

## Recyclieren und Entsorgen als Thema einer Unterrichtsstunde

WOLFGANG PROSKE, VOLKER WISKAMP

Fachhochschule Darmstadt, FB Chemische Technologie,  
64289 Darmstadt

*Der Chemielehrer kann seinen Schülern nur glaubhaft vermitteln, daß Chemie und Umweltschutz keine Gegensätze sind, sondern daß – im Gegenteil – Umweltschutz ohne Chemie unmöglich ist, wenn er in seinem Verhalten gegenüber der Umwelt vorbildlich ist, das heißt zum Beispiel, wenn er sich selbst um die fachgerechte Aufbereitung aller in seinem Unterricht anfallenden Versuchsreste kümmert. Dies nach dem Unterricht zu tun, ist aus rein ökologischer Sicht zwar in Ordnung, aber didaktisch nicht sinnvoll, da die Schüler davon nichts erfahren. Deshalb schlagen wir ein anderes Vorgehen vor.*

### Konzeption

Der Lehrer legt ein Sortiment von korrekt beschrifteten Gefäßen geeigneter Größe an und sammelt darin getrennt solche Versuchsreste, die sich – wenn eine ausreichende Portion zusammengekommen ist – mit schulischen Mitteln einfach aufbereiten lassen. Darunter verstehen wir:

- Durchführen chemischer Reaktionen mit dem Ziel, einen Stoff zu gewinnen, der weiterverwendet werden kann,
  - Entgiften, so daß kanalisiert werden kann,
  - Prüfen auf direkte Weiterverwendbarkeit.
- Am Ende eines Kurses nimmt sich der Lehrer eine Doppelstunde Zeit, stellt alle oder einige ausgewählte Versuchsreste auf den Experimentiertisch und fragt die Schüler: „Das sind die Versuchsreste, die wir in diesem Kurs produziert haben. Was machen wir jetzt damit?“ Dann wendet er sich einem Rest nach dem anderen zu und erläutert kurz des-

sen Herkunft. Er wiederholt die mit dem betreffenden „Herkunfts-Versuch“ früher vermittelten Lerninhalte und fordert die Schüler dann auf, dazu ihr chemisches Wissen in den Dienst des Umweltschutzes zu stellen (Transferleistung, Spiralcurriculum). Schließlich führt der Lehrer – möglichst von den Schülern assistiert – die Aufarbeitungsschritte durch.

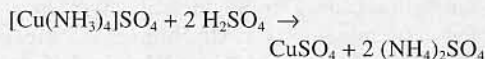
Am Schluß der Stunde haben die Schüler gelernt, daß Umweltschutz Chemie ist, und der Lehrer ist zufrieden, weil er seiner Vorbildfunktion gerecht wurde und aus der Not einer zeitaufwendigen Entsorgungsaktion die Tugend einer attraktiven Schulstunde gemacht hat. Der Umwelt ist gedient, da aus Resten keine Abfälle, sondern Werkstoffe geworden sind; und dem Budget der Schule kommt zugute, daß Entsorgungskosten gespart wurden.

### BEISPIELE

#### Reste von $[\text{Cu}(\text{NH}_3)_4]^{2+}$

Der tiefblaue Komplex entsteht beim qualitativen Kupfer-Nachweis. Weiterhin kann der Gehalt einer Lösung von  $\text{Cu}^{2+}$ -Ionen anhand der Intensität der Farbe bestimmt werden (Lambert-Beersches Gesetz, Kolorimetrie, Fotometrie).

Die Lösung wird mit ausreichend Schwefelsäure versetzt, bis die tiefblaue Farbe verschwunden ist. Durch die Protonierung der Ligandmoleküle wird der Komplex zerstört:



Die jetzt blaue, leicht saure Kupfersulfatlösung, die außerdem Ammoniumsulfat enthält (und nicht mehr nach Ammoniak riecht), wird mit Eisenpulver (500 mg pro 1 g  $\text{CuSO}_4 \cdot 5 \text{H}_2\text{O}$ ) versetzt und mit einem Flügelrührer (keinem Magnetrührer) gerührt. Das unedle Eisen zementiert das edlere Kupfer (vgl. elektrochemische Spannungsreihe):



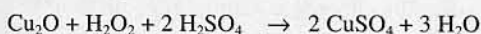
So werden in der Lösung die giftigen  $\text{Cu}^{2+}$ -

