

# FWU - Schule und Unterricht/Arbeitsvideo

VHS 42 02993 17 min, Farbe



## **Einfache Chemie in der Industrie**

Schwefel und Schwefelsäure -  
Ammoniak und Dünger

**Arbeitsvideo** / 2 Kurzfilme



## **Lernziele**

*Die Schüler sollen:*

- Eine chemische Gleichung herleiten können;
- Die Produktionsschritte der Schwefelsäureherstellung kennen;
- Die Produktionsschritte der Düngersynthese kennen;
- Einen Einblick in das Haber-Bosch-Verfahren und die Problematik der reversiblen Reaktion haben;

## **Vorkenntnisse**

*Die Schüler sollten:*

- Das Teilchenmodell kennen;
- Ein Konzept von den Vorgängen bei einer Verbrennung haben

## **Zum Inhalt**

### **1. Schwefel und Schwefelsäure**

Reiner Schwefel kommt in der Natur in großen Lagerstätten in der Erde vor. Wie kann man aus ihm die industriell meist genutzte Chemikalie, die Schwefelsäure herstellen?

Der Film zeigt in kurzen Versuchen, dass beim schwachen Erhitzen Schwefel zu einer gelben Flüssigkeit schmilzt. Erhitzt man ihn stärker, so wird er dunkelbraun und zähflüssig. Verbrennt man ihn, so reagiert er mit dem Sauerstoff aus der Luft - er oxidiert. Hängt man den brennenden Schwefel in ein Gefäß mit reinem Sauerstoff, so läuft die Oxidation heftiger ab. Der Schwefel brennt mit einer blauen Flamme. Es entsteht ein weißer Rauch aus Schwefeldioxid. Animationen zeigen das Geschehen auf Teilchenebene: Es reagiert ein Schwefelatom mit Sauerstoff, der in der Luft als  $O_2$  vorkommt. Durch das Verbrennen wird eine Reaktion ausgelöst, bei der sich die Atome neu kombinieren. Es entsteht ein Molekül, das aus einem Schwefelatom und zwei Sauerstoffatomen besteht.

Auch in der chemischen Industrie ist diese Reaktion der erste Schritt zur Herstellung der Schwefelsäure. Der Schwefel kommt flüssig und heiß in großen Tanks an. Er wird in einen Ofen gesprüht und darin in einem Strom trockener Luft verbrannt, also oxidiert. Schwefel reagiert mit Sauerstoff zu Schwefeldioxid (Reaktionsgleichung).

Durch große Rohre wird das Schwefeldioxid vom Ofen in den so genannten Kontaktkessel geleitet, wo das Schwefeldioxid weiter oxidiert werden soll. An jedes Schwefeldioxid-Molekül muss noch ein Sauerstoffatom angelagert werden. Sauerstoff kommt in der Luft aber als  $O_2$  vor. Bei der Reaktion wird das  $O_2$ -Molekül aufgebrochen, so dass ein einzelnes Sauerstoff-Atom sich an das Schwefeldioxid anlagern kann.

Was passiert mit dem übrigen Sauerstoffatom, das ja nicht einfach einzeln vorliegen kann? Es lagert sich an ein weiteres Schwefeldioxidmolekül an. Die Animation zeigt, dass immer zwei Schwefeldioxidmoleküle mit einem Sauerstoffmolekül reagieren müssen, damit Schwefeltrioxid entsteht.

Von allein läuft diese Reaktion nicht ab. Man erzwingt sie durch eine hohe Temperatur von  $450^\circ C$  und einen Katalysator aus Vanadiumpentoxid. Eine Animation zeigt, wie an seiner Oberfläche zwei Schwefeldioxidteilchen mit einem Sauerstoff-Molekül zu zwei Schwefeltrioxid-Molekülen reagieren. Der Film erklärt, dass die Reaktion bei zu hoher Temperatur auch in die andere Richtung verlaufen kann und führt den Begriff „reversibel“ ein. In der Steuerzentrale der Fabrik wird darauf geachtet, dass stets die optimale Reaktionstemperatur herrscht, damit möglichst viel Schwefeltrioxid entsteht.

