

FWU - Schule und Unterricht

DVD 46 10312 14 min, Farbe



FWU-Klassiker

Die Schwefelsäuresynthese

FWU -
das Medieninstitut
der Länder



Lernziele - nach Lehrplänen und Schulbüchern
Erkennen der großen wirtschaftlichen Bedeutung der Schwefelsäure; Einsicht in den Wandel eines technischen Verfahrens aufgrund des veränderten Rohstoffangebots und der zunehmenden Beachtung der Umweltprobleme; Überblick über das Doppelkontaktverfahren; Einblick in die Verwendung der Schwefelsäure; Verständnis für die Notwendigkeit und Einblick in Möglichkeiten einer umweltschonenden Produktentsorgung; Wissen von der Reaktionsbeschleunigung durch Katalyse und Einsicht in Möglichkeiten zur Ausbeuterverbesserung auf der Grundlage des Prinzips von Le Chatelier

Zum Inhalt

Zunächst führt der Film in ein alchemistisches Labor. Er weist damit auf die lange Geschichte des Schwefels und der Schwefelsäure hin. Galt doch der Schwefel als eines der „Elemente“, aus denen sich alle Stoffe zusammensetzen sollten. Verständlich, dass der Schwefel, der die Farbe des Goldes und den Geist des Feuers in sich tragen sollte, bei der erhofften Goldgewinnung eine große Rolle spielte.

Aus Schwefel lässt sich Schwefelsäure gewinnen. In alchemistischer Zeit standen dafür zwei Verfahren zur Verfügung. Der Film zeigt, wie Schwefel mit einer kleinen Menge Salpeter unter einer Glasglocke verbrannt wird (das zunächst entstehende Schwefeldioxid wird vom Stickstoffdioxid, das sich aus dem erhitzten Salpeter bildet, zu Schwefeltrioxid oxidiert). Mit Feuchtigkeit bildet sich aus den Verbrennungsprodukten eine Flüssigkeit, die Metalle auflöst und organische Stoffe - etwa im Papier - verkohlt.

Die Gewinnung der Schwefelsäure geht aus vom elementarem Schwefel (oder von

Schwefeldioxid, das überwiegend beim Abrosten sulfidischer Erze anfällt). Schwefel findet sich oft im Umkreis von Vulkanen: Aus dem Erdinnern steigen heiße Gase auf (die u. a. Schwefeldioxid und Wasserstoffsulfid enthalten). An den Austrittsspalten scheiden sich gelbe Schwefelnadeln ab. Lange Zeit war Sizilien der Hauptlieferant des Schwefels. Der Film zeigt eine der Anlagen, in denen er aus vulkanischem Gestein ausgeschmolzen wurde. Dieser Abbau ist zum Erliegen gekommen.

Für den Schwefel steht heute eine andere reiche Quelle zur Verfügung: Er fällt in großen Mengen bei der Entschwefelung von Erdgas und Erdölprodukten (nach Hydrierung der verschiedenen Schwefelverbindungen zu Wasserstoffsulfid durch katalytische Oxidation) an. Der aus der Raffinerie kommende Schwefel wird in flüssiger Form in beheizten Tanks gelagert und zu Verbrennungsöfen geleitet. Dort verbrennt er in einer 1.200°C heißen Flamme zu gasförmigem Schwefeldioxid. Der Ablauf dieser Oxidation und der nachfolgenden Reaktionen wird im Trick (Kugelmodelle) dargestellt und mit Gleichungen beschrieben. Mit einem Oxidationsmittel - im Rückblick auf die alchemistische Synthese: aus dem Salpeter - entsteht Schwefeltrioxid, das als Feststoff einen weißen Rauch bildet (Reaktion II). Dieses reagiert mit Wasser zu Schwefelsäure (Reaktion III). Die drei Reaktionschritte verlaufen exotherm, sind also mit Wärmeabgabe verbunden.

