ☐ S9 Tätigkeitsverbot für Schüler bis einschließlich Jahrgangsstufe 9
- ☐ w Tätigkeitsverbot für gebärfähige Frauen, werdende und stillende Mütter
- ☒ ESP Besondere Ersatzstoffprüfung erforderlich

### Versuchsbeschreibung/Vorgehensweise:

Die zu untersuchende Salzlösung wird mit Salpetersäure angesäuert und mit Silbernitrat zur Fällung gebracht. Nach Dekantieren wird die Fällung auf zwei RG aufgeteilt, woraufhin diese mit einer Ammoniaklösung konz. sowie verd. vermengt werden.

**Tätigkeit/Experiment mit Gefahrstoffen oder Tätigkeit/Experiment, bei dem/der Gefahrstoffe entstehen oder freigesetzt werden können?**

Ja

## Gefahrstoffe

|               |                                                                                     |         |                                                                  |
|---------------|-------------------------------------------------------------------------------------|---------|------------------------------------------------------------------|
| Gefahrstoff   | Silbernitrat*                                                                       |         |                                                                  |
| Kennzeichnung |    |         |                                                                  |
| Signalwort    | <b>Gefahr</b>                                                                       |         |                                                                  |
| H-Sätze       | H290, H314, H410                                                                    | P-Sätze | P280, P305+P351+P338, P308+P310                                  |
| Gefahrstoff   | Ammoniak-Lösung                                                                     |         |                                                                  |
| Kennzeichnung |    |         |                                                                  |
| Signalwort    | <b>Gefahr</b>                                                                       |         |                                                                  |
| H-Sätze       | H290, H314, H335, H400                                                              | P-Sätze | P260, P273, P280, P301+P330+P331, P303+P361+P353, P305+P351+P338 |
| Gefahrstoff   | Salpetersäure*                                                                      |         |                                                                  |
| Kennzeichnung |  |         |                                                                  |
| Signalwort    | <b>Gefahr</b>                                                                       |         |                                                                  |
| H-Sätze       | H290, H314, H330, EUH071                                                            | P-Sätze | P280, P301+P330+P331                                             |

## Gefährdungsbeurteilung

### Die Möglichkeiten einer Substitution sind geprüft?

Ja Ergebnis der Substitutionsprüfung

Standardnachweisversuch; keine Substitution möglich. Ammoniak wird aufgrund der Stoffeigenschaft benötigt und kann dementsprechend nicht substituiert werden.

### Bestehen Gefahren durch Einatmen?

Ja Beurteilung dieser Gefährdung:

Ammoniak ist flüchtig und ätzend. Arbeit im Abzug.

### Bestehen Gefahren durch Hautkontakt?

Ja                      Beurteilung dieser Gefährdung:

Silbernitrat und Ammoniak sind ätzend. Arbeit mit Schutzhandschuhen. Dekontamination mit viel Wasser und Seife.

### Besteht eine Brand- und/oder Explosionsgefahr?

Nein

### Ergebnis/Maßnahmen

|                                                               |                                                                                   |                                                                                   |                                                                                   |                                                                                    |                                                                                     |                                                                                     |
|---------------------------------------------------------------|-----------------------------------------------------------------------------------|-----------------------------------------------------------------------------------|-----------------------------------------------------------------------------------|------------------------------------------------------------------------------------|-------------------------------------------------------------------------------------|-------------------------------------------------------------------------------------|
| Mindest-standards<br>DGUV 113-018<br>§8 GefStoffV<br>TRGS 500 |  |  |  |  |  |  |
|                                                               | Schutzbrille                                                                      | Schutz-Hand-schuhe                                                                | Abzug                                                                             | geschlossenes System                                                               | Brandschutz-maßnahmen                                                               | Lüftungs-maßnahmen                                                                  |
| <input checked="" type="checkbox"/>                           | <input checked="" type="checkbox"/>                                               | <input checked="" type="checkbox"/>                                               | <input checked="" type="checkbox"/>                                               | <input type="checkbox"/>                                                           | <input type="checkbox"/>                                                            | <input type="checkbox"/>                                                            |