Dies wird dann im letzten Schritt in einen Reaktionsturm eingeleitet. Hier strömt das

Schwefeltrioxidgas durch eine wässrige Lösung aus bereits gebildeter Schwefelsäure. Die Animation zeigt die beteiligten Teilchen: Ein Schwefeltrioxid-Molekül reagiert formal mit einem in der Lösung enthaltenen Wasserteilchen und bildet ein Schwefelsäuremolekül:  $\text{H}_2\text{SO}_4$ .

Schwefelsäure besteht zu 98% aus Schwefelsäuremolekülen und kommt als konzentrierte Schwefelsäure in den Handel. Schwefelsäure ist die meist verwendete Chemikalie in der chemischen Industrie. Der Film führt verschiedene Beispiele auf, wie die Erdölverarbeitung, die Kunststoffindustrie und die Herstellung von Farben. Sie findet auch Anwendung als Entwässerungsmittel für andere Chemikalien, da sie ein großes Bestreben hat, Wasser zu binden. Es wird die Verkohlung von Zucker durch Schwefelsäure gezeigt. Wegen dieser entwässernden Wirkung und da sie als starke Säure selbst Metalle verätzt, ist im Umgang mit Schwefelsäure besondere Vorsicht geboten.

## 2. Ammoniak und Dünger

Pflanzen benötigen Stickstoff, um wachsen zu können. Der Stickstoff, den die Pflanzen dem Boden entzogen haben, muss ihm wieder zugeführt werden. Eine Möglichkeit hierfür ist, ein stickstoffhaltiges Salz als Dünger auszubringen, das Ammoniumnitrat. Die großen Mengen, die in der konventionellen Landwirtschaft benötigt werden, stellt man heute industriell her. Ausgangsstoffe für diese Synthese sind Ammoniak und Salpetersäure. Wie erhält man diese Ausgangsstoffe?

Ammoniak ist ein farbloses, stechend riechendes Gas mit der chemischen Formel  $\text{NH}_3$ . Der Film erläutert, dass die einzelnen Moleküle aus einem Atom Stickstoff, an das drei Atome Wasserstoff gebunden sind, be-

stehen. Für die Herstellung von Ammoniak werden also die Elemente Stickstoff und Wasserstoff benötigt.

Stickstoff bildet vier Fünftel unserer Luft und besteht aus  $\text{N}_2$ -Molekülen. In jedem Molekül sind also zwei Stickstoffatome fest miteinander verbunden. Wasserstoff ist ein sehr flüchtiges Gas, das ebenfalls aus zweiatomigen Molekülen  $\text{H}_2$  besteht.

Um Ammoniak herzustellen, lässt man das Gas Stickstoff und das Gas Wasserstoff in einem Druckbehälter miteinander zu Ammoniakgas reagieren:  $\text{N}_2 + \text{H}_2 \rightarrow \text{NH}_3$ .

Eine Animation zeigt die Teilchen und es wird offensichtlich, dass die Gleichung so nicht stimmen kann. Es müssen immer drei Wasserstoffmoleküle mit einem Stickstoffmolekül reagieren, damit Ammoniak entsteht:  $\text{N}_2 + 3\text{H}_2 \rightarrow 2\text{NH}_3$ .

Für das industrielle Verfahren ergibt sich das Problem, das Ammoniak wieder leicht in Wasserstoff und Stickstoff zerfällt. Wie kann man die Ausbeute an Ammoniak erhöhen? Der Film stellt das Haber-Bosch-Verfahren vor, bei dem bei einer Temperatur von  $450^\circ\text{C}$  und einem Druck von 200 atm die maximale Ausbeute erreicht wird.

