

Abb. 5: Farbskala des Universalindikators

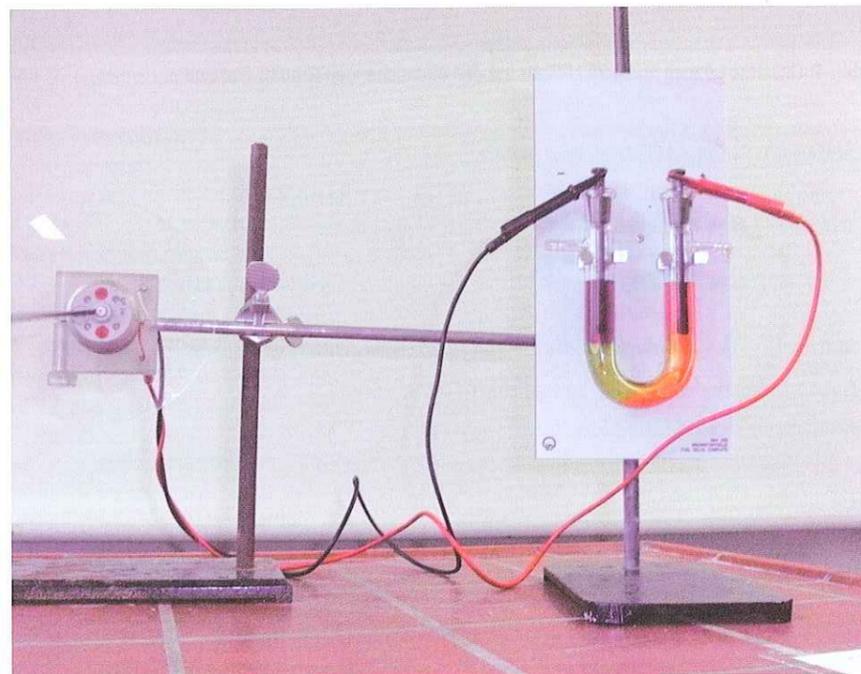


Abb. 6: Elektromotor, der nach der Elektrolyse (Abb. 3) mit den Graphit-Elektroden verbunden wurde

Die Elektrolyse ist endergonisch. Für die Zersetzung von Wasser muss elektrische Energie zugeführt werden.

3.5: Die Lösung im Becherglas (Versuch 3) reagiert neutral (pH 7), weil an der Kathode genauso viel Hydroxid-Ionen gebildet werden wie an der Anode Oxonium-Ionen.

Die Lösung im Becherglas (Versuch 4) reagiert schwach sauer (pH 5), weil an der Graphitelektrode der Sauerstoff eine Sekundärreaktion ausgelöst hat. Kohlenstoffdioxid in wässriger Lösung ist für die saure Reaktion verantwortlich.

Die Lösung in diesem Becherglas sollte mit Kalkwasser eine Trübung (Calciumcarbonat) ergeben.

4.1: Der Rotor des Elektromotors setzt sich in Bewegung und kommt nach kurzer Zeit zum Stillstand. Das Voltmeter zeigt eine Spannung von etwa 2,5 V an, die relativ schnell absinkt.

4.2: Zwischen beiden Elektroden besteht bedingt durch die Adsorption der Gase Wasserstoff und Sauerstoff eine Potentialdifferenz. Sobald ein Verbraucher mit den Elektroden verbunden wird, fließt ein Strom. Es kommt bedingt durch den Stromfluss schnell zu einem Spannungsabfall. Je poröser die Elektrodenoberfläche ist, desto länger kann der Motor angetrieben werden. So kann dieser Versuch als einfaches Modell der Brennstoffzelle angesehen werden.

Es bietet sich ein geeigneter Übergang zur Einheit „Batterien, Akkumulatoren und Brennstoffzellen“ an.

5: Da Wasserstoff leichter als Luft ist, wird die Öffnung des Reagenzglases nach unten gehalten. Der Wasserstoff reagiert mit dem Luftsauerstoff unter Aussendung eines Pfeiftones zu Wasserdampf.

Da Sauerstoff der schwerere Bestandteil der Luft ist, wird die Öffnung des Reagenzglases nach oben gehalten. Ein glimmender Holzspan entzündet in der Sauerstoffatmosphäre und verbrennt zu Kohlenstoffdioxid und Wasserdampf.

Die Natriumsulfat-Lösung ist eine sehr gute Alternative zu der ansonsten verwendeten schwefelsauren Lösung bei der elektrolytischen Zersetzung von Wasser im Hofmannschen Wasserzersetzungsgesetz. Sie bietet Vorteile beim Reinigen des Apparates und greift nicht so stark den inneren Aufbau der Platinelektroden an wie die Schwefelsäure. Ein Nachteil ist die geringere Leitfähigkeit, da die hydratisierten Natrium-Ionen langsamer sind als die hydratisierten Oxonium-Ionen.

Literatur

- [1] Beschlüsse der Kultusministerkonferenz, Einheitliche Prüfungsanforderungen in der Abiturprüfung Chemie, Beschluss vom 1. 12. 1989 i. d. F. vom 5. 2. 2004, Luchterhand, Köln 2004, S. 7
- [2] W. Asselborn, M. Jäckel, Dr. K. T. Risch, Chemie heute SII Gesamtband, Schroedel, Braunschweig 2009, S. 199 ff.
- [3] H. Wambach: Materialien-Handbuch Kursunterricht Chemie, Band 4, Elektrochemie-Energetik, Aulis, Köln 1994, S. 36 f., S. 316 f.
- [4] Das große Tafelwerk interaktiv, Cornelsen, Berlin 2003
- [5] K. Dehnert, M. Jäckel, H. Oehr: Allgemeine Chemie, Schroedel, Hannover 1979, S. 141 f.
- [6] F. Bukatsch, W. Glöckner: Experimentelle Schulchemie, Physikalische Chemie I, Aulis, Köln 1972, S. 139 f.
- [7] G. H. Aylward, T. J. V. Findlay: Datensammlung Chemie in SI-Einheiten, 3. erw. und neu bearb. Aufl., Wiley-VCH, Weinheim 1999
- [8] http://www.seilmacht.com/Chemie/ch_naso4.htm (Letzter Zugriff: 30. 01. 2012)

Anschrift des Verfassers

StD Dr. Hans-Rainer Porth (Fachberater Chemie a. D.), Dachsweg 3, D-38126 Braunschweig, E-Mail: hans-rainer.porth@t-online.de

Der Einsatz von Experimenten in der schriftlichen Abiturprüfung Chemie

K. Schwabe und M. Pötter

Schlüsselwörter: Zentralabitur, Experimentalaufgaben, Aufgabentypen

1 Einleitung

Mit naturwissenschaftlichen Experimenten erfassen Schüler bewusst Erscheinungen anknüpfend aus ihrer Erfahrungswelt. Unter bestimmten Bedingungen repräsentieren diese ausgewählte Aspekte des Wesens untersuchter Phänomene. Dieses ist gedanklich herauszuarbeiten und in entsprechende Konzepte bzw. Leitlinien integriert.

