

Inhaltsverzeichnis

| | |
|---|----|
| 1. Vorwort | 1 |
| 2. Zusammenfassung | 2 |
| 3. Summary | 2 |
| 4. Einleitung | 3 |
| 5. Hauptteil | 4 |
| 5.1 Schönbein als Privatmann | 4 |
| 5.2 Schönbein als Wissenschaftler | 7 |
| 5.3 Passivität des Eisens | 10 |
| 5.3.1 Theoretische Grundlagen | 10 |
| 5.3.2 Versuche zur Passivierung von Eisen | 11 |
| 5.3.3 Versuch „Das Erröten der Jungfrau“ | 13 |
| 5.4 Schießbaumwolle | 15 |
| 5.4.1 Theoretische Grundlagen | 15 |
| 5.4.2 Herstellung von Schießbaumwolle | 16 |
| 5.5 Schwarzpulver | 20 |
| 5.5.1 Geschichte | 20 |
| 5.5.2 Theoretische Grundlagen | 20 |
| 5.5.3 Auswahl verschiedener Methoden | 21 |
| 5.5.4 Versuch mit Schwarzpulver und Schießbaumwolle | 24 |
| 5.6 Präsentation | 25 |
| 6. Schluss | 29 |
| 7. Literaturverzeichnis | 30 |
| 8. Anhang | 32 |



1. Vorwort

Als wir vor den Sommerferien als Thema für unsere Projektarbeit „Experimente mit Ozon“ genannt bekamen, konnten wir uns nicht recht vorstellen was von uns verlangt wird. Nach dem ersten Gespräch mit unserem Betreuer, Prof. Dr. Peter Menzel, erfuhren wir, dass das eigentliche Thema „Christian Friedrich Schönbein“ sei, der Entdecker des Ozons. Wie bei so vielen Dingen im Leben kennt man zwar die Sache an sich, aber nicht die großartigen Personen, die diese entdeckt und erforscht haben. Prof. Dr. Menzel beabsichtigte an der Universität Hohenheim, im Rahmen der 15. Stuttgarter Chemietage, eine Experimentalvorlesung über das Leben Schönbeins abzuhalten. Unsere Aufgabe war es nun für diese Veranstaltung Schauversuche auszuarbeiten. Zu diesem Zweck wurden wir in zwei Gruppen eingeteilt; die eine Gruppe beschäftigte sich intensiv mit dem Thema Ozon und wir beschäftigten uns mit Schießbaumwolle und Passivierung von Eisen, zwei weiteren Entdeckungen Schönbeins.

An dieser Stelle wollen wir uns bei Prof. Dr. Menzel für die gute Betreuung bedanken. Mit seinen klaren Vorstellungen über den Ablauf der Vorlesung half er uns die passenden Versuche dafür zu entwickeln. Außerdem finden wir es bemerkenswert, dass nicht wir für die Besprechungen zu ihm nach Hohenheim, sondern er zu uns an das Institut Dr. Flad gekommen ist. Des Weiteren möchten wir uns bei Herrn Wolfgang Flad dafür bedanken, dass die Veranstaltung an der Uni Hohenheim als Präsentation unserer Projektarbeit gewertet wurde. Die Veranstaltung war eine sehr besondere Erfahrung für uns und nicht jeder kann behaupten, dass er vor so einem großen Publikum seine Projektarbeit präsentieren durfte. Wir sind auch dankbar dafür, dass wir an vielen Samstagen im Labor arbeiten durften, sonst wäre die Realisierung der Arbeit nicht möglich gewesen. Herrn Jürgen Flad danken wir für die Bereitstellung seiner Bilder des Vortrages, Herrn Zinsmeister für die Bereitstellung seiner privaten Videokamera und allen Laborassistenten für hilfreiche Tipps zur praktischen Umsetzung der Versuche.



Die in dieser Dokumentation beschriebenen Versuche wurden alle gemeinsam entwickelt und zum größten Teil auch gemeinsam durchgeführt, wie den Laborjournalen zu entnehmen ist. Die schriftliche Ausfertigung der Arbeit haben wir wie folgt aufgeteilt: Martin Khoeiklang fertigte die Kapitel zur Schießbaumwolle und zum Schwarzpulver an. Patrick Lichtenberger beschäftigte sich mit der Biographie Schönbeins, den Versuchen zur Passivierung des Eisens und verfasste den Rahmen der Arbeit (Vorwort, Zusammenfassung, Summary, Einleitung und Schluss).

2. Zusammenfassung

In der vorliegenden Dokumentation unserer Projektarbeit haben wir uns zunächst mit der Person Christian Friedrich Schönbein befasst. Dabei soll seine besondere Persönlichkeit dargestellt werden. In dem ersten praktischen Teil, der sich mit der Passivität des Eisens beschäftigt, wurde die Wirkung von Salzsäure und Salpetersäure verschiedener Konzentrationen auf einen Eisennagel getestet. Bei konzentrierter Salpetersäure kommt es zu Passivierung.

Bei der Herstellung der Schießbaumwolle wurde vorab Watte verschiedener Hersteller getestet. Das beste Ergebnis wurde dann zum Vergleich mit dem Schwarzpulver, das ebenfalls auf verschiedene Arten hergestellt wurde, herangezogen. Bei der Verbrennung von Schwarzpulver entstand viel Rauch und Rückstand, bei der Schießbaumwolle trat dies nicht auf.

Am Ende dieser Arbeit werden noch ein paar Bilder der äußerst gelungenen Experimentalvorlesung an der Universität Hohenheim präsentiert.

3. Summary

This essay is about our project-based research on Christian Friedrich Schönbein. First, we portray his special personality. Then, in the description of the experiments, we first deal with the passivity of iron: We tested the effect of hydrochloric and nitric acid (of various concentrations) on an iron nail. Passivity appears with concentrated nitric acid.



In a second series of experiments, we tried out three kinds of cotton wool for the production of *Schießbaumwolle*. Then, the best result was used for comparisons to black powder (which we had produced before based on three different methods, too). The burning of black powder led to much smoke and residue, unlike the combustion of *Schießbaumwolle*.

At the end of this paper, some pictures show the successful experimental lecture at the University of Hohenheim.

4. Einleitung



Abb. 1. Christian Friedrich Schönbein 1857
Quelle: http://de.wikipedia.org/wiki/Christian_Friedrich_Sch%C3%B6nbein
(Urheberrecht: gemeinfrei)

Schönbein schrieb 1854 in einem Brief an Justus von Liebig:

„Wer nicht den Mut hat, einen neuen Gedanken auszusprechen, auch auf die Gefahr hin, zu irren oder für einen Narren gehalten zu werden, wird wenig zu irgendeiner Art von Fortschritt beitragen können.“¹

¹ PRANDTL 1956, S. 209



Hierbei wird in einem Satz die ganze Überzeugung Schönbeins ersichtlich. Es ist nicht wichtig immer Recht zu haben, aber die Veröffentlichung der eigenen Ergebnisse regt andere Personen an sich ebenfalls mit diesem Thema zu beschäftigen. Nur so kommt die Wissenschaft voran, nur so leben wir jetzt in einer so hoch technisierten Welt. Die meisten Wissenschaftler haben in ihrem Leben Rückschläge erlitten, aber haben trotzdem nie aufgegeben.

Das Ziel unserer Arbeit war es Versuche für den Vortrag von Prof. Dr. Menzel auszuarbeiten. Wir erachten es aber für persönlich wichtig zuerst den Entdecker des Ozons, der Schießbaumwolle und der Passivierung des Eisens dem Leser näher zu bringen. Die zwei Themengebiete der Versuche sind nach ihrer Entdeckung sortiert. Somit lässt sich der Aufbau unserer Arbeit erklären.