Um schließlich Ammoniumnitrat und damit den Dünger für die Landwirtschaft zu erhalten, wird Salpetersäure benötigt. Sie wird aus Ammoniak durch Verbrennen in einem Ofen gewonnen. Dabei findet eine Oxidation, eine Reaktion mit Sauerstoff, statt. Auch hierfür wird ein Katalysator benötigt, dessen Wirkung mit einem Versuch verdeutlicht wird: Ein heißer Platindraht hängt über einer Ammoniaklösung. Sein Aufglühen zeigt die Reaktion des verdampfenden Ammoniaks mit Sauerstoff an. Dieses Glühen ist ebenso im Ofen zu sehen, wobei man dort ein mit einer Platinverbindung beschichtetes Netz verwendet.

Über eine Animation wird an dem Geschehen auf Teilchenebene deutlich gemacht, dass es sich um eine Reaktion mit einer komplexeren Gleichung handelt, bei der auch Wasser entsteht. Am Ende wird die komplette Gleichung  $4\text{NH}_3 + 5\text{O}_2 \rightarrow 4\text{NO} + 6\text{H}_2\text{O}$  eingeblendet.

Die weitere Oxidation zu Stickstoffdioxid wird gleich auf Teilchenebene gezeigt und die Reaktionsgleichung entwickelt. Ein Versuch, bei dem zu dem farblosen Stickstoffmonooxid in einer Flasche Sauerstoff eingeleitet wird, wobei das braune Stickstoffdioxid entsteht, zeigt die Reaktion, wie sie das menschliche Auge sieht.

Auch die Reaktion von Stickstoffdioxid mit Sauerstoff und Wasser zu Salpetersäure wird erst auf Teilchenebene gezeigt und dann im Laborversuch nachvollzogen.

Abschließend wird Salpetersäurelösung aus einem Tropftrichter in eine Ammoniaklösung getropft, wobei weißer Rauch aus Ammoniumnitrat entsteht.

### **Zur Verwendung und didaktische Hinweise**

Mit diesen zwei Filmen soll dem Lehrer eine Möglichkeit an die Hand gegeben werden, das Formulieren von chemischen Gleichungen am konkreten Beispiel im Unterricht einzuführen. Dabei kann der Film, was im Unterricht sonst nur schwer möglich ist: Das Geschehen auf Teilchenebene zeigen und so eine unmittelbare Verknüpfung zwischen realer und modellhafter Ebene herstellen. Gedanklich werden dabei die Modellvorstellungen von den Teilchen direkt und logisch verknüpft mit der chemischen Formelsprache, die so selbst erklärend wird.

### **Schwefel und Schwefelsäure**

Auf jeder Schwefelsäure-Flasche steht auch die chemische Formel „ $\text{H}_2\text{SO}_4$ “. Mit Hilfe der Flasche wird die Frage aufgeworfen, wie man Schwefelsäure herstellen kann. Schwefelpulver und Wasser gehören wegen ihrer Ungefährlichkeit meist zu den ersten Chemikalien, die die Schüler in die Hand bekommen. Die Formeln für diese Stoffe sind ihnen daher meist früh bekannt und sie können so das „S“ in  $\text{H}_2\text{SO}_4$  als Schwefel identifizieren und sehen, dass „ $\text{H}_2$ “ und „O“ auch hier zu finden sind. Hiervon abgeleitet sollen die Schüler versuchen, aus Schwefel und Wasser durch Mischen Schwefelsäure herzustellen, was offensichtlich nicht funktioniert. Eine Rückkehr zur Formel „ $\text{H}_2\text{SO}_4$ “ zeigt, dass außerdem nicht genügend Sauerstoff im  $\text{H}_2\text{O}$  vorhanden wäre - weiterer Sauerstoff wird gebraucht.

Den Schülern ist in diesem Unterrichtsstadium die Reaktion mit Sauerstoff als Verbrennung in der Regel bekannt. Somit kann direkt mit dem Film eingesetzt und das schrittweise Erhitzen des Schwefels bis hin zur Verbrennung, bei der Schwefeldioxid entsteht, gezeigt werden.