Die Bedeutung des Experiments besteht darin, objektive Widerspiegelung der Realität zu sein. Dabei unterscheiden wir zwischen dem Experiment, der experimentellen Methode und der experimentellen Tätigkeit. Die experimentelle Methode schließt die theoretische und praktische Vorbereitung des Experiments, die aus der Hypothesenbildung und dem Aufbau der Experimentiereinrichtung besteht, die Durchführung des Experimentes sowie die Auswertung der beobachteten Phänomene ein. Die experimentelle Tätigkeit ist für uns die Nutzung der experimentellen Methode zur Vorbereitung, Durchführung und protokollarischen Auswertung des konkreten Experimentes. Im Chemieunterricht hat die experimentelle Tätigkeit große Bedeutung für die Kompetenzentwicklung der Schüler. Sie kann also nicht, wie es im Unterricht geschieht, durch theoretische Erläuterungen der experimentellen Methode ersetzt werden.

Auch in der schriftlichen Abiturprüfung ist das Schülerexperiment bzw. das Gedankenexperiment ein wichtiges Instrument der Erkenntnisgewinnung.

2 Rahmenbedingungen in Sachsen-Anhalt

Die Rahmenrichtlinien beschreiben u. a. dass Schülerinnen und Schüler, die in der Kursstufe das Fach Chemie als Pflichtkurs (vier Wochenstunden) belegen,

- eingeführte Arbeitstechniken und Theorien zum Lösen komplexer Aufgaben weitgehend selbstständig und sachgerecht anwenden und verknüpfen,
- konzise Gedankengänge zu chemischen Sachverhalten mündlich und schriftlich unter Nutzung der Fachsprache darlegen,

- mathematische Symbole und Modelle bei quantitativen Betrachtungen chemischer Sachverhalte sicher anwenden,
- in ausgewählte chemierelevante Sachverhalte tiefgründiger eindringen,
- Zusammenhänge größerer Komplexität erfassen,
- mit Fachquellen zur Chemie, auch in englischer Sprache, arbeiten,
- ausgewählte Methoden selbstständig und umfassend anwenden.

„Gemeinsam mit den Fächern Biologie, Physik und Geographie trägt der Chemieunterricht u. a. durch fachübergreifendes und fächerverbindendes Lernen und Arbeiten zur naturwissenschaftlichen Bildung bei. In diesem Rahmen betrachtet die Chemie die stoffliche Seite der belebten und unbelebten Natur. Gegenstandsspezifisch werden Denk- und Arbeitsweisen der Chemie wie z. B. die Arbeit mit Experimenten und Modellen einschließlich der chemischen Zeichensprache angewendet.“ [1, S. 6]

Für die schriftliche Prüfung im Fach Chemie schreibt die EPA [2] folgende Aufgabentypen vor:

- „Materialgebundene Aufgaben: Erläutern, Auswerten, Interpretieren und Bewerten von fachspezifischem Material (Texte, Abbildungen, Tabellen, Messreihen, Graphen, Filme, Simulationen u. ä.)
- Bearbeitung eines Demonstrations- oder Schülerexperimentes: Beschreiben und Auswerten vorgeführter, dokumentierter oder selbst durchgeführter Experimente und Verwendung der Ergebnisse für anschließende Aufgabenstellungen.

Die Überschneidung beider Aufgabentypen ist möglich.“

In den naturwissenschaftlichen Fächern ist die schriftliche Abiturprüfung in zwei Aufgabenblöcke G (Grundlagen) und V (Vertiefung) gegliedert. Der Aufgabenblock G umfasst strukturell zwei gleiche, inhaltlich unterschiedliche Themen, von denen der Prüfling eins zur Bearbeitung auswählt. Aus dem Aufgabenblock V mit drei Themen entscheidet sich der Prüfling ebenfalls für eins.

Bei der Bearbeitung von Aufgabenblock G werden grundlegende chemische Kenntnisse sowie fachspezifische und überfachliche Kompetenzen nachgewiesen. Für diesen Teil werden auf Leistungskursniveau fünfzig Bewertungseinheiten vergeben, auf Grundkursniveau fünfunddreißig. Jeder Teil besteht aus mehreren komplexen Aufgaben, die in mehrere Teilaufgaben gegliedert sind und in einem sachlogischen Zusammenhang stehen. Die Aufgaben werden mit einem für die Bearbeitung inhaltlichen Kontext (Material) eingeleitet. In den beiden G-Teilen werden Aufgaben in Verbindung mit Experimenten, experimentell gewonnenen Daten oder Gedankenexperimenten gestellt.

Der Aufgabenblock V umfasst stärker materialgebundene bzw. komplexere Aufgaben, deren Lösung z. T. ein planmäßiges bzw. problemlösendes Vorgehen erfordert. Für diesen Teil werden auf Leistungskursniveau zwanzig Bewertungseinheiten und fünfzehn auf Grundkursniveau vergeben.

3 Auswahl der Experimente

Die Auswahl von Experimenten für die schriftliche Abiturprüfung orientiert sich an den Vorgaben der Rahmenrichtlinien (Schlüsselexperimente) [1], aber auch an den Kriterien zur Bewertung experimenteller Schülerleistungen [3]. Diese Kriterien beinhalten die theoretische und praktische Vorbereitung, die Durchführung und die Auswertung des Experimentes sowie allgemeine Arbeitsweisen. Dabei können z. B. nachfolgende Kompetenzen (Wissen und Können) des Prüflings bewertet werden: Fachwissen, Formulieren eines Problems, einer Frage bzw. einer Hypothese und damit verbunden das Ableiten einer experimentell überprüfbareren Aussage, Aufstellen eines Plans zur Durchführung des Experimentes, Auswahl und Umgang mit notwendigen Geräten und Chemikalien, Beachten der Sicherheitsbestimmungen, Durchführen (Beenden) des Experimentes mit den notwendigen Arbeitstechniken und Sichern der Ergebnisse. Das Auswerten des Experimentes beinhaltet z. B. vollständiges Beobachten, richtiges Formulieren wesentlicher Beobachtungsergebnisse, Erklären