5. Hauptteil

5.1 Schönbein - als Privatmann

Christian Friedrich Schönbein wurde am 18. Oktober 1799 in Metzingen geboren. Zu dieser Zeit lebten dort ungefähr 3000 Menschen. Ihren Lebensunterhalt verdienten sie mit Acker- und Weinbau, aber auch durch Handel und Handwerk. Das Geburtshaus von Christian Friedrich Schönbein steht auch heute noch in der Stadtmitte von Metzingen. Sein Vater, Christian Friedrich senior, betrieb in diesem Wohnhaus eine kleine Färberei. Seine Mutter, Anna Barbara geborene Schäfer, war eine Bauerstochter aus Neuhausen an der Erms.

Christian Friedrich junior, das erste von acht Kindern, besuchte bis zu seinem 14. Lebensjahr die Volksschule in Metzingen. Er war ein fleißiger und gewissenhafter Schüler, der leicht und schnell lernte. Seinem Lehrer stellte er wissbegierig Fragen, auf die dieser nicht immer eine Antwort hatte. Sein Vater hatte allerdings nicht das Geld Christian Friedrich eine höhere Schulbildung zu ermöglichen. Deshalb schickte er ihn 1813 nach Böblingen, damit der Sohn dort eine siebenjährige Ausbildung zum



praktischen Chemiker in der chemisch-pharmazeutischen Fabrik Metzger & Kayser beginnen konnte.

Der junge Schönbein hatte großes Heimweh, da er nicht sehr freundlich von seinem Lehrherrn behandelt wurde, sehr hart arbeiten musste und oft alleine war. Trotzdem war er bestrebt in dem gut ausgestatteten Labor der Fabrik möglichst viele praktische Fähigkeiten zur Herstellung pharmazeutischer Präparate zu erlernen. Die wenige freie Zeit die er hatte, nutzte er um sich vor allem sprachlich weiterzubilden. Die Arbeitsbedingungen verbesserten sich für Schönbein, als 1818 der Apotheker Bonz die Firma übernahm. Dieser förderte den eifrigen Lehrling und stellte ihm seine Bibliothek mit Fachliteratur zur Verfügung.

Nach Beendigung der Lehre ließ Schönbein sich 1820 von Dr. Carl Friedrich Kilmeyer, einem Tübinger Universitätsprofessor, der außerdem noch Staatsrat und Direktor des Stuttgarter Naturalienkabinetts war, auf seine chemischen Fertigkeiten hin prüfen. Dieser erstellte Schönbein ein sehr gutes Zeugnis und lobte seine Begabung bei der Herstellung pharmazeutischer Präparate. Dies war die einzige Prüfung die Schönbein in seinem Leben ablegte.

Nach der Freistellung vom württembergischen Militär nahm Schönbein in Augsburg eine Stelle als Chemiker in der Fabrik von Dr. J. G. Dinger an. Dort konnte er für seine Weiterbildung die große Bibliothek seines Chefs nutzen. Trotzdem zog er schon 5 Monate später nach Hemhofen bei Erlangen, mit dem Ziel, Fabrikdirektor in der chemischen Fabrik von J. N. Adam zu werden. Um Schönbein ein Studium an der Universität Erlangen zu ermöglichen, stellte ihm Adam schon nach kurzer Zeit von seiner Arbeit als Direktor frei und beschäftigte ihn zur finanziellen Unterstützung als Privatlehrer für seine Kinder.

An der Universität freundete sich Schönbein mit dem Naturphilosophen Friedrich Wilhelm Joseph Schelling an. Diese Freundschaft hielt bis zum Tode Schellings im Jahr 1854. Im Sommersemester 1821 besuchte Schönbein mit Justus Liebig zusammen eine Vorlesung, ohne dass sich die Beiden zunächst näher kennenlernten. Nach diesem Semester wechselte er für ein Jahr an die Universität Tübingen, da er sich dort ein Stipendium erhoffte. In Tübingen beschäftigte er sich



neben chemischen Themen vor allem mit philosophischen Fragen und schloss Bekanntschaft mit gleichgesinnten Studierenden. Da er in Tübingen nicht die erhoffte finanzielle Unterstützung bekam, machte er zuerst eine Reise in die Schweiz und schrieb sich dann wieder an der Universität Erlangen für das Sommersemester 1823 ein.

Im Herbst 1823 wurde Schönbein – ohne ein pädagogisches Studium gemacht zu haben – Lehrer für Physik, Chemie und Mineralogie an der von Friedrich Fröbel gegründeten Allgemeinen Deutschen Erziehungsanstalt in Keilhau bei Rudolstadt. Jugendliche sollten dort abgeschieden von der Außenwelt, unter einfachen Lebensbedingungen, in Verbundenheit mit Gott und der Natur, erzogen werden. Anfangs war Schönbein von der Sache begeistert, aber mit der Zeit entwickelten sich immer mehr Differenzen zwischen seiner Weltanschauung und der Fröbels, so dass er 1826 in der Nähe von London eine Stelle als Lehrer an der Erziehungsanstalt von Dr. Charles Mayo annahm. Er bereiste England und Schottland und war von der Landschaft und den Gewohnheiten sehr angetan. 1827 ging er nach Paris um dort Chemie und Physik bei Thénard, Gay-Lussac, Dumas und Ampère zu studieren. Das Leben in Paris und die Art der Franzosen gefiel Schönbein aber nicht, so dass er im August 1828 wieder nach England zurückging.

Im November 1828 übernahm Schönbein, auf Empfehlung eines Freundes, die Vertretung des erkrankten Physik- und Chemie- Professors Peter Merian an der Universität Basel. In den ersten Jahren in Basel war Schönbein mit Vorlesungsvorbereitungen so beschäftigt, dass er zunächst keine Zeit für wissenschaftliche Arbeiten hatte.

Nach der Julirevolution 1830 in Frankreich brachen auch in der Schweiz große Unruhen aus. Schönbein half als Angehöriger der Universität auf Seiten der Stadt Basel beim Kampf gegen die aufständische Landbevölkerung. Als Dank für seinen Einsatz für die Stadt Basel erhielt er am 15. Juni 1835 eine ordentliche Professur für Physik und Chemie an der Universität.

Im Juli 1835 heiratete er Emilie, die Tochter des Stuttgarter Kanzleirates Gustav Benjamin Benz. Das Paar bekam vier Töchter, Fanny, Emilie Sophie, Wilhelmine und



Berta. 1840 verlieh ihm die Stadt Basel das Ehrenbürgerrecht. Seit 1848 gehörte Schönbein dem Basler Parlament an und beschäftigte sich mit Themen wie beispielsweise der Hygiene in der Stadt. Schönbein war als geselliger Mann vollständig in die Basler Gesellschaft integriert, trotzdem war er in seinem Herzen immer mit seiner Heimat Schwaben verbunden. Er vermisste die Landschaft, aber vor allem, als Genussmensch, das schwäbische Essen und den schwäbischen Wein. Deshalb unternahm er Reisen in die Heimat, sofern er sich die Zeit dafür nehmen konnte.

Seit 1860 hatte er - hauptsächlich im Winter - Beschwerden mit Gicht und Rheuma in den Beinen, die durch das jahrelange Arbeiten in dem kalten Labor hervorgerufen wurden. 1868 begab er sich deshalb für einen Kuraufenthalt nach Wildbad im Schwarzwald. Auf der Rückreise besuchte er einen Freund in Baden-Baden. Dort bildete sich bei Schönbein ein eiterndes Nackengeschwür, dem er am 29. August 1868 erlag. In einer großen Trauerfeier wurde er am 2. September 1868 feierlich in Basel beerdigt.