Die Bildung des Schwefeltrioxids soll aus ökonomischen und aus ökologischen Gründen möglichst vollständig erfolgen, denn nicht umgesetztes Schwefeldioxid würde in die Atmosphäre entweichen. Dieses Pro-

blem wird - wie die folgenden Filmszenen zeigen - durch mehrere Maßnahmen gelöst. So wird die bei der Oxidation des Schwefeldioxids freigesetzte Wärme, die das eben gebildete Trioxid zerfallen lassen würde, durch Kühlung abgeführt. Da aber bei niedriger Temperatur die Oxidation nur langsam abläuft, wird sie durch einen Katalysator beschleunigt.

Der Film zeigt, wie das im Verbrennungsofen gebildete Schwefeldioxid in den Kontaktkessel oder Reaktor geleitet wird. In diesem befindet sich auf mehreren übereinander angeordneten Horden (Siebböden) der Katalysator, dessen aktiver Bestandteil (Di-) Vanadiumpentaoxid (V_2O_5) ist. Im Trick ist zu sehen, wie sich Schwefeltrioxid-Moleküle bilden. Da die Temperatur von 450°C auf etwa 600°C steigt, zerfällt in Umkehrung der Bildung ein Teil des eben entstandenen Trioxids. Der Umsatz liegt somit nur bei etwa 60 Prozent. Daher wird das Gasgemisch in einen Wärmeaustauscher geleitet und nach Abkühlung auf 450°C in den Kontaktkessel und durch die zweite Katalysatorschicht (Horde II) geschickt. Erneut werden etwa 60% der noch vorhandenen Schwefeldioxid-Menge oxidiert, sodass die Ausbeute um 20% auf etwa 80% steigt. Nach erneuter Kühlung wird der Umsatz in der 3. Horde bis auf 97% erhöht (da es bei der Reaktion, die dieser relativ geringen Steigerung zugrunde liegt, kaum zu einer Temperaturerhöhung kommt, würden auch weitere Katalysatorschichten keine Verbesserung mehr bringen). Drei Prozent der ursprünglich vorhanden Schwefeldioxid-Menge bleiben im Abgas - eigentlich ein wirtschaftlich sehr geringer Verlust, aber bei den umgesetzten Mengen eine zu starke Belastung der Umwelt.

Dies vermeidet das dargestellte Doppelkontaktverfahren. Von der 3. Horde wird das Gasgemisch in einen Absorber („Aufnehmer“) geleitet und dort das Schwefeltrioxid „ausgewaschen“. Danach kehrt das Gasgemisch aus Schwefeldioxid und Luft in den Kontaktkessel zurück und wird am Katalysator oxidiert (Horde IV). Das gebildete Schwefeltrioxid wird im zweiten Absorber aufgenommen. Dadurch bleiben im Abgas nur etwa 0,3 % der anfangs eingesetzten Schwefeldioxid-Menge. Zwar bedeutet dies für eine Anlage, die pro Tag bis zu 3.000 t Schwefelsäure produziert, noch immer eine tägliche Emission von 58 t (=2.100 t/a) Dennoch sind Entwicklung und Einführung des Doppelkontaktverfahrens ein wesentlicher Beitrag der chemischen Industrie zum Umweltschutz.

Der Film wendet sich nun einigen technischen Details zu. Man erkennt die Größe der Kontaktkessel, die einen Durchmesser bis zu 13 m und eine Höhe von 20 m aufweisen. Vor Inbetriebnahme werden die Horden mit dem Katalysator aufgefüllt. Im Absorber wird das Schwefeltrioxid (wegen der schlechten Löslichkeit in Wasser) von konzentrierter Schwefelsäure aufgenommen. Diese rieselt über locker aufgeschüttete Tonkörper, denen von unten das schwefeltrioxidhaltige Gas entgegengeschickt wird. Durch dieses Gegenstromverfahren wird eine vollständige Absorption erreicht. Es entsteht das (mit Luftfeuchtigkeit) rauchende „Oleum“, das im geschlossenen System stufenweise mit Wasser zu Schwefelsäure umgesetzt wird.