Ionen gegen die ungiftigen  $\text{Fe}^{2+}$ -Ionen ausgetauscht. Gleichzeitig wird mittels des billigen Eisens das wertvollere Halbedelmetall Kupfer gewonnen (vgl. technische Cu-Gewinnung). Nach 30 - 40 min ist die Kupfer-Abscheidung vollständig. Die Lösung wird abdekantiert und wegschüttet, das abgesetzte Rohkupfer zuerst mit verdünnter Salzsäure gewaschen, um noch anhaftendes Eisen oxidativ zu lösen, dann mit Wasser gewaschen, auf Filterpapier an der Luft getrocknet und später im Unterricht weiterverwendet.

### Reste aus Fehlingproben

Bei der Fehlingprobe wird mit Tartrat komplexiertes, gelöstes zweiwertiges Kupfer von einem Aldehyd zum einwertigen Kupfer reduziert, das im alkalischen Medium als Kupfer(I)-oxid ausfällt. (Gelegentlich geht die Reduktion über einwertiges Kupfer hinaus, so daß der Niederschlag etwas elementares Kupfer enthalten kann.)

Der Niederschlag wird abfiltriert und mit Wasser gewaschen. Das Filtrat wird zu den schwermetallhaltigen Abfällen gegeben, da es noch etwas Kupfer enthält, dessen weitere Aufbereitung aber wegen des hohen Gehaltes der Lösung an Tartrat mit einem unverhältnismäßig hohen Aufwand verbunden wäre. Der Filtrerrückstand wird jetzt nicht wie die Lösung des Kupfertetramminkomplexes reduktiv zu elementarem Kupfer, sondern oxidativ zu Kupfersulfat aufbereitet, womit der Lehrer eine andere Recycling-Methode vorstellen kann. Der Niederschlag wird tropfenweise mit einer 1:1-Mischung aus 5%iger Schwefelsäure und 30%iger Wasserstoffperoxidlösung versetzt:



bzw.



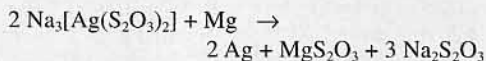
(Vorsicht! Durch kupferkatalysierte Zersetzung des Wasserstoffperoxids kann es zum Schäumen kommen!)

Die Kupfersulfatlösung wird kurz aufgeköcht, um überschüssiges Wasserstoffperoxid

zu zerstören, und kann dann weiterverwendet werden. (Falls eine Resttrübe bleibt, wird filtriert.)

### Aufbereitung eines Fixierbades

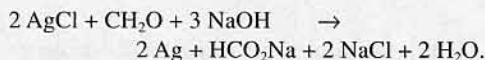
Der Lehrer wiederholt Prinzipien der Schwarz-Weiß-Fotografie und erklärt, daß das von ihm gesammelte Fixierbad den farblosen Komplex  $[\text{Ag}(\text{S}_2\text{O}_3)_2]^{3-}$  enthält. Die Gewinnung des Edelmetalls Silber durch Zementation ist einfach. Das Bad wird mit Magnesium-Gries versetzt und die Suspension gerührt. Schnell bildet sich feinteiliges und deshalb schwarzes Silber.



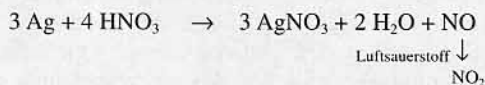
Die Abscheidung ist meist erst nach einigen Stunden quantitativ, so daß die Isolierung des Silbers in der Unterrichtsstunde kaum möglich ist. Der Lehrer sollte deshalb darauf hinweisen, daß er am nächsten Tag die überstehende Lösung vom abgesetzten Silber abdekantiert und wegschüttet (falls eine Probe, versetzt mit einem Tropfen  $\text{Na}_2\text{S}$ -Lösung, keinen schwarzen Silbersulfid-Niederschlag gibt), das Rohsilber mit Wasser und etwas Salzsäure wäscht, um anhaftendes Magnesium oxidativ zu lösen, und es an der Luft trocknet (vgl. die oben beschriebene Cu-Gewinnung durch Zementation mittels Eisen). In der nächsten Stunde zeigt der Lehrer den Schülern dann das isolierte Silber.