5.2 Schönbein – als Wissenschaftler

Schönbein zeichnete sich dadurch aus, dass er ein Leben lang bestrebt war sich weiterzubilden und ein eifriger und arbeitswütiger Mensch war. Für seine wissenschaftlichen Arbeiten stand ihm in Basel nur ein sehr einfach ausgestattetes chemisches Labor mit einigen physikalischen Instrumenten zur Verfügung, die gerade einmal zur Vorbereitung des Unterrichts genügten.

Schönbeins Forschungsgebiet war die anorganische Chemie, deren Reaktionen vergleichsweise schnell ablaufen, so konnte er die Versuche immer und immer wieder wiederholen. Seine Aufzeichnungen bestachen durch detailgenaue Beschreibung der ablaufenden Reaktionsschritte. Schönbein verfasste insgesamt um die 350 Abhandlungen, die er selbst in die französische und englische Sprache übersetzte und veröffentlichte.

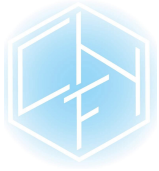


Schönbein stand in engem Kontakt mit seinen europäischen Kollegen, um sich mit ihnen über seine Forschungsergebnisse auszutauschen und sie zu diskutieren. Dadurch entwickelte sich mit der Zeit eine enge und freundschaftliche Beziehung zu den bedeutendsten Physikern und Chemikern seiner Zeit. An erster Stelle sind hier seine guten Freunde Justus Liebig und Michael Faraday zu nennen, aber auch William Grove oder Jöns Jakob Berzelius. Ein Merkmal von Schönbein war, dass er sehr auf seinem Standpunkt verharren konnte, auch wenn andere Wissenschaftler seine Theorien schon widerlegt hatten. Ein Beispiel dafür ist, dass er die allgemeingültige Atomtheorie nicht anerkennen wollte. Die Vorstellung von kleinsten Teilchen war ihm fremd.

1835 begann er mit der Erforschung der Passivität des Eisens. Die Erscheinung, dass sich das unedle Eisen in verdünnter Salpetersäure auflöst, aber in konzentrierter nicht angegriffen wird, sich somit viel edler verhält, bezeichnete Schönbein als Passivität des Eisens. Er fand auch heraus, dass mit Hilfe von anodischer Polarisation das Eisen die gleichen Eigenschaften zeigte und diese durch Berührung an einen weiteren Eisenstab übertragen werden konnte. Über seine Beobachtungen in diesem Gebiet tauschte er sich mit Faraday, Berzelius und Johann Christian Poggendorff aus. Faraday war der Meinung, dass sich das Eisen mit einer schützenden Oxidschicht überzieht und deshalb nicht angegriffen wurde. Schönbein wollte dies aber nicht glauben und suchte nach anderen Ursachen. Heute ist die Theorie von Faraday allgemein anerkannt.

Schönbein beschäftigte sich zu dieser Zeit stark mit dem Gebiet der Elektrochemie. Er nahm an, dass das reine Bestreben zweier Stoffe miteinander reagieren zu wollen ausreicht um einen Strom zu erzeugen. Bei seinen Experimenten entdeckte er das Prinzip der Brennstoffzelle. Die Umkehrreaktion der Elektrolyse von Wasser lieferte aus Wasserstoff und Sauerstoff Strom.

Schönbeins bedeutendste Leistung war die Entdeckung des Ozons 1839. Er fand heraus, dass bei der Elektrolyse von verdünnter Schwefelsäure am Pluspol der Elektrolysezelle ein eigentümlicher Geruch auftrat. Dieser Geruch war auch schon früher bei Blitzeinschlägen beobachtet worden. Er gab dem neuen Stoff den Namen



Ozon (das Riechende). Die nächsten Jahre befasste er sich mit der Isolierung und Herstellung von Ozon. Außerdem forschte er intensiv in dem Gebiet der Katalyse und Autoxidation.

Bei Vergleichen von Ozon mit verschiedenen anderen Oxidationsmitteln untersuchte Schönbein unter anderem die Einwirkung von Salpetersäure auf verschiedene organische Stoffe. Aus einem Gemisch von Salpetersäure und Schwefelsäure stellte er 1846 seine berühmte Schießbaumwolle her. Sie verbrannte viel schneller als normale Watte, hinterließ keinen Rückstand und explodierte nach einem Schlag mit einem Hammer. Schönbeins Plan war es, dass das alte herkömmliche Schwarzpulver durch seine Schießbaumwolle mit den viel besseren Abbrenneigenschaften ersetzt wird. Neben der höheren Triebkraft war der größte Vorteil der Schießbaumwolle, dass sie rückstandsfrei verbrannte. Bei Verwendung von Schwarzpulver mussten die Gewehrläufe ständig von Rückstand befreit werden.

Schönbein führte seine neue Erfindung nicht nur der Basler Naturforschenden Gesellschaft vor, sondern auch der breiten Öffentlichkeit. Dies machte ihn über die Landesgrenzen hinweg bekannt als Schießbaumwollen-Schönbein. Er beabsichtigte seine Erfindung zu verkaufen um Geld zu verdienen. Zu seinen Ungunsten gelang es dem Chemie und Physik Professor Rudolph Böttger unabhängig von ihm ebenfalls Schießbaumwolle herzustellen. Die beiden einigten sich zukünftige Einnahmen durch die Schießbaumwolle zu teilen. Zuerst boten sie, ohne Erfolg, die Erfindung dem Deutschen Bund zum Kauf an. Im August 1846 reiste Schönbein für Verhandlungen nach England. Schönbein war aber kein Geschäftsmann und Verhandlungen lagen ihm nicht. Trotzdem konnte er schließlich einen Vertrag mit einer englischen Schießpulverfabrik schließen, die den beiden Erfindern Anteile an dem Gewinn durch die Schießbaumwolle zusicherte. Als diese Fabrik aber ein Jahr später in die Luft flog und dabei viele Arbeiter getötet wurden, traten die Engländer von dem Vertrag zurück. Danach versuchten Schönbein und Böttger mit Hilfe eines Mittelsmannes die Schießbaumwolle nach Amerika zu verkaufen. Dieser Mann betrog sie aber um einen Großteil der Einnahmen. Zum Schluss verkauften sie 1852 die gesamten Rechte an



der Schießbaumwolle für einen vergleichbar sehr geringen Betrag an den österreichischen Staat.

Schönbein war durch diese Erlebnisse so deprimiert, dass er danach nicht mehr versuchte eine seiner Erfindungen zu verkaufen.

Während seinen Arbeiten an der Schießbaumwolle erfand er das Kollodium. Dieses diente als Wundverband und wurde durch Auflösung von Schießbaumwolle in Alkohol und Ether hergestellt.

Um sich mit Gleichgesinnten auszutauschen wurde Schönbein – auf Einladung hin – 1854 Mitglied der Bayerischen Akademie der Wissenschaft und trat 1856 der Preußischen Akademie der Wissenschaft bei.

Kurz vor seinem Tod beschäftigte er sich mit der Haltbarmachung von Nahrungsmitteln, vor allem von Fleisch, mit Hilfe von Blausäure. Sein Freund Liebig wollte diese Forschungen weiterführen, stellte sie aber dann wegen der Giftigkeit der Blausäure ein.