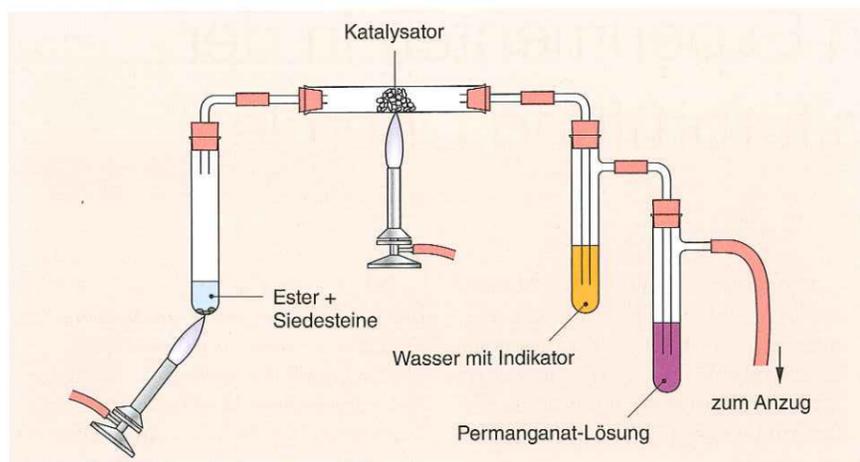


Abb. 1: Versuchsaufbau zur thermischen Zersetzung von Ethansäureethylester

und Erläutern von Beobachtungen bzw. Werten der experimentell zu überprüfenden Aussagen.

Unsere Erfahrungen bestätigen, dass es in der schriftlichen Abiturprüfung nicht immer möglich ist, den Grad der Selbstständigkeit bezogen auf die experimentelle Methode, die Fähigkeit zur theoretischen Durchdringung der experimentellen Aufgabe bzw. die Fertigkeiten der Durchführung dieser Experimente in der vorgegeben Zeit (bis 40 Minuten) umfassend zu werten.

4 Exemplarische Beispiele [4]

Die bisher für die Prüfung eingesetzten Experimente sind offenkundig produktorientiert: Das erwartete Ergebnis wird „demonstriert“. Weniger beachtet in der methodisch-didaktischen Auswahl ist die Prozessorientierung im Sinne eines schülergerechten Erkenntnisprozesses. Die nachfolgenden Beispiele sollen dies verdeutlichen.

Beispiel 1 (Dokumentiertes Experiment)

Wird Ethansäureethylester gemäß Abbildung 1 thermisch zersetzt, so entstehen bei dieser Eliminierung zwei organische Zersetzungsprodukte. Eines der Produkte reagiert in wässriger Lösung schwach sauer, das andere ist ein brennbares Gas, welches mit Permanganat-Lösung reagiert. Dabei bilden sich im basischen Milieu Ethan-1,2-diol und Mangan(IV)-oxid. Erläutern Sie die Vorgänge der Zersetzung von Ethansäureethylester einschließlich der nachfolgenden Identifizierungsreaktionen der Zersetzungsprodukte.

Beispiel 2 (Experimente zu Nachweisreaktionen)

a) **Ionennachweise:** Die verdünnten wässrigen Lösungen folgender Stoffe

sind durch einfache Experimente zu identifizieren:

Bariumchlorid, Chlorwasserstoff, Eisen(III)-chlorid, Kaliumchlorid. Entwickeln Sie einen Plan zur Identifizierung. Fordern Sie die benötigten Chemikalien an.

Führen Sie die Nachweise durch und werten Sie aus.

b) Identifizierung von Stoffen durch Struktur-Reaktivitäts-Beziehungen (Kriterium funktionelle Gruppen):

Sie erhalten in drei Bechergläsern die Lösung von Methansäure sowie Propan-1-ol und Propanal.

Erstellen Sie einen Plan zur Identifizierung dieser organischen Verbindungen, wobei fuchsin-schweflige Säure (Schiffs-Reagenz) nicht zur Verfügung steht.

Fordern Sie die benötigten Chemikalien an und führen Sie die Nachweisreaktionen aus. Werten Sie zur Identifizierung alle Beobachtungen aus und ordnen Sie die Stoffe zu.

Die nächsten Beispiele sollen verdeutlichen, wie der Anteil der Prozessorientierung im Sinne von Denken und Experimentieren bzw. Experimentieren und Denken gefordert wird. Diese Orientierung, formal zu denken widerspiegelt z.B. das Denken in Abstraktionen und entsprechender Konzepte (z.B. MWG, Donator-Akzeptor-Prinzip), Klassifizieren bzw. Systematisieren, Problemlösen nach Plan, bewusstes, selbstkritisches Denken sowie korrelatives und kombinatorisches Denken.

Beispiel 3 (Schülerexperiment)

Stellen Sie eine Natriumhydrogencarbonat-Lösung her, indem Sie eine Spatel-

spitze Natriumhydrogencarbonat in 5 mL destilliertem Wasser lösen. Geben Sie zu dieser Lösung zwei Tropfen ethanolischer Phenolphthalein-Lösung ($w = 0,1\%$) und erwärmen Sie das Gemisch vorsichtig. Erläutern Sie Ihre Beobachtungen. Berechnen Sie den pH-Wert der Lösung vor dem Erwärmen

- a) unter der Annahme, dass in 5 mL Lösung 10 mg Natriumhydrogencarbonat gelöst sind und die Hydrogencarbonat-Ionen als schwache Base wirken sowie
b) mithilfe der Größengleichung für Ampholyte $\text{pH} = \frac{1}{2} (14 + \text{p}K_s - \text{p}K_b)$.

Begründen Sie, dass das Ergebnis unter b) den pH-Wert exakter wiedergibt.

Beispiel 4 (Dokumentiertes Experiment)

In zwei Reagenzgläsern befinden sich jeweils Methanol- und Methansäure-Lösung. Beide Lösungen werden mit angesäuertem Kaliumpermanganat-Lösung versetzt. In beiden Reagenzgläsern wird eine Entfärbung der violetten Kaliumpermanganat-Lösung beobachtet. Deuten Sie die Beobachtungsergebnisse qualitativ und quantitativ.

Mithilfe der Kontextorientierung können Experimente sinnvoll Theorie und Praxis miteinander verbinden. Dabei kann der Grad der Ausprägung „chemischen Denkens“ bewertbar aufgezeigt werden.