Die produzierte Schwefelsäure (weltweit 150 Millionen Tonnen) wird vielfach innerbetrieblich verwertet und in langen Rohr-

leitungen zu den chemischen Produktionsanlagen geführt. Sie wird für zahlreiche großtechnische Verfahren, so etwa für die Herstellung vieler Kunststoffe, Kunstfasern und Farbstoffe, benötigt. Auch dient sie dem Aufschluss (Überführung in lösliche Stoffe) von Rohphosphaten zur Erzeugung von Mineraldüngern und von Erzen. So wird mit Schwefelsäure aus Titan-Eisen-Erzen das Titanweiß (Titandioxid), unser wichtigstes Weißpigment, gewonnen.

Hier und in vielen anderen Fällen wird die Schwefelsäure nicht verbraucht, sondern fällt am Ende als verdünnte und stark verunreinigte Abfallsäure an. Millionen Tonnen dieser „Dünnsäure“ wurden und werden – gegen den Widerstand von Umweltschützern – in den Weltmeeren „verklappt“. Nur in wenigen Staaten, so in Deutschland, ist diese „Entsorgung“ untersagt. Ein Recycling der Dünnsäure ist möglich, jedoch kostenintensiv. Sie kann aufgrund ihrer Verunreinigungen nicht einfach aufkonzentriert werden. Ein Verfahren ist, die Moleküle bei etwa 1.000°C in mit Erdgas oder Mineralöl befeuerten Spaltanlagen zu „zerbrechen“ (Thermolyse der Schwefelsäure). Dabei entsteht Schwefeldioxid, das in Kontaktanlagen in Schwefelsäure zurückverwandelt wird. Bislang werden weltweit jedoch nur 5 % (Deutschland: 17%) der produzierten Menge auf diese Weise gewonnen.

Zur Verwendung

Die Schwefelsäure und ihre Gewinnung bilden im Chemieunterricht aller Schularten einen Schwerpunkt. Der Unterricht – und damit auch der Einsatz des Films – kann ausgerichtet sein auf

- die enorme wirtschaftliche Bedeutung der Schwefelsäure, die bis heute eines der wichtigsten industriellen Zwischenprodukte für die Herstellung nahezu aller Stoffe in unserer Umwelt bildet,
- die Schlüsselrolle der Schwefelsäure bei der Entwicklung der chemischen Industrie und die enge Verknüpfung zwischen der Entwicklung der Textilindustrie und der Großchemie (Querbezüge zum Geschichtsunterricht: industrielle Revolution),
- den für die Großchemie typischen Stoff- und Energieverbund (Ressourcenschonung und überlegte Energienutzung),
- den Wandel eines großtechnischen Verfahrens im Hinblick auf Rohstoff und Produktionsverfahren und auf
- die vielfachen Bezüge zum Umweltschutz: Minderung der Schwefeldioxid-Emission durch Entschwefelung von Erdgas und Erdölprodukten und die Einführung des Doppelkontaktverfahrens sowie die Entsorgung der Abfallsäuren. Somit kann der Film einen bedeutsamen Beitrag zur Umwelterziehung leisten!

Im Unterricht wird sicherlich der Modellversuch zum Kontaktverfahren durchgeführt. Dabei sollte auf den früher vielfach verwendeten Platinasbest wegen des Krebsrisikos des Trägermaterials verzichtet und Vanadium(V)-, Chrom(III)- oder Mangan(IV)-oxid auf Glaswolle verwendet werden. Der Film macht die großen Unterschiede zwischen diesem Laborexperiment und dem großtechnischen Verfahren bewusst. Besonders eindrucksvoll sind die Aufnahmen, in denen der Kontaktkessel mit dem Katalysator bzw. der Absorber mit Tonkörpern gefüllt wird und die enormen Dimensionen dieser Anlagen durch den

Größenvergleich mit den in ihrem Inneren arbeitenden Menschen abgeschätzt werden können.

