

18.5 Aus Alkenen werden Kunststoffe

Experimentelle Ermittlung des Gehalts an Hydrogenchlorid (HCl) in Polychlorethen (Polyvinylchlorid, PVC); ein Schülerinnen- und Schüler-Experiment (Baars)**Vorbemerkungen / Hinweise**

Polychlorethen, PVC, ist aus unserem Alltag nicht wegzudenken, auch wenn der Kunststoff ökologisch bedenklich ist. Zum einen enthalten PVC-Produkte schädliche Weichmacher und zum andern entsteht bei der Verbrennung von PVC Hydrogenchlorid (HCl; «saurer Regen»), das unter grossem Aufwand abgesondert werden muss. Die hier beschriebenen Experimente bieten den Schülerinnen und Schülern (S+S) die Gelegenheit, durch Zersetzung von PVC das dabei entstehende Hydrogenchlorid quantitativ nachzuweisen. Bereits bekannte Phänomene können dabei repetiert, geübt und mit neuen Erkenntnissen verknüpft werden:

- Ungesättigte Kohlenwasserstoffe
- Polymerisate
- Thermoplaste
- saure und basische Lösungen
- Löslichkeit von Salzen
- Stoffmengenkonzentration
- Titration

Die Versuche lassen sich mit einer (Halb-) Klasse im Labor durchführen.

Arbeitsmaterialien für die Versuche V1 und V2

Brenner, Dreifuss und Drahtnetz mit Keramikauflage; 100-ml-Becherglas; 50-ml-Bürette; 100-ml-Erlenmeyerkolben; 200-ml-Messzylinder; 50-ml-Messzylinder; Reagenzgläser; Trichter für die Titration; 2 250-ml-Waschflaschen; Gummischläuche; Tiegelfange; Rührgerät mit Rührfisch; Messgerät zur elektrischen Leitfähigkeit mit Stromkabel; 3 Stative mit 4 Doppelmuffen und 3 Stativklammern; Vakuumpumpe; Waage

Chemikalien

Die H-Sätze findet man unter www.hep-verlag.ch/chemie-zusatzmaterial-lehrpersonen: «Sicherer Umgang mit Chemikalien, Mikroorganismen und Strahlenquellen an Schulen», Anhang C S. 58ff

Natronlauge, NaOH(aq); $c = 0.1 \text{ mol/l}$
H290 H315 H319



Salzsäure, HCl(aq)
H290 H315 H319 H335



Silbernitrat-Lösung, AgNO₃(aq)
H290 H315 H319 H410



Aluminiumfolie, Al(s)

Lackmuslösung

PVC (Pulver)

Universalindikator

V1 Zersetzung von Polychlorethen (PVC)

Sicherheitsvorschriften

Labormantel und Schutzbrille tragen

Versuchsbeschreibung

Man gibt ein Gramm PVC-Pulver auf eine Aluminium-Folie, die locker über einen Glastrichter gestülpt wird. Damit das Absaugen möglich ist (Luftzufuhr), wird auf ein zu dichtes Anliegen der Alufolie am Trichter verzichtet. Der Trichter wird an einem Stativ so befestigt, dass er knapp über dem auf einem Dreifuss liegenden Keramikdrahtnetz liegt. Gummischläuche und zwei Waschflaschen mit je 200 ml dest. Wasser verbinden den Glastrichter mit einer Vakuumpumpe. Den Schlauch zur ersten Waschflasche fixiert man senkrecht über dem Trichter noch mit einer Doppelmuffe (Schutz vor der Brennerflamme).



Versuchsvorrichtung

Durch starkes Erhitzen (Heizflamme) zersetzt man das PVC in der Alufolie und saugt mit der Vakuumpumpe die Abgase durch die beiden Waschflaschen. Die Pumpe soll nicht zu stark eingestellt sein, damit sich die Verbrennungsprodukte gut im Wasser lösen können. Der Versuch ist dann beendet, wenn das PVC verkohlt ist (vorsichtiger Blick mithilfe einer Tiegelflange auf das PVC).

Anschließend schüttet man den Inhalt der beiden Waschflaschen in ein Becherglas.