Beispiel 5 (U-Boot):

Chemische Reaktionen im U-Boot

Material: U-Boote sind auf der einen Seite gefährliche Waffenträger und auf der anderen Seite komplizierte und technisch ausgereifte Systeme. Nicht erst seit dem Untergang der „Kursk“ am 21.08.2000 sind die Gefahren, die Probleme und das zerstörerische Potenzial dieser Waffenträger bekannt. Die Energieversorgung, die Versorgung der Besatzungsmitglieder im System mit Sauerstoff und Trinkwasser sowie die Beseitigung von Kohlenstoffdioxid sind überlebenswichtig. In der „Kursk“ wurde die Energieversorgung durch zwei Druckwasserreaktoren von je 190 MW sichergestellt. So kann durch Elektrolyse von entsalztem Meerwasser Sauerstoff zum Atmen bereitgestellt werden.

1.1: Das folgende Experiment ist ein Modellversuch für die Elektrolyse von Meerwasser.

Experiment: Führen Sie die Elektrolyse einer Natriumchlorid-Lösung in einem U-Rohr mit zwei Kohlenstoff-Elektroden und mit einer Spannung $U = 4 \text{ V}$ unter Ein-

haltung der Sicherheitsbestimmungen durch. Fügen Sie nach einiger Zeit zur Natriumchlorid-Lösung an beiden Polen ethanolische Phenolphthalein-Lösung ($w = 0,1\%$) hinzu.

- a) Geben Sie Ihre Beobachtungen an.
b) Werten Sie das Experiment aus.
c) Erläutern Sie unter Einbeziehung der chemischen Zeichensprache die an den Elektroden ablaufenden Reaktionen.

1.2: Die Elektrolyse von Wasser wird zur Sauerstoffversorgung genutzt.

- a) Erläutern Sie diese mithilfe einer beschrifteten Skizze unter Einbeziehung der chemischen Zeichensprache.
b) Geben Sie die zu erwartenden Beobachtungen an und beschreiben Sie mögliche Nachweisreaktionen für die gasförmigen Reaktionsprodukte.
c) Geben Sie die Lewis-Formeln für die beiden molekularen Reaktionsprodukte an und beschreiben Sie die chemische Bindung in einem der Moleküle.
d) Begründen Sie aus dem Verlauf des Experimentes aus Aufgabe 1.1 die Aussage: „Die Aufarbeitung des Meerwassers vor der Elektrolyse ist zwingend notwendig.“

Beispiel 6

(Dokumentiertes Experiment)

Material: Zur schnellen Kühlung bei Sportverletzungen kommen so genannte „Eispacks“ zur Anwendung. Durch starkes Zusammendrücken, wobei eine Trennwand zwischen Wasser und einem weißen Feststoffgemisch (Ammoniumnitrat, Magnesiumcarbonat und Magnesiumsulfat) zerreißt, werden sie funktionsfähig. Dieses Gemisch wird in dem Verpackungstext nur als „Ammoniumnitrat“ bezeichnet. Reines Ammoniumnitrat wird nicht verwendet, weil es explosiv wirken kann.

Auf drei Uhrglasschalen befinden sich die getrennten Bestandteile eines „Eispacks“. Diese Feststoffe sollen nur mittels konzentrierter Natronlauge und konzentrierter Salzsäure identifiziert werden.

1. Begründen Sie eine Vorgehensweise zur Identifizierung.
2. Erläutern Sie die saure, basische oder neutrale Reaktion sowohl einer Ammoniumnitrat- als auch einer Magnesiumcarbonat-Lösung und an einem der Beispiele das Wesen der vorliegenden Reaktionsart.

Das Beispiel 7 zeigt eine Aufgabenstellung (Grundkursniveau) zum Experimentellen Arbeiten in ihrer Komplexität.

Beispiel 7

(Thema: Experimentelles Arbeiten)

Das Experiment ist ein grundlegendes Mittel der Erkenntnisgewinnung in den Naturwissenschaften. Dabei werden Erscheinungen unter ausgewählten, kontrollierten, veränderbaren und wiederholbaren Bedingungen bei weitestgehendem Ausschluss von nebensächlichen und störenden Einflüssen beobachtet und ausgewertet.

1: In einem Experiment entsprechend der Abbildung 2 wird aus freigesetztem Chlorwasserstoff Salzsäure dargestellt.

1.1: In einem Liter einer verdünnten Salzsäure sind unter Normbedingungen ca. 20 L Chlorwasserstoff gelöst.

Berechnen Sie die Masse an Natriumchlorid, die bei Annahme vollständiger Umsetzung für die Herstellung dieses Volumens an Chlorwasserstoff eingesetzt werden muss.

1.2: Es wird angenommen, dass eine wässrige Lösung des Chlorwasserstoffs (Salzsäure) mit einer Konzentration $c = 1 \text{ mol/L}$ gegeben ist.

Wählen Sie begründet aus den Stoffen Brom, Kaliumcarbonat, Kaliumpermanganat, Magnesium und Silber drei geeignete Reaktionspartner für die gegebene Lösung aus, sodass in drei verschiedenen chemischen Experimenten jeweils eines der Gase Chlor, Kohlenstoffdioxid und Wasserstoff gebildet wird.

2: Gegeben ist eine chemische Verbindung mit der Summenformel $\text{C}_2\text{H}_6\text{O}$. Es handelt sich um eine farblose Flüssigkeit.

Problem: Es soll nachgewiesen werden, dass die Wasserstoffatome nicht ausschließlich an Kohlenstoffatome gebunden sind.

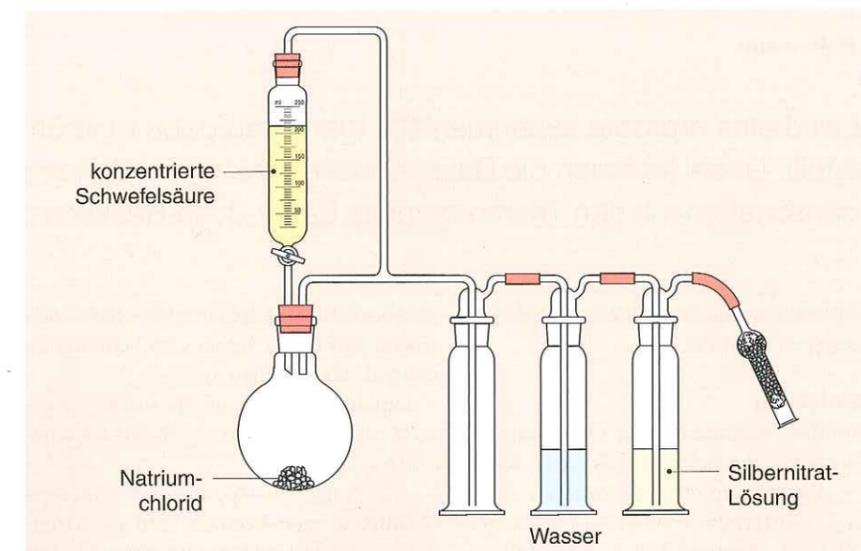


Abb. 2: Experiment zur Aufgabe

Experimentell überprüfbare Aussage: Wasserstoffatome sind auch an Sauerstoffatome gebunden.