Schönbeins Forschungen stellten schon während seines Lebens eine Anregung für andere Wissenschaftler dar. Seine Entdeckungen in dem Bereich der Elektrochemie und der Katalyse legten den Grundstein für zukünftige Entwicklungen.

5.3 Passivität des Eisens

5.3.1 Theoretische Grundlagen

Redoxsysteme werden in der elektrochemischen Spannungsreihe nach ihren Standardpotentialen geordnet. Für die Bestimmung der Standardpotentiale werden als Bedingungen eine Temperatur von 25 °C, eine Ionenaktivität von 1 mol/L und bei Gasen ein Partialdruck von 1,013 bar festgelegt. Potentiale werden in Volt angegeben und lassen sich nicht direkt messen, man misst immer Potentialdifferenzen. Als Bezugssystem dient die Normal-Wasserstoffelektrode.



Diese besteht aus einer Platinableitelektrode, die in eine Lösung mit einer Protonenaktivität von 1 mol/L taucht und von Wasserstoff mit einem Partialdruck von 1,013 bar umspült wird. Das Potential der Normal-Wasserstoffelektrode wird willkürlich gleich 0 gesetzt. Weicht man von den Standardbedingungen ab, dann lassen sich die Potentiale (E) mit der Nernstschen Gleichung berechnen:

$$E = E^0 + \frac{R \cdot T \cdot 2,303}{n \cdot F} \lg \frac{c(\text{Ox})}{c(\text{Red})}$$

E^0 = Standardpotential

R = allgemeine Gaskonstante

T = Temperatur (in Kelvin)

F = Faraday-Konstante

n = Anzahl der übertragenen Elektronen

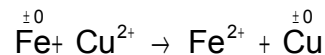
c(Ox) und c(Red) stehen für die Konzentration bzw. Aktivität der oxidierten bzw. reduzierten Form des Redoxpaares.

Metalle mit positivem Standardpotential werden als edel bezeichnet. Beispiele hierfür sind Kupfer, Silber, Quecksilber, Platin oder Gold. Edle Metalle lösen sich nicht unter Wasserstoffentwicklung in Säuren. Einige von ihnen können durch konzentrierte Salpetersäure oder konzentrierte Schwefelsäure oxidiert werden.

Metalle mit negativem Standardpotential nennt man unedel. Zu ihnen gehören Eisen, Zink, Aluminium, Natrium oder Kalium. Unedle Metalle lösen sich in Säuren unter Wasserstoffentwicklung. Metalle mit einem negativeren Potential als -0,41 V (zum Beispiel Natrium) können sogar mit Wasser unter Wasserstoffentwicklung reagieren. Bei manchen Metallen trifft diese Regel nicht zu. In diesen Fällen wird von Passivität gesprochen. Dabei bildet sich auf der Metalloberfläche eine feste Oxidschicht, so dass die darunter liegenden Schichten nicht mehr reagieren können. Metalle die sich passivieren lassen sind beispielsweise Aluminium, Chrom oder Zink.



Unedle Metalle haben die Fähigkeit Ionen edler Metalle zu reduzieren, sie selbst werden dabei oxidiert. Taucht man zum Beispiel ein Eisenblech in eine Lösung mit Kupfer-Ionen, dann scheidet sich auf diesem Kupfer ab:



5.3.2 Versuche zur Passivierung von Eisen

Benötigte Chemikalien

- Salpetersäure
- Salzsäure
- Eisennägel/-stab

Sicherheitsvorschriften

- Salpetersäure: C
R: 35 S: 23.2-26-36/37/39-45
- Salzsäure: C
R: 34-37 S: 26-36/37/39-45

Durchführung

In verschiedene Reagenzgläser, die mit Salzsäure einer Konzentration von jeweils 1, 2, 3 und 5 mol/L und Salpetersäure einer Konzentration von je 1, 3, 5 und 14 mol/L gefüllt waren, wurde je ein Eisennägel gestellt.

In einem weiteren Versuchsteil wurde ein Eisennägel zuerst für ca. 20 Sekunden in das Reagenzglas mit konzentrierter Salpetersäure und anschließend in die Reagenzgläser der oben genannte Salzsäure-Verdünnungsreihe getaucht.



Ebenso wurde anstelle des Nagels ein Eisenstab mit 1 cm Durchmesser und 15 cm Länge als erstes für 30 Sekunden in konzentrierte Salpetersäure und danach in 4 molare Salzsäure gestellt.

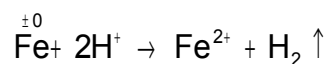
Beobachtung

In den Reagenzgläsern, die mit Salzsäure gefüllt waren, trat nach einer gewissen Zeit eine Gasentwicklung auf. Diese war umso stärker, je konzentrierter die Säure war. Wurde der Nagel zuerst in konzentrierte Salpetersäure und anschließend in die Salzsäure gegeben setzte die Gasbildung sogar schneller ein. Mit dem Eisenstab konnte genau die gleiche Beobachtung gemacht werden.

In den Reagenzgläsern, die mit Salpetersäure einer Konzentration von 1, 3, 5 mol/L gefüllt waren, war die Gasentwicklung ebenfalls umso stärker, je konzentrierter die Säure war. Außerdem konnte man deutlich erkennen wie der Nagel von der Säure angegriffen wurde und die Lösung sich dunkelgrün verfärbte. In konzentrierter Salpetersäure fand keine Gasfreisetzung statt. Der Nagel überzog sich mit einer hellgrauen Schicht.

Ergebnis

Eisen löst sich als unedles Metall in Salzsäure und verdünnter Salpetersäure unter Wasserstoffentwicklung:



In Salpetersäure kann mit bloßem Auge die Bildung des grünen Eisen(II)-Ions erkannt werden.

Konzentrierte Salpetersäure ist eine oxidierende Säure. Es bildet sich auf der Oberfläche eine Eisenoxidschicht, die das darunterliegende Metall schützt und somit kann sich kein Wasserstoff mehr bilden. Diese Schutzschicht ist aber nicht sehr



stabil, so dass sie beim Wechsel von Salpetersäure zu Salzsäure zerstört wird und das Metall wieder angegriffen werden kann.

5.3.3 Versuch „Das Erröten der Jungfrau“

Benötigte Chemikalien

- Salpetersäure
- Kupfersulfat
- Eisennagel

Sicherheitsvorschriften

- Salpetersäure: C
R: 35 S: 23.2-26-36/37/39-45
- Kupfersulfat: Xn, N
R: 22-36/38-50/53 S: 22-60-61

Durchführung

Im ersten Teil des Versuches wurde ein Eisennagel für 10 Sekunden in ein Reagenzglas mit 0,5 molarer Kupfersulfatlösung getaucht.

Im zweiten Teil wurde der Nagel für 10 Sekunden in ein Reagenzglas mit konzentrierter Salpetersäure und erst danach für 10 Sekunden in das Reagenzglas mit Kupfersulfatlösung gegeben. Es wurde beim Wechsel der Lösung darauf geachtet, dass die Gefäßwand des Reagenzglases nicht berührt wurde. Anschließend wurde mit einem zweiten Nagel leicht an dem ersten gekratzt.

Beobachtung

Im ersten Versuchsteil färbte sich der Nagel in kürzester Zeit rot-braun.



Im zweiten Versuchsteil sah der Eisennagel, nachdem er in die Kupfersulfatlösung getaucht wurde, noch genauso wie davor aus (Abb. 2.). Erst nachdem an ihm gekratzt wurde, verfärbte er sich rot-braun (Abb. 3.).