Von der Lösung gibt man je einige ml in zwei Reagenzgläser. Den Inhalt des einen Glases versetzt man mit einigen Tropfen einer Silbernitrat-Lösung, den Inhalt des anderen Glases mit wenigen Tropfen Universalindikator.

In einem kleinen Becherglas testet man die Lösung auf elektrische Leitfähigkeit.

Entsorgung

Die Silbernitrat-Lösung gibt man zu den Silberabfällen, die Alufolie mit dem PVC-Rest in den Hausmüll. Die Lösung aus den Waschflaschen wird für V2 verwendet.

Beobachtung und Interpretation

Notieren Sie sich alle Beobachtungen und lösen Sie dann folgende Aufgaben:

Aufgaben:

- Welche Bedeutung haben elektrische Leitfähigkeit und Farbveränderung des Universalindikators für die Lösung?
Welches Produkt wird bei der Zersetzung von PVC entstanden sein (vgl. auch Abschnitt 18.5 im Lehrbuch «Chemie für das Gymnasium»)?
Formulieren Sie die Reaktionsgleichung dieses Produkts mit Wasser.
- Welcher Nachweisreaktion dient Silbernitrat AgNO_3 ? (Orientieren Sie sich z. B. an der «Liste von Nachweisreaktionen», Wikipedia.)
Formulieren Sie die entsprechende Reaktionsgleichung.

Zu Beobachtung und Interpretation

Die S+S beantworten die Fragen in ihrer Versuchsvorschrift, bevor sie im Klassenverband besprochen werden.

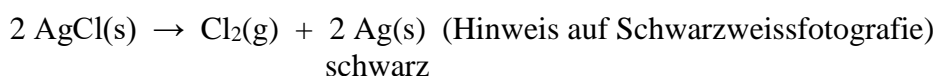
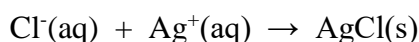
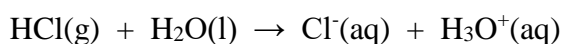
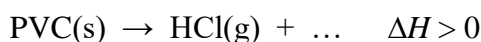
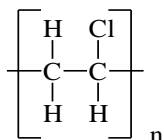
Informationen für die Lehrperson:

Das destillierte Wasser in den Waschflaschen färbt sich schwach gelb. Die Lösung leitet den elektrischen Strom, färbt den Universalindikator rot und ergibt mit der Silbernitrat-Lösung einen weissen Niederschlag, der allmählich dunkel wird. Die gelben Verfärbungen stammen von Zersetzungsprodukten der PVC-Weichmacher.

Es handelt sich um eine saure Lösung (elektrische Leitfähigkeit → Ionen und Universalindikator rot) und die Silber-Ionen der Silbernitrat-Lösung weisen durch die Bildung von schwerlöslichem Silberchlorid (Löslichkeit: 1.88 mg/l bei 25 °C), das sich am Licht zersetzt, Chlorid-Ionen nach.

→ Beim starken Erhitzen von PVC hat sich Hydrogenchlorid (HCl) gebildet, das als Säure mit Wasser reagiert.

Ausschnitt aus einem PVC-Molekül (Tabelle 18.1):



V2 Bestimmung des Gehalts an Hydrogenchlorid durch Titration (Neutralisation; Abschnitt 14.7)

Sicherheitsvorschriften

Labormantel und Schutzbrille tragen

Versuchsbeschreibung

Eine 50-ml-Bürette wird mit Natronlauge, $c = 0.1 \text{ mol/l}$, gefüllt. Die obere Öffnung der Bürette samt Trichter soll dabei unter Augenhöhe sein (z. B. Bürette auf den Boden stellen), um die Augen zu schützen. Unter die Bürette stellt man ein Becherglas, um eventuell überlaufende Natronlauge aufzufangen.

In einen 100-ml-Erlenmeyerkolben gibt man 20 ml der Lösung von V1 sowie einige Tropfen Lackmuslösung und neutralisiert mit Natronlauge $c = 0.1 \text{ mol/l}$ bis zum Farbumschlag des Indikators. Die dabei verbrauchte Menge an Lauge wird notiert. Die Titration wird insgesamt dreimal durchgeführt, um einen guten Mittelwert zu erhalten (vgl. Abschnitt 14.7).