Entwickeln Sie ein Experiment, welches die Aussage bestätigt.

Hinweis: Die geplante Bearbeitungszeit beträgt ca. 80 Minuten.

Am Beispiel 8 soll verdeutlicht werden, welche Lösungsschritte zur vollständigen Bearbeitung in logischer Reihenfolge notwendig sind.

Beispiel 8: (Schülerexperiment)

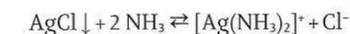
Führen Sie folgendes Experiment durch: Versetzen Sie eine Silbernitrat-Lösung tropfenweise mit einer verdünnten Natriumchlorid-Lösung. Geben Sie danach verdünnter Ammoniak-Lösung bis zum Überschuss hinzu.

Erklären Sie die beobachteten Sachverhalte und formulieren Sie die Reaktionsgleichungen. Bestätigen Sie Ihr Ergebnis durch Anwenden des MWG bzw. Berechnung.

Erläutern Sie die praktische Bedeutung solcher Reaktionsabläufe an einem Beispiel ausführlicher.

Schülerantwort zum Erklären der beobachteten Sachverhalte:

Silberchlorid löst sich als Silberdiamminchlorid auf:



Diese verkürzte Aussage vermischt die Beobachtung und ihre Interpretation durch das Einbeziehen der Löslichkeitsbeeinflussung mit überlagerter Komplexbildungsreaktion als theoretisches Wissen.

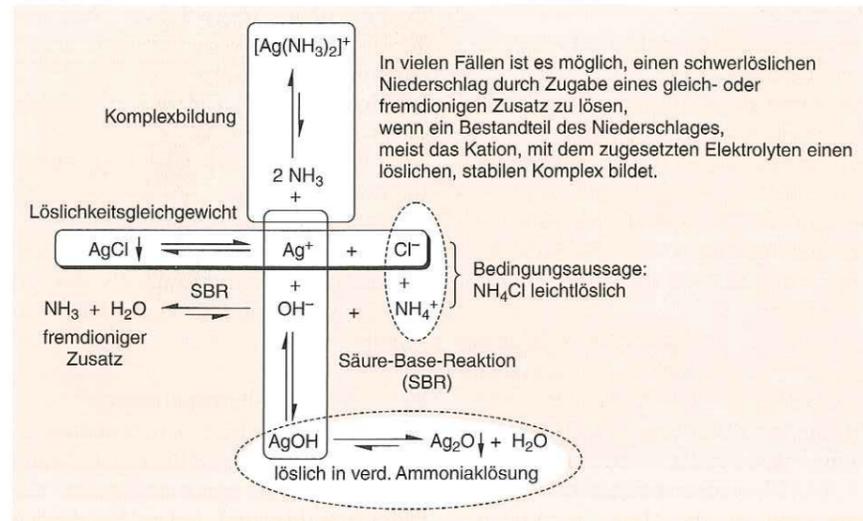


Abb. 3: Schema zur Erklärung der Beobachtungen

Erwartete Schülerleistung:

Beobachtung: Der frisch gefällte, weiße, käsige Niederschlag (optisch-sinnliche Beschreibung) von Silberchlorid (stofflicher Umsatz) wird durch Zugabe von verdünnter Ammoniaklösung wieder aufgelöst.

Zum Erklären dieser Beobachtung (s.u. Schema) sind folgende Begriffe, Gesetze und Theorien notwendig:

Massenwirkungsgesetz, Löslichkeitsprodukt, Löslichkeit, Komplexbildungsreaktionen, Säure-Base-Reaktionen, Komplexbildungskonstante, Theorie der chemischen Bindung bzw. elektrolytische Dissoziation.

Erst wenn diese Denkschemata in eine logische Beziehung gebracht werden, wird dem Schüler verständlich, dass Silberchlorid in dieser Reaktion zu einer wasserlöslichen, farblosen Komplexverbindung reagierte. Der experimentierende Prüfling bestimmt das zu erwartende Ergebnis (Abb. 3).

Durch dieses Beispiel soll aufgezeigt werden, dass Ablauf und Ergebnis chemi-

scher Reaktionen nicht direkt beobachtbar sind, sondern aus Indizien erschlossen werden müssen [5].

Dank

Die Autoren bedanken sich bei den Mitgliedern der Aufgabenkommission für die jederzeit konstruktiv geführten Diskussionen.

Literatur

[1] Rahmenrichtlinien Gymnasien Chemie (in angepasster Fassung gemäß Achtem Gesetz zur Änderung des Schulgesetzes des Landes Sachsen-Anhalt vom 27. 02. 2003)

[2] Einheitliche Prüfungsanforderungen in der Abiturprüfung Chemie, Beschluss der Kultusministerkonferenz vom 12. 03. 2004

[3] E. Rossa, Methodik Chemieunterricht, Volk und Wissen, Berlin 1975, hier: Konkrete Fachdidaktik Chemie

[4] www.bildung-lsa.de (hier: Schriftliche Abiturprüfung, letzter Zugriff: 04. 03. 2012)

[5] G. Vollmer, Sprache und Begriffsbildung im Chemieunterricht, Diesterweg, Frankfurt 1980

Anschriften der Verfasser

Dr. Matthias Pötter, LISA Halle, Riebeckplatz 9, D-06110 Halle, E-Mail: matthias.poetter@lisa.mk.sachsen-anhalt.de

Kurt Schwabe, Georg-Cantor-Gymnasium, Torstraße 13, D-06110 Halle, E-Mail: kurtalfred.schwabe@googlemail.com

Chemie mit dem Wirkstoff der Aspirin-Tablette

Eine praktische Aufgabe für Unterricht und Klausuren

M. Ratermann

Es wird eine erprobte experimentelle Klausuraufgabe rund um das Arzneimittel Aspirin vorgestellt. Dabei kommen die Basis-Konzepte Akzeptor-Donator-Reaktionen und Struktur und Eigenschaften mit den Themengebiete Säure-Base-Reaktionen und Farbstoffe zum Einsatz.

Schlüsselwörter: Aspirin, Säure-Base-Reaktion, Farbstoffe, Mesomerie

1 Einleitung

Besonders motivierend ist Chemieunterricht, wenn die Schülerinnen und Schüler selbstständig experimentieren können. Im Unterricht wird dies in der Regel in Kleingruppen geschehen, in Tests und Klausuren eher als Einzelexperiment. Das

hier beschriebene Experiment eignet sich sowohl für einen Einsatz im Schulunterricht, als auch in Klausuren.