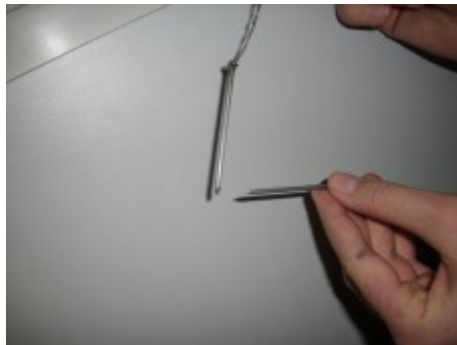


Abb. 2. Eisennagel vor der Zerstörung der Oxidschutzschicht

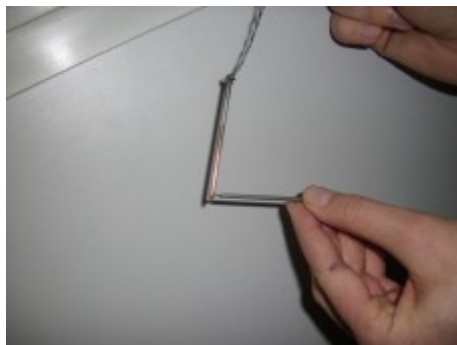
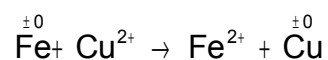


Abb. 3. Eisennagel nach der Zerstörung der Schutzschicht

Ergebnis

Kupfer ist ein edleres Metall als Eisen. Eisen kann Kupfer-Ionen reduzieren und wird dabei selbst oxidiert:



Durch die oxidierende konzentrierte Salpetersäure bildet sich auf der Eisenoberfläche eine Eisenoxidschicht. Wegen dieser Schutzschicht können die Kupfer-Ionen nicht mehr mit dem darunterliegenden Eisen in Kontakt treten und werden somit nicht



reduziert. Sobald aber diese Schutzschicht zerstört wird reagieren die sich auf dem Nagel befindenden Kupfer-Ionen sofort mit dem Eisen und es scheidet sich Kupfer ab.

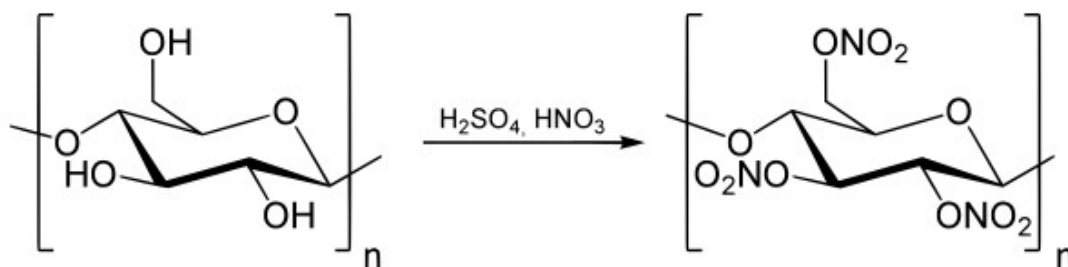
Dieser zweite Versuchsteil musste öfters wiederholt werden, da zum Beispiel durch Berührungen mit der Reagenzglaswand die Oxidschicht verletzt wurde und sich das Kupfer sofort abgeschieden hatte.

5.4 Schießbaumwolle

5.4.1 Theoretische Grundlagen

Schießbaumwolle wird oft auch als Nitrocellulose oder Blitzwatte bezeichnet. Nach IUPAC lautet die Bezeichnung Cellulosenitrat: Streng genommen ist sie keine Nitro-Gruppe sondern ein Ester, da das Nitryl-Kation an ein Sauerstoff gebunden wird und nicht an ein Kohlenstoffatom.

Reaktionsgleichung



Umsetzung von Cellulose zu Cellulose trinitrat

Quelle: <http://de.wikipedia.org/wiki/Cellulosenitrat>

(Urheberrecht: gemeinfrei)

Das positiv geladene Nitryl-Kation greift nukleophil am Sauerstoff der –OH-Gruppe an unter Abspaltung eines Protons. Wie viele Nitryl-Kationen substituiert werden hängt sowohl von der Konzentration des nukleophilen Angreifers als auch von der



Reaktionsdauer ab. Die Reaktivität der Schießbaumwolle nimmt mit zunehmenden „Nitro-Gruppen“ zu.

Ab einem Stickstoffgehalt von über 12% ist der überwiegende Teil dreifach nitriert und bei einem Gehalt unter 12% überwiegend zweifach oder einfach nitriert.

5.4.2 Herstellung von Schießbaumwolle

Benötigte Chemikalien

- 20 ml konz. Salpetersäure (w= 0,65 / 65%)
- 40ml konz. Schwefelsäure (w= 0,98 / 98%)
- 2 g Watte

Sicherheitshinweise

- konz. Salpetersäure: (O, C)
R 8-35, S (1/2) 23-26-36/37/39-45
- konz. Schwefelsäure: (C)
R 35, S (1/2) 26-30-45

Herstellung der Nitriersäure

Es wurden 20ml konz. Salpetersäure vorgelegt; dazu wurde langsam 40ml konz. Schwefelsäure zugetropft. Dies wurde mit einem Eiswasserbad gekühlt sodass die Temperatur des Gemisches nicht über 25°C ansteigt. Ansonsten hätte der nukleophile Angreifer beginnen können, sich zu zersetzen oder es hätten eventuell Nitrosegase entweichen können (Abb. 4.). Nachdem die konz. Schwefelsäure vollständig zugetropft wurde, wurde die Nitriersäure auf Raumtempertaur gebracht (Abb. 5.). Dann wurden noch 2g 100%ige Baumwoll-Watte abgewogen.

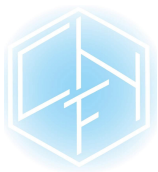


Abb. 4. Herstellung der Nitriersäure



Abb. 5. Fertige Nitriersäure im Eiswasserbad

Durchführung

Die auf Raumtemperatur gebrachte Nitriersäure wurde in ein Becherglas gegeben. Dazu wurde die Watte hineingelegt und mit einem Glasstab ca. 15 Minuten ständig bewegt, damit die Watte vollständig mit der Nitriersäure in Kontakt ist.

(Abb. 6. und 7.). Danach wurde die Säure möglichst vollständig abgegossen und die Watte gut ausgedrückt.

Die Watte wurde mit viel demin. Wasser ausgewaschen bis die Säure vollständig herausgelöst war (Abb. 8.). Dies musste sehr gründlich erfolgen, denn - sofern sie nicht vollständig säurefrei ist - neigt sie leicht zur Selbstentzündung. Zur Überprüfung wurde das Waschwasser mit pH-Papier gemessen. Außerdem wurde das Waschwasser öfters erneuert (ca. 5 bis 6 Mal). Das restliche Waschwasser wurde mit einem Glasstab durch einen Trichter ausgedrückt (Abb. 9.). Anschließend wurde die Watte auseinander gezupft und zwischen 2 Filterpapieren so gut es geht abgepresst (Abb. 10.). Danach wurde die Watte bei großer Oberflächenverteilung auf einem Urglas oder einer Keramikplatte getrocknet (Abb. 11.).