### Restliches Silberchlorid

Bei qualitativen und quantitativen Silber- bzw. Chlorid-Bestimmungen anfallendes Silberchlorid wird gesammelt, wobei darauf zu achten ist, daß das überstehende Wasser im Sammelgefäß immer leicht salzsauer ist. Bei längerem Stehen koaguliert der Niederschlag sehr gut, so daß die überstehende Lösung nur abdekantiert zu werden braucht. Nach dem Waschen mit Wasser wird das (oberflächlich schwarze) Silberchlorid in 5 %iger Natronlauge suspendiert und tropfenweise mit 30 %iger Formaldehydlösung versetzt:

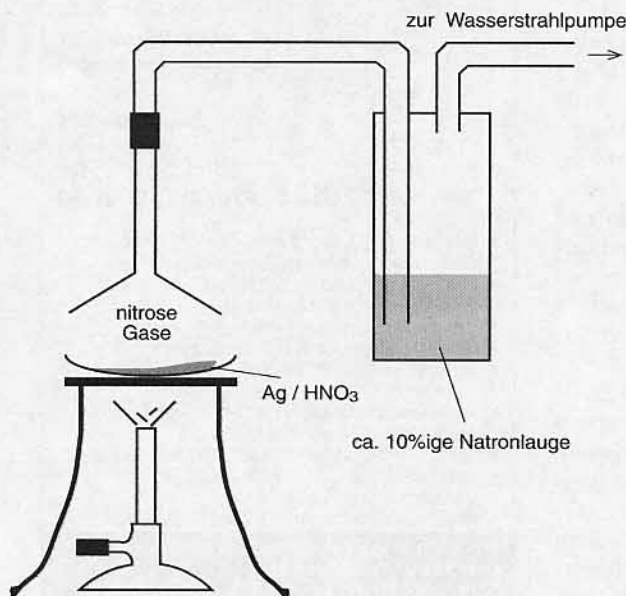


Die Silbersuspension wird kurz aufgekocht, wobei das Metall koaguliert, sich gut isolieren und mit Wasser waschen läßt (Dekantieren). (Das Abwasser wird mit einem Löffel pulverförmiger Aktivkohle und unter Rühren mit einigen Millilitern 30 %iger Wasserstoffperoxidlösung versetzt, um den überschüssigen Formaldehyd oxidativ zu zerstören. Es wird kurz aufgekocht und filtriert. Das Filtrat wird verworfen, der Filterrückstand mit dem Papier zu den Feststoffabfällen gegeben.) Das feuchte Silber wird in einer Porzellanschale unter dem Abzug durch Zutropfen der gerade nötigen Portion konzentrierter Salpetersäure aufgelöst:



Der Lehrer kann den Versuch um den Aspekt Luftreinigung durch Gaswäsche ergänzen, indem er die nitrosen Gase mittels einer Wasserstrahlpumpe über einen oberhalb der Abdampfschale positionierten Glasrichter in eine Waschflasche mit ca. 10 %iger Natronlauge saugt und dort absorbiert (s. Abb.).

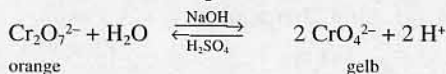
Die Silbernitratlösung wird wegen ihrer



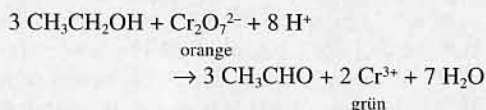
Lichtempfindlichkeit in einer Braunglasflasche aufbewahrt. (Falls eine Resttrübe bleibt, wird filtriert.)

### Chromhaltige Reste

Kaliumdichromat wird gelegentlich noch im Unterricht benutzt, um ein Hydrolyse-/Kondensations-Gleichgewicht zu demonstrieren:



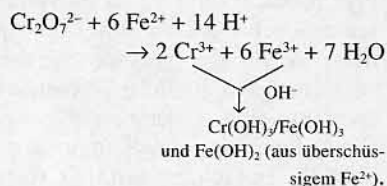
oder um Alkohole nachzuweisen (Jones-Oxidation), zum Beispiel:



Beide Versuchsreste sind nicht mehr verwendbar. Der erste ist wegen der NaOH/H<sub>2</sub>SO<sub>4</sub>-Zugaben zu salzhaltig, der zweite organisch belastet.