Tatsächlich liegt Schwefel bei den im Ofen herrschenden Temperaturen von über  $444^\circ\text{C}$  als  $\text{S}_2$ -Moleküle vor. Häufig wird die Reaktionsgleichung auch als  $1/8 \text{S}_8 + \text{O}_2 \rightarrow \text{SO}_2$  angegeben. Dies scheint für das angestrebte Niveau irreführend, weshalb die einfache Variante im Film verwendet wurde.

Die weitere Oxidation des Schwefeldioxid, fordert eine neue Kompetenz im Umgang mit chemischen Gleichungen: Es werden Faktoren notwendig, d.h. es muss ein Ausgleich zwischen den Teilchen vor und nach dem Reaktionspfeil stattfinden. Kleinschrittig leitet der Film die Reaktionsgleichung aus den Kalottenmodellen ab.

Die im Film gezeigten Versuche mit Schwefeldioxid und Schwefeltrioxid sind im Unterricht wegen der Giftigkeit der Gase nicht leicht durchzuführen. Der Film assistiert hier, indem er dem Lehrer die Möglichkeit gibt, den Versuch im Film nochmals zu zeigen oder - notfalls - auch anstelle des Versuches vorzuführen.

Die Reversibilität der Reaktion macht es möglich, den Schülern aufzuzeigen, dass Reaktionen in der Regel auch in die andere Richtung ablaufen können, und die entsprechende Reaktionsgleichung zu formulieren. Das Einführen des Hin-Rück-Pfeiles ist ein nächster Schritt beim Erlernen der chemischen Gleichungs-Sprache.

Beim letzten Reaktionsschritt, der Reaktion des Schwefeltrioxid zur Schwefelsäure, stellt der Film bewusst dem Lehrer frei, ob er das an sich komplexere Reaktionsgeschehen als  $\text{SO}_3 + \text{H}_2\text{O} \rightarrow \text{H}_2\text{SO}_4$  formulieren will, oder nicht. Auf diesem chemischen Niveau scheint es sinnvoll, die Schüler zwar darüber zu informieren, dass die Reaktion eigentlich komplexer abläuft, ihnen aber das Erfolgserlebnis, zum Stundenabschluss endlich die Herstellung der Schwefelsäure als chemische Gleichung erstellen zu können, nicht zu nehmen.

Schwefeltrioxid würde, wenn es einfach durch Wasser geleitet wird, zum größten Teil entweichen und nicht reagieren. Man leitet es daher in konzentrierte Schwefelsäure ein, wo es völlig aufgenommen wird und zur Bildung von Dischwefelsäure  $\text{H}_2\text{S}_2\text{O}_7$  und höheren Polyschwefelsäuren führt. Diesen leitet man Wasser zu, so dass sie dissoziieren und insgesamt die Konzentration der Schwefelsäure konstant bleibt.

## Ammoniak und Dünger

Wurde in der vorhergehenden Stunde mit Hilfe des obigen Filmes das Formulieren einer chemischen Gleichung eingeführt, so bietet dieser Film die Möglichkeit der Vertiefung und Erweiterung.

Die Reaktionsgleichung für die Ammoniak-synthese wird wieder an Kalottenmodellen unmittelbar her geleitet. Die Reversibilität einer Reaktion wird wiederholt, wobei die Schüler ein historisch und technisch wichtiges Verfahren kennen lernen, die Haber-Bosch-Synthese. In diesem Zusammenhang sei darauf aufmerksam gemacht, dass die korrekte chemische Gleichung schrittweise hergeleitet wird, es am Anfang dieses Abschnittes also eine Einblendung gibt, die „ $\text{N}_2 + \text{H}_2 \rightarrow \text{NH}_2$ “ lautet, also nicht richtig ist, wenn man sie aus dem Kontext heraus nimmt.

Die Oxidation des Ammoniaks mit Sauerstoff zu Stickstoffmonooxid bietet die Möglichkeit, eine kompliziertere Reaktionsgleichung herzuleiten, bei der als vorher nicht bekanntes Produkt Wasser entsteht. Der Film ist so gestaltet, dass es dem Lehrer offen bleibt, ob er die Gleichung formulieren lässt, oder nicht. Ansonsten bietet die Reaktion von Stickstoffdioxid mit Sauerstoff weitere Möglichkeit zum Üben.