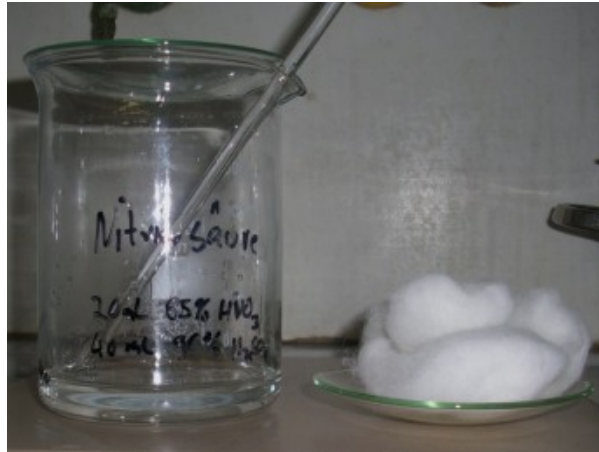


Abb. 6. Watte zur Nitriersäure geben

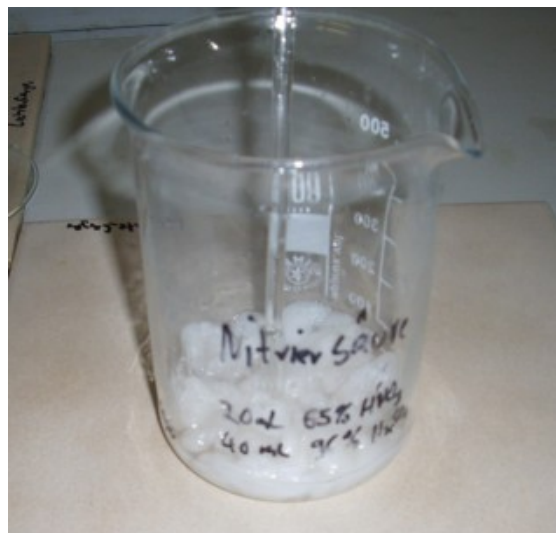


Abb. 7. Watte mit Nitriersäure getränkt

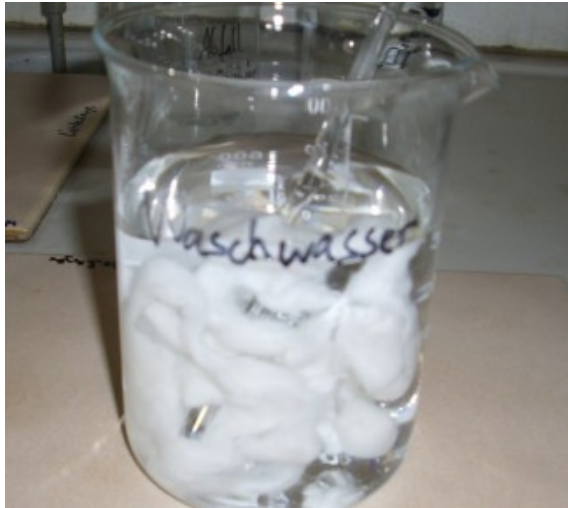


Abb. 8. Waschen der Schießbaumwolle



Abb. 9. Ausdrücken des Waschwassers



Abb. 10. Abpressen mit Filterpapier



Abb. 11. Trocknen auf angewärmter Keramikplatte

Versuchsreihe

Drei Watten von verschiedenen Herstellern wurden getestet:

Watte 1: Jean Carol, Wattekugeln (Softline)

Watte 2: Ebelin, Biowatte (100% Baumwolle)

Watte 3: Lacura, Watte pads (100% Baumwolle)

Alles drei Watten wurden nach dem gleichen Herstellungsverfahren hergestellt.



Beobachtung

Es ließen sich alle drei Watten gut nitrieren. Jedoch aufgrund der festen Fasern ließen sich Watte 2 und 3 beim Trocknen nicht sehr gut auseinander zupfen wodurch der Trocknungsverlauf länger dauerte.

Problem bei allen drei Sorten war die sehr lange Trockenzeit. Auch nach 2 Stunden waren alle nur oberflächlich trocken, doch im Kern immer noch feucht. Kleinere Mengen der getrockneten Fasern verbrannten dennoch rückstandslos. Dies deutet daraufhin das alle Watten erfolgreich nitriert wurden.

Ergebnis

Aufgrund der einfacheren Handhabung hatten wir uns entschieden, die weiteren Versuche mit der Schießbaumwolle mit Watte 1 (Jean Carol) vorzunehmen und das Trocknen der Watte zu optimieren. Im weiteren Verlauf der Arbeiten wurde die Trocknung optimiert indem wir die Schießbaumwolle auf angewärmte Keramikplatten (ca. 50-60°C) legt und diese ständig austauscht sobald diese nicht mehr warm sind. Auch wurde die Schießbaumwolle sehr fein auseinander gezupft um eine größere Oberfläche zuschaffen.



5.5 Schwarzpulver

5.5.1 Geschichte

Das Schwarzpulver wurde vermutlich in China, Indien oder im arabischen Raum erfunden. Allerdings ist nicht bekannt wo es nun zuerst vorkam, da aus dieser Zeit keine Dokumente vorhanden sind. Ob dieses durch Händler oder durch ein erneutes Erfinden nach Europa kam, ist ebenfalls nicht belegt. Der Name des Schwarzpulvers könnte auf den Franziskanermönch Berthold Schwarz, der um das 14. Jahrhundert in Freiburg lebte, zurück zuführen sein. Doch auch das ist nicht bewiesen da alle Dokumente darüber kurz vor der Reformation zerstört wurden. Es könnte es auch sein, dass das Schwarzpulver aufgrund seiner Farbe seinen Namen erhielt. Möglicherweise wurde es zuvor auch als „Donnerkraut“ bezeichnet.

Ungefähr bis zum Jahr 1650 schwankten die Anteile der Komponenten an Kaliumnitrat, Holzkohle und Schwefel sehr stark. Es wurde ein wesentlich höherer Anteil an Schwefel und Kohle verwendet. Ab ca. 1650 hat sich das Mischungsverhältnis 75:15:10 (Kaliumnitrat:Holzkohle:Schwefel) durchgesetzt und bewährt. Es wurde dann in den meisten Fällen als Mittel der Zerstörung benutzt. Es fand als Triebmittel in Kanonen und Gewehren Verwendung, oder auch im Bergbau als Sprengmittel. Gegen Ende des 19. Jahrhunderts wurde das Schwarzpulver durch effektivere Strengstoffe wie Schießbaumwolle, Nitroglycerin oder Dynamit immer mehr ersetzt. Heute wird in Europa Schwarzpulver nur noch von wenigen Fabriken hergestellt, um es für Feuerwerkskörper zu verwenden.

5.5.2 Theoretische Grundlagen

Vereinfachte Reaktionsgleichung





Bei Schwarzpulver handelt sich es um ein Gemisch aus 75% Kaliumnitrat, 15% Holzkohle und 10% Schwefel. Dieses Mischungsverhältnis hat sich über Jahre hinweg bewährt. Als brennbarer Stoff dient hier der Kohlenstoff und Schwefel; letzteres dient jedoch auch noch zur Sensibilisierung bzw. zur Erniedrigung der Zündtemperatur des Schwarzpulvers. Das Kaliumnitrat ist das Oxidationsmittel – es wird Sauerstoff freigesetzt. Die unterschiedlichen Mischungsverhältnisse führen zu jeweils anderen Abbrennverhalten. Bei höheren Anteilen an Kohle brennt das Schwarzpulver langsamer und gleichmäßiger. Ein höherer Anteil an Kaliumnitrat sorgt für heftigeres Abbrennen des Gemisches. Bei der Verbrennung von Schwarzpulver entstehen große Mengen an Gasen, in dieser vereinfachten Reaktionsgleichung kommen jedoch nur ein Teil der freigesetzten Gase vor.