Folgende Entsorgungsvorschrift hat sich bewährt: Die gesammelten Reste werden leicht schwefelsauer gestellt und mit einem Überschuß an Eisen(II)-sulfatlösung (kann alt sein und etwas dreiwertiges Eisen in gelöster oder niedergeschlagener Form enthalten) versetzt.

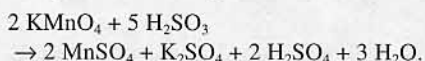
Nach dieser auch in der Abwassertechnik üblichen Methode wird hochtoxisches sechswertiges Chrom zu mindergiftigem dreiwertigen reduziert. Anschließend wird mit Ammoniak ein pH-Wert von 8 - 9 eingestellt, so daß die Übergangsmetallkationen als Oxidhydrate ausflocken:



Es wird filtriert. Das farblose, chromfreie Filtrat wird weggeschüttet, der Filterkuchen zu den Feststoffabfällen gegeben.

## Permanganathaltige Reste

Wenn eine Kaliumpermanganatlösung einen braunen Niederschlag aufweist (Zersetzung zu Braunstein und Sauerstoff), ist sie für quantitative Versuche nicht mehr geeignet. Das wegen seiner stark oxidierenden Wirkung giftige, violette Permanganat wird mit schwefliger Säure in ungiftiges, farbloses Mangansulfat übergeführt:



Die Zugabe der schwefligen Säure sollte langsam erfolgen, es sollte faktisch titriert werden, so daß der Überschuß an leicht wassergefährdendem  $\text{SO}_2$  in der Reaktionslösung möglichst gering ist. Durch anschließenden Zusatz eines Tropfens Wasserstoffperoxidlösung wird der Überschuß an Schwefeldioxid zu Schwefelsäure oxidiert, so daß das Abwasser weggeschüttet werden darf. (Korrekt, aber im Unterricht sicherlich nicht unbedingt erforderlich, ist es, die „autitrierte“ Lösung mit Natronlauge alkalisch zu machen, um Manganoxidhydrate auszufällen und abzufiltrieren.)

## Klebriger Phosphor

Nicht selten kommt es vor, daß roter Phosphor klebrig wird, wenn er nicht luftdicht verschlossen aufbewahrt wird. Dieses Phänomen kann den Schülern folgendermaßen erklärt werden: An der Luft bildet roter Phosphor langsam  $\text{P}_4\text{O}_{10}$ . Dieses sehr hygroskopische Oxid zieht Luftfeuchtigkeit an und geht dabei in Oligo- und Polyphosphorsäuren und schließlich in ortho-Phosphorsäure über, welche die gesamte Substanzportion verkleben. Schulübliche Verbrennungsversuche funktionieren dann nicht mehr.

Die Aufbereitung eines pampigen roten Phosphors ist einfach. Er wird mit Wasser gewaschen, um die Phosphorsäuren abzulösen, abgesaugt und in einen Exsikkator mit wasserfreiem Calciumchlorid gelegt. In der nächsten Woche kann der Lehrer seinen Schülern den trockenen, pulvrigen Phosphor zeigen.

## Gehaltsbestimmung von Rest-Lösungen

Es läßt sich nicht vermeiden, daß in der Schule immer wieder Reste von Säuren, Laugen und Salzlösungen übrig bleiben. Diese brauchen nicht entsorgt zu werden, sondern können problemlos weiterverwendet werden, wenn ihr genauer Gehalt bekannt ist. Diesen kann der Lehrer im Unterricht ermitteln und dabei gleichzeitig Grundlagen der Maßanalyse wiederholen. Er kann zum Beispiel den Gehalt einer restlichen Salzsäure alkalimetrisch (mit  $\text{NaOH}$ -Maßlösung), den einer gebrauchten Natronlauge entsprechend acidimetrisch (mit  $\text{HCl}$ -Maßlösung) oder den einer alten Calciumchlorid-Lösung komplexometrisch (mit EDTA-Maßlösung) bestimmen. Die Schüler lernen dadurch, die quantitative Analyse für den Umweltschutz – hier die Qualitätskontrolle von Resten zwecks späterer Weiterverwertung – zu nutzen.

*Wir danken der Deutschen Bundesstiftung Umwelt für die finanzielle Unterstützung der hier beschriebenen experimentellen Arbeiten.*