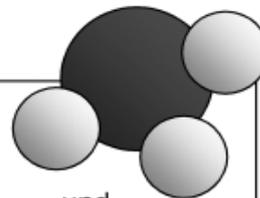
Die Reaktion von Stickstoffdioxid zu Salpetersäure bietet formal die Möglichkeit einer Reaktionsgleichung, bei der mit einem weiteren Edukt ausgeglichen werden muss ( $\text{NO}_2$  kann nicht nur mit  $\text{H}_2\text{O}$  reagieren, es muss auch  $\text{O}_2$  beteiligt sein) und bei der schließlich drei Edukte zu einem Produkt reagieren.

Auch hier wurde der Film so gestaltet, dass der Lehrer diesen Reaktionsschritt als Gleichung formulieren kann, aber nicht muss.

Name: \_\_\_\_\_

Klasse: \_\_\_\_\_

## Vom Ammoniak zum Dünger



### 1. Synthese des Ammoniak

Ammoniak hat die chemische Formel \_\_\_\_\_,  
besteht also aus den Elementen \_\_\_\_\_ und  
\_\_\_\_\_, die als Gase in der Luft vorkommen.

Im \_\_\_\_\_-Verfahren läuft bei einer Temperatur von  
\_\_\_\_\_°C und mit Hilfe eines \_\_\_\_\_ die folgende  
Reaktion ab:

\_\_\_\_\_

### 2. Herstellung der Salpetersäure:

#### 2a. Oxidation des Ammoniak zu Stickstoffmonooxid

Reaktionsgleichung:

\_\_\_\_\_

#### 2b. Oxidation des Stickstoffmonooxid zu Stickstoffdioxid

Reaktionsgleichung:

\_\_\_\_\_

#### 2c. Reaktion zur Salpetersäure

Reaktionsgleichung:

\_\_\_\_\_

### 3. Synthese des Ammoniumnitrat

Zur Herstellung des Ammoniumnitrat wird eine \_\_\_\_\_  
-Lösung in \_\_\_\_\_-Lösung getropft. Hierbei entsteht  
\_\_\_\_\_, der aus Ammoniumnitrat besteht.  
Dieses wird zu Kügelchen geformt und als Dünger auf den Acker ausgebracht.

Tatsächlich läuft auch nicht diese Reaktion ab, sondern zwei Schwefeldioxid dimerisieren zu  $\text{N}_2\text{O}_4$ , das dann mit Wasser und Sauerstoff reagiert.

Die vielfachen Reaktionsschritte, die hintereinander ablaufen, bergen für den Schüler die Gefahr, den Überblick zu verlieren. Dem kann zum Beispiel mit Hilfe des nebenstehenden Arbeitsblattes abgeholfen werden, das auch als Wiederholung oder zur Lernzielkontrolle eingesetzt werden kann.

Natürlich eignen sich die beiden Filme auch, um zwei wichtige industrielle Prozesse im Unterricht der Hauptschule, Realschule oder der Sekundarstufe I des Gymnasiums zu erarbeiten.

Sollen die beiden oben beschriebenen industriellen Prozesse tiefer gehend betrachtet werden, so sei auf die u.g. weiteren Medien des FWU hingewiesen, die auf technische Details, kinetische und thermodynamische Aspekte genauer eingehen.

Anschließend sei bemerkt, dass der Genitiv in den Zwischentiteln absichtlich nicht ganz korrekt verwendet wurde, um zu vermeiden, dass die Schüler sich falsche Substanznamen einprägen (z.B. „Ammoniaks“).