5.5.3 Auswahl verschiedener Methoden

Benötigte Chemikalien

- Kohle/Holzkohle: 3g (15% Massenanteil im Gemisch)
- Schwefel: 2g (10% Massenanteil im Gemisch)
- Kaliumnitrat: 15g (75% Massenanteil im Gemisch)

Sicherheitsvorschriften

- Holzkohle:
R: keine S: keine
- Schwefel: (Xi)
R: 38 , S: (2)-46
- Kaliumnitrat: (O)
R: 8 , S: 17-24/25



Durchführung 1: Trockenes Verfahren

Kaliumnitrat, Schwefel und Aktivkohle/Holzkohle wurden zunächst einzeln in einer Reibschale fein verrieben. Danach wurden 14g Kaliumnitrat, 4g Aktivkohle und 2g Schwefel abgewogen und anschließend mit einem Plastiklöffel vermischt.

(Wurde je einmal mit Aktivkohle und einmal mit Holzkohle durchgeführt)

Durchführung 2: Nasses Verfahren

Man nimmt die gleichen Mengen an Substanz wie bei dem Trockenen Verfahren und verreibt diese zunächst einzeln trocken fein. Anschließend wurde der Ansatz geteilt, einer wurde trocken vermischt, die andere Hälfte wurde mit etwas demin. Wasser angefeuchtet und nass verrieben. Dies führte zu besserer Verteilung des Kaliumnitrates, das sich in Wasser löst und anschließend wieder fein auskristallisiert. Der nasse Brei wurde auf einer angewärmten Keramikplatte getrocknet.

Durchführung 3: Mit Ethanol

Es wurde im Vergleich zu den oben verwendeten Chemikalien nur noch Ethanol benötigt, das Mischungsverhältnis der Komponenten blieb jedoch gleich. Die Komponenten wurden wieder fein verrieben und anschließend wurden diese in ein Becherglas eingewogen. Dann wurden ca. 10ml demin. Wasser hinzugegeben und gut verrührt. Über einem Brenner wurde das Gemisch 15 Minuten unter Rühren erwärmt (darf jedoch nicht sieden!). Danach wurde das Becherglas vom Brenner genommen und ca. 7ml Ethanol hinzugegeben. Nachdem das Gemisch auf Raumtemperatur abgekühlt war, wurde es auf einer angewärmten Keramikplatte getrocknet. Nachdem es komplett trocken war, wurde das Schwarzpulver nochmals vorsichtig verrieben.



Beobachtung und Vergleich der Methoden

Trocken:

- schwer entzündbar
- grobe Körnung
- schwarze Farbe ist mit weißen Punkten versehen – stammen von schlecht verteiltem Kaliumnitrat
- langsame Abbrennzeit

Nass:

- leicht entzündbar
- feine Körnung
- sehr fein verteiltes Kaliumnitrat im Gemisch macht das Schwarzpulver gräulich
- schnelle Abbrenngeschwindigkeit

Mit Ethanol:

- leicht entzündbar
- feine Körnung
- sehr fein verteiltes Kaliumnitrat im Gemisch macht das Schwarzpulver gräulich
- Abbrenngeschwindigkeit langsamer als mit dem Nassverfahren aber schneller als mit der Trockenmethode

Das Trockenverfahren wurde einmal mit Aktivkohle und einmal mit Holzkohle durchgeführt. Aufgrund des ersten Versuchs kamen wir zu der Feststellung, dass die Aktivkohle für die Schwarzpulver-Herstellung ungeeignet ist. Da die Aktivkohle immer etwas Luftfeuchtigkeit absorbiert wird sie langsamer und auch nicht vollständig trocken. Dies führt dazu, dass man eine höhere Zündtemperatur benötigt um das Schwarzpulver zu entzünden und eine schlechtere Abbrennqualität erhält. Aufgrund



dieser Erkenntnisse wurden alle folgenden Versuche mit der Holzkohle durchgeführt. Das Schwarzpulver wurde im Abzug auf einer Metallunterlage entzündet.

Ergebnis

Nach unseren Beobachtungen verbrennt das Schwarzpulver nach dem Nassverfahren am besten. Danach folgt die Methode mit Ethanol und dann das Trockenverfahren. Das liegt vermutlich an der besseren Verteilung der einzelnen Komponenten im Gemisch, die dann nach einer Entzündung eine schnelle und effektive Verbrennung ermöglicht.

Aufgrund der niedrigeren Zündtemperatur bzw. Entzündungsdauer, der wesentlich besseren Verteilung der einzelnen Komponenten im Gemisch und der schnelleren Abbrenngeschwindigkeit lässt sich schlussfolgern, dass die Herstellung von Schwarzpulver nach dem Nassverfahren die beste der drei beschriebenen Methoden ist.

5.5.4 Versuch mit Schwarzpulver und Schießbaumwolle

Durchführung

Im Abzug wurde auf einer Metallunterlage etwas Schwarzpulver verteilt, darauf etwas Schießbaumwolle gegeben und anschließend entzündet.

Dieser Versuch wurde einmal mit dem Schwarzpulver aus dem Nassverfahren und einmal mit dem aus dem Trockenverfahren ausprobiert (Abb. 12. und 13.).

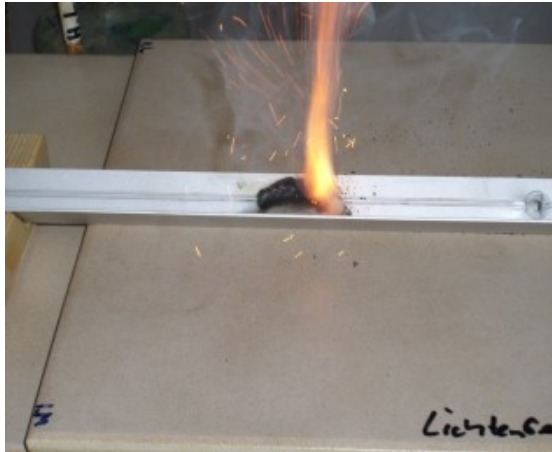


Abb. 12. Schwarzpulver (Nassverfahren)



Abb. 13. Schwarzpulver (Trockenverfahren)

Beobachtung

Das nach dem Nassverfahren hergestellte Schwarzpulver ist entzündet worden und abgebrannt. Die Beobachtungen dazu lassen darauf schließen, dass das Schwarzpulver sehr gut verrieben wurde und die Zündtemperatur der Schießbaumwolle ausreichte um es zu entzünden.

Beim nach dem Trockenverfahren hergestellten Schwarzpulver verpuffte nur die Watte, es hat sich nicht entzündet. Dies liegt vermutlich daran, dass die Komponenten nicht so fein verrieben wurden und somit die Zündtemperatur höher war als bei dem Schwarzpulver aus dem Nassverfahren.

Ergebnis

Das Schwarzpulver aus dem Nassverfahren hat sich entzündet, das nach dem Trockenverfahren nicht.

Daraus lässt sich schließen, dass nach dem Nassverfahren die Zündtemperatur niedriger liegt als nach dem Trockenverfahren.



5.6 Präsentation

Bilder und Bericht zum Experimentalvortrag von Prof. Menzel im Biozentrum der Universität Hohenheim am 30. März 2011 sind online zu finden unter <http://www.chf.de/benzolring/2011/201110330x1-bericht.html>

An dieser Stelle wollen wir ein paar Bilder der Versuche zeigen, die von den beiden Gruppen bei dem Experimentalvortrag im Biozentrum der Universität Hohenheim am 30. März 2011 vorgeführt wurden. Die Bilder wurden uns von Herrn Jürgen Flad zur Verfügung gestellt.