Experimente, die in Klausuren eingesetzt werden können, zeichnen sich dadurch aus, dass sie

- mit einfachen Apparaturen durchgeführt werden können, sodass ausreichend Schülerarbeitsplätze angeboten werden können,

- mit großer Sicherheit zu Ergebnissen führen, die sinnvoll ausgewertet werden können und
- nur Chemikalien erfordern, von denen keine Gefährdungen ausgehen.

Das vorgestellte Experiment genügt den genannten Kriterien. Die Verwendung einfacher Kunststoffspritzen verringert den apparativen Aufwand für die Titration er-

Untersuchung von Aspirin-Tabletten

Acetylsalicylsäure, kurz ASS, ist ein weit verbreiteter Bestandteil schmerzstillender Medikamente.

Vorbereiteter Versuch:

Herstellung der Versuchslösung

Mehrere ASS-Tabletten wurden in Natronlauge ($c=0,1 \text{ mol/L}$) 15 Minuten lang gekocht. Pro Tablette wurden genau 50 mL Natronlauge eingesetzt. Die so vorbehandelte Lösung steht für die Experimente zur Verfügung.

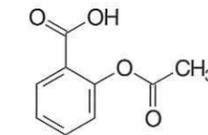


Abb. 1: Acetylsalicylsäure

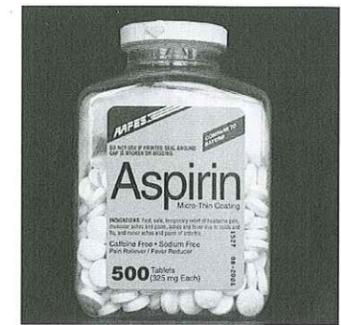


Abb. 2: Untersuchte Tablettenart

Schülerversuch 1: Bestimmung des ASS-Gehaltes einer Tablette durch Rücktitration

Materialien für den Schülerarbeitsplatz: Schutzbrille, Messzylinder 100 mL, Kunststoffspritze 10 mL, 4 PP-Einmalpipetten 3 mL, Weithals-Erlenmeyerkolben 300 mL, Becherglas 100 mL, Reagenzglasständer, 4 Reagenzgläser mit Gummistopfen

Chemikalien: (jeweils in Tropfflaschen 100 mL)

Salzsäure ($c=0,1 \text{ mol/L}$), Natronlauge ($c=0,1 \text{ mol/L}$), 1-Pentanol (gesundheitsschädlich, Xn), Sulfanilsäure-Lösung ($w=0,1 \%$), Natriumnitrit-Lösung ($w=0,1 \%$), Phenolphthaleinlösung ($w=0,1 \%$), Indikatorpapier

Durchführung: Füllen Sie von der vorbehandelten Lösung der Aspirin-Tabletten ca. 80 mL in Ihren Erlenmeyerkolben und nehmen Sie die Lösung mit zu Ihrem Arbeitsplatz.

Titrieren Sie genau 50 mL dieser Lösung unter Verwendung der Kunststoffspritze mit Salzsäure der Konzentration $c=0,1 \text{ mol/L}$ bis zum Farbumschlag des Indikators Phenolphthalein

Schülerversuch 2: Bunte Farben aus ASS

Geben Sie in ein Reagenzglas 5 mL der vorbehandelten Versuchslösung der Aspirin-Tabletten. Füllen Sie in ein weiteres Reagenzglas je 2,5 mL Sulfanilsäure-Lösung und 2,5 mL Natriumnitrit-Lösung und säuern Sie mit einigen Tropfen Salzsäure an.

Gießen Sie diese Lösung nach etwa 15 Sekunden zu der in Reagenzglas 1 und teilen Sie die erhaltene farbige Lösung in zwei Portionen auf zwei Reagenzgläser auf.

Säuern sie eine der Proben mit Salzsäure an und machen Sie die andere mit etwas Natronlauge alkalisch, bis ein deutlicher Farbunterschied sichtbar ist. Prüfen Sie mit Indikatorpapier, ob eine der Lösungen sauer ist.

Überschichten Sie jeweils mit etwa 3 mL 1-Pentanol, verschließen sie die Reagenzgläser mit Stopfen und schütteln Sie beide Ansätze.

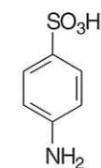


Abb. 3: Sulfanilsäure

Materialien

Wellenlänge des Lichtes	Farbe des Lichtes	Komplementärfarbe
350–400 nm	ultraviolett	
400–435 nm	violett	gelbgrün
435–480 nm	blau	gelb
480–490 nm	grünblau	orange
490–500 nm	blaugrün	rot
500–560 nm	grün	purpur
560–580 nm	gelbgrün	violett
580–595 nm	gelb	blau
595–605 nm	orange	grünblau
605–750 nm	rot	blaugrün

Tab. 1: Wellenlänge und Farbe von Licht

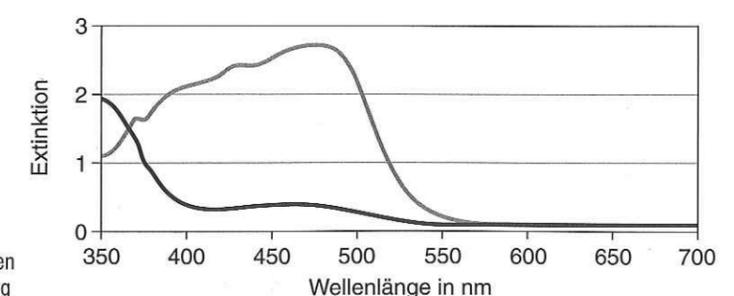


Abb. 4: Absorptionsspektren der erhaltenen Farbstoffe in saurer und alkalischer Lösung



Abb. 5: Aspirin-Tabletten Sorte 2



Abb. 6: Aspirin-Tabletten Sorte 3

hebt. Die damit verbundene etwas geringere Genauigkeit der Ergebnisse kann problematisiert werden und beeinträchtigt die Möglichkeiten der Auswertung nicht. Die beschriebene Farbstoffsynthese führt zu leicht reproduzierbaren Ergebnissen. Auf die sonst übliche Kühlung der Lösungen bei der Diazotierung kann in diesem Fall verzichtet werden. Alle Chemikalien werden in verdünnten Lösungen eingesetzt, sodass bei sachgemäßem Gebrauch keine Gefährdung zu erwarten ist.