## Anhang 11: Kriechprobe (GBU)

Tätigkeitsbezogene Gefährdungsbeurteilung nach § 6 GefStoffV

### Allgemeines

|                                            |                                                                                                                                               |                                                     |                                           |
|--------------------------------------------|-----------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|-----------------------------------------------------|-------------------------------------------|
| Versuch/Experiment:                        | Kriechprobe                                                                                                                                   |                                                     |                                           |
| Benötigte Materialien<br>(Geräte, Stoffe): | Reagenzglas, Reagenzglasständer, Reagenzglasklammer, Pipette, Spatel, Brenner, Dreifuß, Becherglas<br><br>Schwefelsäure konz., Calciumfluorid |                                                     |                                           |
| Schulstufe                                 | <input type="checkbox"/> Primarstufe                                                                                                          | <input checked="" type="checkbox"/> Sekundarstufe I | <input type="checkbox"/> Sekundarstufe II |
| Wer führt die Tätigkeit durch?             | <input checked="" type="checkbox"/> Lehrkraft                                                                                                 | <input type="checkbox"/> Schülerinnen/Schüler       |                                           |

### Tätigkeitsbeschränkungen

- ☐ + Schüler- und Lehrerexperimente sind mit diesen Stoffen ohne Einschränkungen erlaubt
- ☐ - Generelles Tätigkeitsverbot an Schulen
- ☐ S Tätigkeitsverbot für Schüler
- ☒ S4 Tätigkeitsverbot für Schüler bis einschließlich Jahrgangsstufe 4
- ☐ S9 Tätigkeitsverbot für Schüler bis einschließlich Jahrgangsstufe 9
- ☐ w Tätigkeitsverbot für gebärfähige Frauen, werdende und stillende Mütter
- ☐ ESP Besondere Ersatzstoffprüfung erforderlich

### Versuchsbeschreibung/Vorgehensweise:

Konzentrierte Schwefelsäure wird in einem Wasserbad erhitzt. Zur Schwefelsäure wird wenig  $\text{CaF}_2$  gegeben. Das RG wird vorsichtig geschwenkt.

**Tätigkeit/Experiment mit Gefahrstoffen oder Tätigkeit/Experiment, bei dem/der Gefahrstoffe entstehen oder freigesetzt werden können?**

Ja

## Gefahrstoffe

|               |                                                                                   |         |                                                 |
|---------------|-----------------------------------------------------------------------------------|---------|-------------------------------------------------|
| Gefahrstoff   | Schwefelsäure                                                                     |         |                                                 |
| Kennzeichnung |  |         |                                                 |
| Signalwort    | <b>Gefahr</b>                                                                     |         |                                                 |
| H-Sätze       | H290, H314                                                                        | P-Sätze | P280, P301+P330+P331, P305+P351+P338, P308+P310 |

## Gefährdungsbeurteilung

### Die Möglichkeiten einer Substitution sind geprüft?

Ja Ergebnis der Substitutionsprüfung  
Keine Substitution möglich; Standardnachweisversuch

### Bestehen Gefahren durch Einatmen?

Ja Beurteilung dieser Gefährdung:  
Durch Erhitzen der Schwefelsäure können ätzende Gase austreten. Arbeit im Abzug.

### Bestehen Gefahren durch Hautkontakt?

Ja Beurteilung dieser Gefährdung:  
Schwefelsäure ist ätzend. Arbeit mit Schutzhandschuhen.

### Besteht eine Brand- und/oder Explosionsgefahr?

Nein

## Ergebnis/Maßnahmen

|                                                              |                                                                                     |                                                                                     |                                                                                     |                                                                                     |                                                                                       |                                                                                       |
|--------------------------------------------------------------|-------------------------------------------------------------------------------------|-------------------------------------------------------------------------------------|-------------------------------------------------------------------------------------|-------------------------------------------------------------------------------------|---------------------------------------------------------------------------------------|---------------------------------------------------------------------------------------|
| Mindeststandards<br>DGUV 113-018<br>§8 GefStoffV<br>TRGS 500 |  |  |  |  |  |  |
|                                                              | Schutzbrille                                                                        | Schutz-Handschuhe                                                                   | Abzug                                                                               | geschlossenes System                                                                | Brandschutzmaßnahmen                                                                  | Lüftungsmaßnahmen                                                                     |
| <input checked="" type="checkbox"/>                          | <input checked="" type="checkbox"/>                                                 | <input checked="" type="checkbox"/>                                                 | <input checked="" type="checkbox"/>                                                 | <input type="checkbox"/>                                                            | <input type="checkbox"/>                                                              | <input type="checkbox"/>                                                              |

## Eigenständigkeitserklärung

Hiermit bestätige ich, Mario Haas, dass ich die vorliegende Arbeit selbständig verfasst und keine anderen als die angegebenen Quellen sowie Hilfsmittel benutzt habe. Die Stellen der Arbeit, die dem Wortlaut oder dem Sinn nach anderen Werken (dazu zählen auch Internetquellen) entnommen sind, wurden unter Angabe der Quelle kenntlich gemacht.

Karlsruhe, 01.06.2020