Diese Versuche waren in den Vortrag von Prof. Dr. Menzel über Christian Friedrich Schönbeins Leben, mit Bildern und original Briefen, eingebunden.

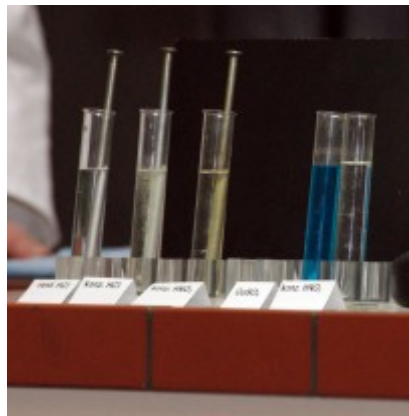


Abb. 14. In verd. HCl ist die H_2 -Entwicklung sehr schwach, in konz. HCl ist sie deutlich sichtbar, in konz. HNO_3 bleibt sie wegen der Passivierung ganz aus



Abb. 15. Passivierter Eisennagel nach dem Eintauchen in die Kupfersulfatlösung vor Berührung



Abb. 16. Eisennagel nach Berührung, Kupfer scheidet sich ab

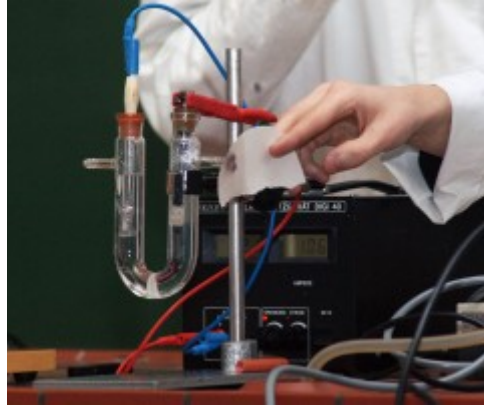


Abb. 17. Bei der Elektrolyse entstehendes Ozon färbt Kaliumiodid/Stärke-Papier



Abb. 18. Ozon bringt einen Luftballon zum Platzen



Abb. 19. Ozon entzündet mit Ethanol getränkte Watte



Abb. 20. Schwarzpulver verbrennt mit starker Raumentwicklung



Abb. 21. Schießbaumwolle verpufft rückstandsfrei



6. Schluss

Zur besseren Übersicht haben wir die Ergebnisse gleich bei den entsprechenden Versuchen interpretiert.

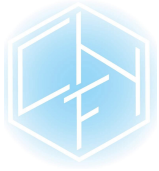
Die zwei gedrehten Videos zu den Versuchen sind online zu finden:

Herstellung der Schießbaumwolle: <http://www.youtube.com/watch?v=X4t5dq5eLI4>

„Das Erröten der Jungfrau“: <http://www.youtube.com/watch?v=odkaA10t814>

Die Videos haben absichtlich keinen Ton, da beide für die Präsentation produziert wurden und dort live zu den Versuchen etwas erzählt wurde.

Abschließend lässt sich sagen, dass wir bei unserer Projektarbeit viel gelernt haben. Christian Friedrich Schönbein war ein großartiger Mensch, der aus einfachsten Verhältnissen stammte und mit einer sehr einfachen Laborausstattung große Entdeckungen machte. Ihn zeichnete sein unermüdlicher Wille aus. Sein Leben zeigt, dass man mit Fleiß und Ehrgeiz viel erreichen kann. Schade ist, dass der Entdecker des Ozons heutzutage schon relativ stark in Vergessenheit geraten ist, obwohl zum Beispiel das Ozonloch ein ständiges Thema in den Medien ist. Wir haben aber bei unserer Arbeit nicht nur etwas über einen großen deutschen Wissenschaftler gelernt, sondern auch Erfahrungen für unser zukünftiges Leben gesammelt. Eine Projektarbeitspräsentation in einem Universitätshörsaal vor vielen Menschen ist etwas ganz besonderes. Natürlich hatten wir davor auch etwas Angst, aber das Erlebte stellt eine gute Bereicherung für unser Leben dar.



7. Literaturverzeichnis

Bücher

- [1] BRANDL, Herbert (2010): Trickkiste Chemie. 3. Auflage. Hallbergmoos: Aulis Verlag in der Stark Verlagsgesellschaft. S 77-79.
- [2] LATSCHA, Hans Peter / KLEIN, Helmut Alfons(1996): Anorganische Chemie. Chemie – Basiswissen I. 7. Auflage. Berlin Heidelberg: Springer-Verlag.
- [3] Merck Eurolab GmbH (Hrsg.)(2000): Der Laborkatalog Merck. Chemikalien und Reagenzien. Darmstadt.
- [4] NOLTE, Peter (1999): Ein Leben für die Chemie. 200 Jahre Christian Friedrich Schönbein, 1799-1999. Metzingen: Arbeitskreis Stadtgeschichte der Volkshochschule Metzingen-Ermstal.
- [5] PRANDTL, Wilhelm (1956): Deutsche Chemiker in der ersten Hälfte des neunzehnten Jahrhunderts. Weinheim/Bergstraße: Verlag Chemie.
- [6] RIEDEL, Erwin (2004): Anorganische Chemie. 6. Auflage. Berlin: Walter de Gruyter.
- [7] Volkshochschule Metzingen (1989): Christian Friedrich Schönbein. 150 Jahre Entdeckung des Ozons. Sonderreihe A der Metzinger Heimatblätter. Metzingen: Volkshochschule Metzingen-Ermstal.
- [8] WAGNER, Georg (1991): Chemie in faszinierenden Experimenten. 7. Auflage. Köln: Aulis Verlag. S 55-57.



Internetseiten

- [1] <http://www.chemiepedia.de> (Entnahmedatum 10.04.2011). Ins Netz gestellt am 23. Dez 2004.
<http://chemipedia.org/mediawiki/index.php/Schwarzpulver>
- [2] <http://www.chids.de> (Entnahmedatum 3.01.2011). GERWIG, Mario (ins Netz gestellt am 4.07.2007).
<http://www.chids.de/dachs/praktikumsprotokolle/PP0132Schuessbaumwolle.pdf>
- [3] <http://www.experimentalchemie.de> (Entnahmedatum 16.10.2010).
<http://experimentalchemie.de/versuch-010.htm>
- [4] <http://www.uni-oldenburg.de> (Entnahmedatum 27.08.2010).
http://www.chemiedidaktik.uni-oldenburg.de/download/Christian_Friedrich_Sch%F6nbein.pdf
- [5] <http://www.wikipedia.de> (Entnahmedatum 20.02.2011).
<http://de.wikipedia.org/wiki/Cellulose>
- [6] <http://www.wikipedia.de> (Entnahmedatum 20.02.2011).
<http://de.wikipedia.org/wiki/Cellulosenitrat>
- [7] <http://www.wikipedia.de> (Entnahmedatum 06.01.2011).
<http://de.wikipedia.org/wiki/Metzingen>
- [8] <http://www.wikipedia.de> (Entnahmedatum 19.11.2010).
<http://de.wikipedia.org/wiki/Sch%C3%B6nbein>
- [9] <http://www.wikipedia.de> (Entnahmedatum 03.04.2011).
<http://wiki.feuerwerk.net/index.php/Schwarzpulver>
- [10] <http://www.wikipedia.de> (Entnahmedatum 17.04.2011).
<http://de.wikipedia.org/wiki/Schwarzpulver>
- [11] <http://www.wikipedia.de> (Entnahmedatum 03.04.2011).
http://upload.wikimedia.org/wikipedia/commons/9/9c/Synthesis_Nitrocellulose.svg