2 Aufgabe

Im ersten Teil der Aufgabe wird der Acetylsalicylsäuregehalt in Tabletten nach einer etwas vereinfachten Variante eines in der Arzneimittelanalytik üblichen Verfahrens [1, S. 7] experimentell bestimmt. Ein Teil des Versuches wird durch die Lehrperson vorbereitet. Dazu werden die Tabletten etwa 15 Minuten lang in verdünnter Natronlauge gekocht, wobei eine Neutralisation und alkalische Esterhydrolyse des Wirkstoffes erfolgen. Die Konzentration der Acetylsalicylsäure wird durch Rücktitration der unverbrauchten Natronlauge im Schülerexperiment ermittelt.

Im zweiten Teil wird aus den im Hydrolysat vorhandenen Salicylat-Ionen durch Kupplung mit diazotierter Sulfanilsäure ein Azofarbstoff hergestellt. Dieser Farbstoff scheint unter dem Namen Mordant Yellow 10 als Textilfarbstoff eine gewisse Bedeutung zu besitzen [2]. Der pH-abhängige Farbwechsel und das Lösungsverhalten des Azofarbstoffes werden beobachtet und im Zusammenhang mit Strukturüberlegungen erklärt.

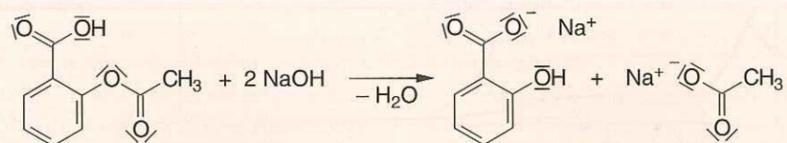


Abb. 7: Hydrolyse und Neutralisation von ASS

Die notwendigen Experimente sind in etwa einer halben Stunde gut zu bearbeiten. Für den Fall, dass die Titration nicht zu befriedigenden Ergebnissen führen oder fehlerhaft durchgeführt werden sollte, sollte ein Vorrat an vorbereitetem Hydrolysat zur Verfügung stehen, um die Titration notfalls wiederholen zu können.

3 Einsatzmöglichkeiten

Die hier vorgestellte Aufgabe wurde bereits mehrfach gegen Ende des Oberstufenunterrichts eingesetzt. Ihre erfolgreiche Bearbeitung erfordert neben allgemeinen Kenntnissen, z. B. zum Zusammenhang zwischen Polarität und Löslichkeit, Vorkenntnisse aus den Bereichen Säuren und Basen (Titration), Reaktionsmechanismen (alkalische Esterhydrolyse, Diazotierung) und Farbstoffchemie (Farbigkeit von Azofarbstoffen und Mesomeriemodell). Auch wenn der Mechanismus der Esterhydrolyse von vielen Lehrplänen nicht explizit gefordert wird, dürfte er im Unterricht häufig thematisiert werden, etwa wenn die Seifenherstellung behandelt wird. Ähnliches gilt für den Mechanismus der Farbstoffsynthese. Es besteht die Möglichkeit, Zusammenhänge zwischen Farbigkeit und Struktur bei der Behandlung von Säure-Base-Indikatoren zu erarbeiten. Das ist besonders gut am Beispiel der Azofarbstoffe möglich. An dieser Stelle bietet sich dann auch die Möglichkeit, auf motivierende und anschauliche Weise auf den Aspekt der Mesomerie im Zusammenhang mit der Farbigkeit einzugehen.

Die Auswertung der Experimente bietet vielfältige Möglichkeiten für eine vertiefte Auseinandersetzung mit den beobachte-

ten Phänomenen und erfordert daher ausreichend Zeit. Wie viel Zeit benötigt wird, hängt unter anderem davon ab, ob jeweils ausführlich dargestellte Reaktionsmechanismen als Lösungen erwartet werden. In der hier dargestellten Form ist die Aufgabenstellung für längere Klausuren geeignet. Beide Aufgabenteile sind aber voneinander unabhängig und können insofern auch einzeln in kürzeren Klausuren oder Übungen eingesetzt werden.

4 Aufgaben

- Erläutern Sie die Vorgänge, die beim Kochen der ASS-Tabletten in Natronlauge ablaufen.
- Bestimmen Sie aufgrund ihrer Ergebnisse aus dem Schülerversuch den Gehalt der ASS-Tabletten an Acetylsalicylsäure. Interpretieren Sie Ihre Ergebnisse und begründen Sie mögliche Abweichungen von den von Ihnen erwarteten Werten.
- Erläutern Sie, inwiefern das beschriebene Verfahren ebenso geeignet wäre, die ASS-Konzentration der ASS-Tabletten der Sorten 2 und 3 (Abb. 5 und 6) zu untersuchen. Modifizieren Sie gegebenenfalls die Vorschrift für diesen Zweck.
- Beschreiben Sie die Versuchsbeobachtungen zu Versuch 2 und begründen sie die zu beobachtenden Effekte unter Verwendung der Materialien.

5 Erwartete Lösungen

- Beim Kochen der Acetylsalicylsäure mit Natronlauge laufen zwei Reaktionen ab. Die Acetylsalicylsäure wird zunächst neutralisiert. Gleichzeitig findet eine alkalische Esterhydrolyse statt:
- Pro Molekül Acetylsalicylsäure werden zwei Hydroxid-Ionen verbraucht. Die Bestimmung der Stoffmenge der nicht abgereagerten Hydroxid-Ionen erfolgt über die Rücktitration mit Salzsäure. Bei Verwendung von 50 mL der Lösung für die Titration ergibt sich:

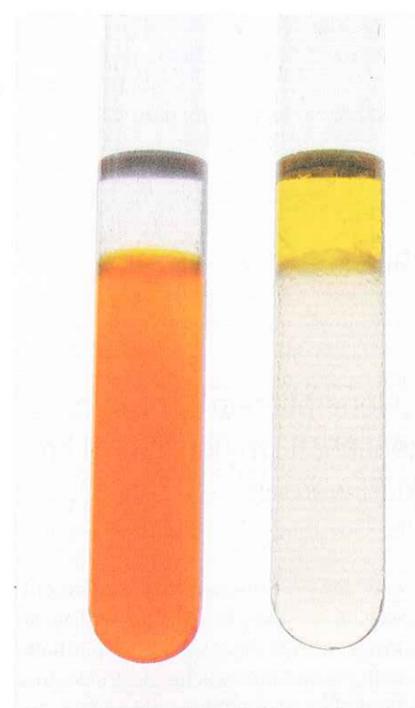


Abb. 8: Farbstoff in alkalischer (links) und saurer Lösung (rechts)