### **Weitere Medien**

- 46 02319 Basiswissen Chemie. Didaktische FWU-DVD 2005
- 42 10312 Die Schwefelsäuresynthese. VHS-Kassette 1994
- 42 10257 Ammoniaksynthese: Der Griff in die Luft. VHS-Kassette 1993
- 42 02527 Salze und Ionenbindung. VHS-Kassette 2000
- 42 10521 Chemische Reaktion und Energie. VHS-Kassette 2005

### **Produktion**

FWU Institut für Film und Bild, 2005  
unter Verwendung von Material aus „Reactions and energy changes“ von Video Education Australasia VEA / Benchmark

### **Animationen**

snag multimedia, München

### **Realisation**

Katja Weirauch

### **Fachberatung**

Dr. Christa Plaß

### **Begleitkarte**

Katja Weirauch

### **Bildnachweis**

snag multimedia, München

### **Pädagogische Referentin im FWU**

Katja Weirauch

**Verleih** durch Landes-, Kreis- und Stadtbildstellen, Medienzentren und konfessionelle Medienzentren

**Verkauf** durch FWU Institut für Film und Bild, Grünwald

Nur Bildstellen/Medienzentren: öV zulässig

© 2005  
FWU Institut für Film und Bild  
in Wissenschaft und Unterricht  
gemeinnützige GmbH  
Geiselgasteig  
Bavariafilmplatz 3  
D-82031 Grünwald  
Telefon (0 89) 64 97-1  
Telefax (0 89) 64 97-2 40  
E-Mail info@fwu.de  
Internet <http://www.fwu.de>



FWU Institut für Film und Bild  
in Wissenschaft und Unterricht  
gemeinnützige GmbH  
Geiseltalstraße  
Bavariafilmplatz 3  
D-82031 Grünwald  
Telefon (0 89) 64 97-1  
Telefax (0 89) 64 97-300  
E-Mail [info@fwu.de](mailto:info@fwu.de)  
Internet <http://www.fwu.de>

**zentrale Sammelnummern für  
unseren Vertrieb:**

**Telefon (0 89) 64 97-4 44**  
**Telefax (0 89) 64 97-2 40**  
**E-Mail [vertrieb@fwu.de](mailto:vertrieb@fwu.de)**

## FWU - Schule und Unterricht /Arbeitsvideo

VHS 42 02993

17 min, Farbe

### Einfache Chemie in der Industrie

Schwefel und Schwefelsäure - Ammoniak und Dünger

#### Arbeitsvideo / 2 Kurzfilme

Alltagsbezug, möglichst wenig Formeln und ein schrittweises Heranführen an die Reaktionsgleichung kennzeichnet diese zwei Kurzfilme. Beginnend mit der Ausgangssubstanz werden die einzelnen Schritte im industriellen Prozess zunächst durch einen Laborversuch vorgestellt. Es folgt die Betrachtung auf Teilchenebene, aus der die Formeln und z. T. die Reaktionsgleichungen hergeleitet werden. Am Ende stehen die Produkte Dünger und Schwefelsäure, deren Bedeutung in unserem modernen Leben kurz beleuchtet wird.

- |                               |          |
|-------------------------------|----------|
| 1. Schwefel und Schwefelsäure | 7:05 min |
| 2. Ammoniak und Dünger        | 8:25 min |

#### Schlagwörter

Schwefel, Schwefelsäure, Ammoniak, Dünger, chemische Gleichung, Haber-Bosch-Verfahren, Schwefeldioxid, Stickstoffdioxid, Salpetersäure, Ammoniumnitrat, Industrie, Katalysator, reversible Reaktion, Säure-Base-Reaktion, Redox-Reaktion.

#### Chemie

Anorganische Chemie • Verbindungen, Redoxreaktionen  
Angewandte Chemie • Technische Chemie, Chemie in Alltag und Umwelt  
Allgemeine Chemie • chemisches Gleichgewicht und seine Beeinflussung

Allgemeinbildende Schulen  
Erwachsenenbildung

GEMA

Alle Urheber- und  
Leistungsschutzrechte  
vorbehalten.  
Nicht erlaubte/genehmigte  
Nutzungen werden zivil- und/oder  
strafrechtlich verfolgt.

**LEHR-  
Programm  
gemäß  
§ 14 JuSchG**