Entsorgung

Überschüssige Natronlauge und HCl-Lösung kommen zu den basischen/sauren Abfällen.

Beobachtung und Interpretation

Beantworten Sie folgende Fragen:

Aufgaben

- Welche Konzentration besitzt die Lösung des Reaktionsprodukts von V1 in mol/Liter?
- Wie viel Gramm Hydrogenchlorid sind in den 400 g der Lösung und damit in einem Gramm PVC enthalten?
- Wie gross ist die molare Masse von PVC (Abschnitt 18.5)?
- Wie gross ist die theoretische Masse an Hydrogenchlorid in 1 g PVC? Vergleichen Sie diesen Wert mit dem Ergebnis der Titration. Wie erklärt sich der Unterschied?

Zu Beobachtung und Interpretation

Die S+S berechnen die Konzentration der Lösung von Hydrogenchlorid und damit die Masse an reinem HCl in einem Gramm PVC, gemäss den Fragen in der Versuchsvorschrift.

Informationen für die Lehrperson:

Da es sich um die Lösungen einer starken Säure (HCl) und einer starken Base $[\text{OH}^-(\text{aq})]$ handelt, liegt der Äquivalenzpunkt bei $\text{pH} = 7$. Deshalb ist eine Lackmuslösung als Indikator geeignet (Abb. 14.19 und Exkurs 14.10).

Für die Berechnung der Konzentration der Lösung gilt:

$V(\text{HCl})$: Das für die Titration verwendete Volumen der sauren Lösung: $V(\text{HCl}) = 20 \text{ ml}$

$V(\text{NaOH})$: Das bei der Titration ermittelte Volumen der basischen Lösung: $V(\text{NaOH})$

$c(\text{NaOH})$: Die Konzentration der basischen Lösung: $c = 0.1 \text{ mol/l}$

$c(\text{HCl})$: Die gesuchte Konzentration (Stoffmengenkonzentration c) der sauren Lösung in mol/l

Mit $V(\text{HA}) \cdot c(\text{HA}) = V(\text{B}) \cdot c(\text{B})$ erhält man:

$$c(\text{HA}) = \frac{V(\text{B}) \cdot c(\text{B})}{V(\text{HA})} \quad \rightarrow \quad c(\text{HCl}) = \frac{V(\text{NaOH}) \cdot c(0.1)}{20} \text{ mol/l}$$

Mithilfe der Stoffmengenkonzentration in mol/l lässt sich die Masse m von HCl in 400 ml Lösung berechnen (Massenkonzentration β):

$c(\text{HCl})$ in mol/l \rightarrow Masse von HCl in 1 Liter Lösung: $\beta(\text{HCl}) = M(\text{HCl}) \cdot c(\text{HCl})$ g/l

Masse m von HCl in 400 ml Lösung:

$$\frac{\beta(\text{HCl}) \text{ g}}{\text{ll}} = \frac{m(\text{HCl})}{0.4 \text{ l}} \quad m(\text{HCl}) = \frac{\beta(\text{HCl}) \text{ g} \cdot 0.4 \text{ l}}{\text{ll}} \text{ g (in 0.4 l Lösung)}$$

Das Ergebnis vergleicht man mit der theoretischen Masse von HCl in einem Gramm PVC:

$M(\text{PVC}) = 62.50$ g/mol

In 62.5 g PVC sind $m = 36.46$ g HCl

in 1 g PVC die Masse m in g

$$\frac{36.46 \text{ g}}{62.50 \text{ g}} = \frac{m}{1 \text{ g}} \quad m = \frac{36.46 \text{ g} \cdot 1 \text{ g}}{62.50 \text{ g}} \quad m = 0.58 \text{ g HCl in 1 g PVC}$$

Der experimentell ermittelte Wert ist kleiner als 0.58 g, da das PVC noch Weichmacher enthält und im Experiment nicht alles frei werdende HCl in den 0.4 l (400 ml) dest. Wasser gelöst wird.