Bis zum Umschlagpunkt des Indikators werden 14 mL Salzsäure benötigt. Das entspricht einer Stoffmenge der Salzsäure bzw. Natronlauge von $n = c \cdot V = 0,1 \text{ mol/L} \cdot 0,014 = 0,0014 \text{ mol}$. In 50 mL der ursprünglich eingesetzten Natronlauge waren $n = c \cdot V = 0,1 \text{ mol/L} \cdot 0,05 = 0,005 \text{ mol}$ Hydroxid-Ionen enthalten. Davon wurden 0,0036 mol für die Neutralisation und Hydrolyse der Acetylsalicylsäure verbraucht. Das entspricht einer Stoffmenge der Acetylsalicylsäure von 0,0018 mol. Daraus ergibt sich eine Masse der in einer Tablette enthaltenen Acetylsalicylsäure von $m = n \cdot M = 0,0018 \text{ mol} \cdot 180 \text{ g/mol} = 0,324 \text{ g}$. Das entspricht (in diesem Fall exakt) der Angabe auf der Umverpackung der Tabletten. Mit zumeist geringfügigen Abweichungen von den erwarteten Ergebnissen ist wegen der sehr einfachen Apparaturen und der damit verbundenen Ungenauigkeiten zu rechnen.

- Für die Tablettenart Aspirin plus C ist das Verfahren nicht in dieser Form geeignet, da die Tabletten Ascorbinsäure enthalten, die ebenfalls mit Natronlauge neutralisiert würde.

Die Tablettenart ASS Ratiopharm 500 enthält 500 mg ASS pro Tablette. Das entspricht einer Stoffmenge von 2,78 mmol ASS. Für die Neutralisation und Hydrolyse der in einer Tablette enthaltenen ASS-Menge würden also 55,6 mL Natronlauge benötigt. Der An-

satz muss geändert werden, da das hier eingesetzte Volumen der eingesetzten Natronlauge von 50 mL nicht ausreicht. Man könnte zum Beispiel mindestens 60 mL Natronlauge pro Tablette einsetzen.

- Versuchsbeobachtung: Beim Zusammengeben der beiden Lösungen bildet sich sofort ein Farbstoff. Dieser färbt sich beim Ansäuern gelb und in alkalischer Lösung orange. Die gelbe Form des Farbstoffes lässt sich durch 1-Pentanol extrahieren, die in der wässrigen Phase orange bleibt (Abb. 8).

Deutung: Gibt man Natriumnitrit zu Sulfanilsäure und säuert an, bilden sich Diazoniumionen. Diese koppeln an die in dem Hydrolysat vorhandenen Salicylat-Ionen unter Bildung eines Azofarbstoffes (Abb. 9).

Der Farbwechsel lässt sich durch Anwendung des Mesomeriemodells erklären. Dieses Modell geht davon aus, dass die Lichtabsorption umso langwelliger erfolgt, je ausgeprägter die Mesomerie des Farbstoffmoleküls ist. Diese ist umso ausgeprägter, je größer das mesomere System ist und/oder je gleichwertiger die zu seiner Beschreibung möglichen Grenzstrukturen sind. In diesem Fall lässt sich mit letzterem Aspekt argumentieren:

In alkalischer Lösung bilden sich Anionen. Die mesomeren Grenzstrukturen erfordern lediglich eine Ladungsverchiebung. Beide formulierten Grenzstrukturen sind etwa gleichwertig, die

Lichtabsorption deshalb vergleichsweise langwellig. Die orange Farbe kommt dadurch zustande, dass grünes Licht mit einer Wellenlänge um 490 nm absorbiert wird (vgl. Abb. 4). Wegen der vorhandenen Ladungen ist der Farbstoff gut wasserlöslich und lässt sich nicht mit dem weitgehend unpolaren 1-Pentanol extrahieren. In saurer Lösung liegen ungeladene Neutralkomplexe vor. In einer der beiden möglichen Grenzstrukturen tritt eine energetisch ungünstige Ladungstrennung auf. Die Grenzstrukturen sind also nicht gleichwertig, die Mesomerie ist weniger ausgeprägt und die Lichtabsorption wird kurzwelliger. Sie liegt unter 490 nm, sodass der Farbstoff gelb erscheint. Der Farbstoff ist nahezu unpolar und lässt sich deshalb mit dem weitgehend unpolaren 1-Pentanol extrahieren.

Literatur

- <http://www.students.uni-mainz.de/owahl/frei/Arzneianalytik.pdf> (letzter Zugriff am 12.02.2012)
- <http://www.chemblink.com/products/6054-99-5.htm> (letzter Zugriff am 12.02.2012)

Anschrift des Verfassers

OStR Martin Ratermann, Liebfrauenschule, Marienstr. 4, D-49377 Vechta
E-Mail: martin.ratermann@ewetel.net

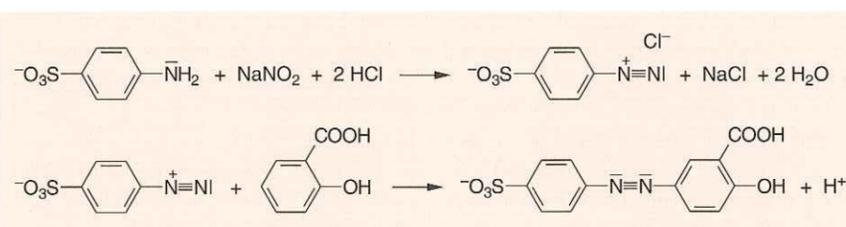


Abb. 9: Diazotierung und Azokupplung

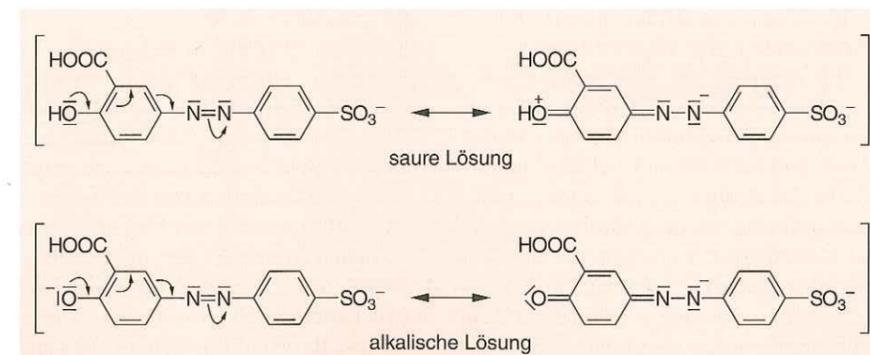


Abb. 10: Mesomere Grenzstrukturen des Azofarbstoffes