Wohl erst in der Oberstufe (Sekundarstufe II) können die im Film stark vereinfacht dargestellten Vorgänge bei der Einstellung des temperaturabhängigen dynamischen Gleichgewichtes vertieft betrachtet werden. Ergänzend lässt sich anhand von Grafiken (z.B. aus HECK, 1990) und in Anwendung des Prinzips von Le Chatelier („Prinzip von der Flucht vor dem Zwang“) ableiten, warum die exotherme Oxidation des Schwefeldioxids schrittweise durch geführt und mehrfach durch die Abkühlung der aufgeheizten Gase unterbrochen wird und warum eine weitere Vermehrung der Hordenzahl vor dem Zwischenabsorber zu keiner, die Zwischenabsorption aber wohl zu einer Ausbeuteverbesserung führt.

Produktion

GBF, Gesellschaft für bildende Filme mbH, Film- und Fernsehproduktion, Grünwald, im Auftrag des FWU Institut für Film und Bild, Grünwald, 1994

Buch und Regie

Dr. Dr. Alexander Kekulé

Kamera

Ronald Martini

Trick

CA Scanline Production

Schnitt

Pia Fritsche

Begleitkarte und Fachberatung

Dr. Herbert Kiechle

Bildnachweis

GBF

Pädagogischer Referent im FWU

Dr. Robert Anzeneder

Verleih durch Landes-, Kreis- und Stadtbildstellen/
Medienzentren

Verkauf durch FWU Institut für Film und Bild,
Grünwald

Nur Bildstellen/Medienzentren
ÖV zulässig

© 2008
FWU Institut für Film und Bild
in Wissenschaft und Unterricht
gemeinnützige GmbH
Geiseltasteig
Bavariafilmplatz 3
D-82031 Grünwald
Telefon (0 89) 64 97-1
Telefax (0 89) 64 97-300
E-Mail info@fwu.de
vertrieb@fwu.de
Internet 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
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

Laufzeit: 14 min
Kapitelwahl auf DVD-Video
Sprache: Deutsch

**Systemvoraussetzungen
bei Nutzung am PC**
DVD-Laufwerk und
DVD-Player-Software,
empfohlen ab Windows 98

GEMA

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

**LEHR-
Programm
gemäß
§ 14 JuSchG**

FWU – Schule und Unterricht

46 10312 DVD mit Kapitelwahlpunkten

14 min, Farbe

FWU-Klassiker

Die Schwefelsäuresynthese

Die Schwefelsäure zählt zu den bereits im Mittelalter bekannten Säuren, deren Bedeutung für die Alchemie einleitend angesprochen wird. Die heutige Synthese geht von elementarem Schwefel aus, der bei der Entschwefelung von Erdgas und Erdölprodukten anfällt. Sie läuft in drei Schritten ab: Verbrennung des Schwefels, Oxidation des Schwefeldioxids im Doppelkontaktverfahren und Umsetzung des Schwefeltrioxids mit Wasser zu Schwefelsäure. Anschließend werden Beispiele für die Verwendung der Schwefelsäure vorgestellt. Die Entsorgung der dabei vielfach anfallenden Dünnsäuren durch Verklappen in den Meeren muss durch umweltschonende Recyclingverfahren ersetzt werden.

Bei diesem Film handelt es sich um eine FWU-Produktion aus dem Jahr 1994.

Schlagwörter

Schwefelsäure, Doppelkontaktverfahren, Dünnsäure

Chemie

Geschichte der Chemie
Angewandte Chemie • Technische Chemie • Chemie in Alltag
und Umwelt

Umweltgefährdung, Umweltschutz

Umwelt in Politik und Wirtschaft

Allgemeinbildende Schule (8-3)
Erwachsenenbildung