

Organisch-chemisches Praktikum für Studierende des Lehramts

WS 08/09

Praktikumsleitung: Dr. Reiß

Assistent: Jan Schäfer

Name: Sarah Henkel

Datum: 09.12.2008

Gruppe 11: Naturstoffe und Lebensmittel

Versuch: Eisenpräparate und schwarzer Tee (Selbst)

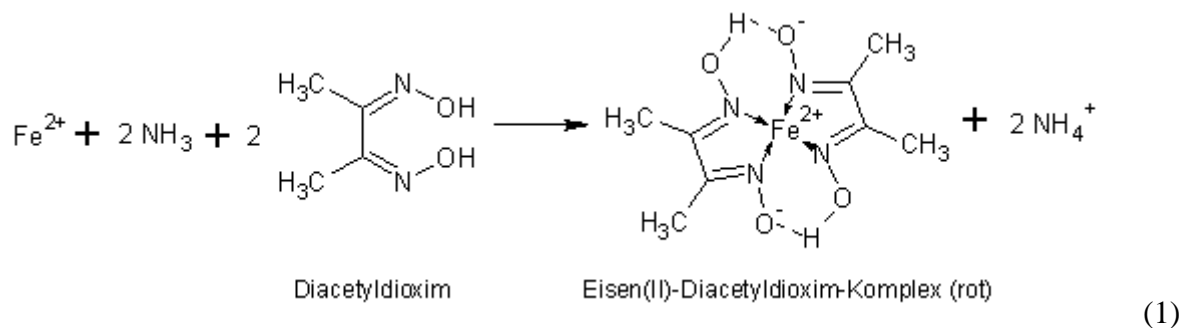
Zeitbedarf

Vorbereitung: 20 Minuten

Durchführung: 40 Minuten

Nachbereitung: 15 Minuten

Reaktionsgleichung



Chemikalien

Tab. 1: Verwendete Chemikalien.

Eingesetzte Stoffe	Formel	Menge	R-Sätze	S-Sätze	Gefahrensymbole	Schul-einsatz
Eisen(II)-sulfat-Lösung (gesättigt)	$\text{FeSO}_4 \cdot 7 \text{H}_2\text{O}$	10 mL	22	-	Xn	S I
Teeblätter (schwarzer Tee)		2 g	-	-	-	S I

Diacetyldioxim	H ₃ C- C(NOH)C(N OH)CH ₃	Spatelspit- ze	-	-	-	S I
Ethanol	C ₂ H ₅ OH	5 mL	11	2-7-16	F	S I
Konz. Ammo- niak-Lösung (w = 25 %)	NH ₃ (aq)	5 mL	36/37/38	1/2-26- 36/37/3 9-45-61	Xi	S I

Geräte

- 10 Reagenzgläser
- Reagenzglasständer
- Tropfpipetten
- Messpipetten (5 mL oder 10 mL)
- 5 Rundfilter
- Messzylinder (100 mL, 50 mL)
- Bechergläser (100 mL, 500 mL)
- Erlenmeyerkolben (250 mL)
- Trichter
- Faltenfilter
- Spatel

Aufbau

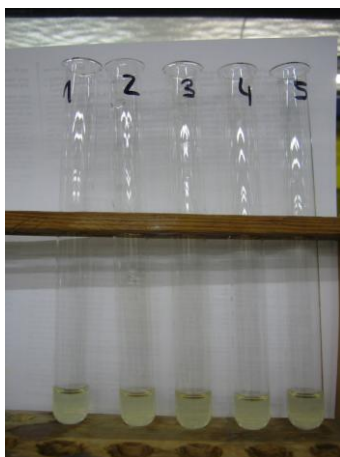


Abb. 1: Eisen(II)-sulfat-Lösung.



Abb. 2: Eisen(II)-sulfat-Lösung mit unterschiedlich viel Tee.



Abb. 3: Entnahme von 2 mL-Proben aus dem Eisen(II)-sulfat-Tee-Gemisch.



Abb. 4: Eisen(II)-sulfat-Tee-Gemisch-
Proben mit ammoniakalischer Diacetyl-
dioxim-Lösung.

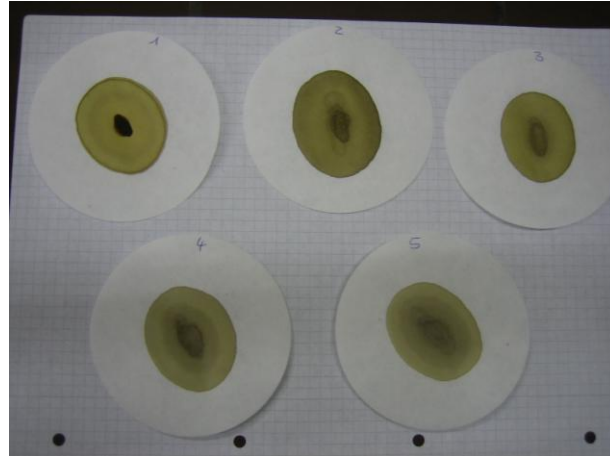


Abb. 5: Papierchromatogramme.

Durchführung

Vorbereitung:

Aus Eisen(II)-sulfat-Pulver wird mit destilliertem Wasser eine gesättigte Lösung hergestellt. Für die Herstellung des Schwarztee-Extrakts werden 2 g Teeblätter mit 300 mL siedendem Wasser übergossen. Nach 5 Minuten wird der Tee abfiltriert. Danach lässt man ihn abkühlen. In 5 mL Ethanol wird etwas Diacetyldioxim gelöst. Die ethanolische Lösung wird dann mit 5 mL konzentrierter Ammoniak-Lösung versetzt.

Versuchsdurchführung:

Fünf Reagenzgläser werden mit den Zahlen 1-5 gekennzeichnet und dann mit jeweils 2 mL Eisen(II)-sulfat-Lösung gefüllt (Abb. 1). Zu den Proben 1-5 werden jeweils 2 mL, 4 mL, 6 mL, 8 mL oder 10 mL des schwarzen Tees gegeben (Abb. 2). Anschließend werden jeder Mischung 2 mL entnommen und in ein neues Reagenzglas gegeben (Abb. 3). Diese neuen fünf Proben werden mit jeweils 1 mL ammoniakalischer Diacetyldioxim-Lösung versetzt (Abb. 4).

Für die darauffolgende papierchromatographische Trennung wird eine Probe mit einer Tropfpipette in die Mitte eines Filterpapiers getropft. Der nächste Tropfen darf erst aufgetragen werden, sobald der vorherige aufgesaugt ist. Es werden insgesamt etwa 7-10 Tropfen aufgetragen.

Beobachtung

Sobald der schwarze Tee in die hellgelbe Eisen(II)-sulfat-Lösung gegeben wird, färbt sich das Reaktionsgemisch schlagartig dunkel. Der eigentliche Farbton ist aufgrund der Dunkelfärbung fast gar nicht zu erkennen. Es scheint jedoch eine Braunfärbung zu sein. Beim Hinzufügen der ammoniakalischen Diacetyldioxim-Lösung, bildet sich eine intensive rotviolette Färbung. Im Chromatogramm ist bei allen fünf Proben ein innerer dunkler Kreis zu erkennen und ein äußerer etwas hellerer zunächst rot gefärbter Kreis. Beim Trocknen der Filterpapiere verändert sich die rote Farbe ins Grüne.

Entsorgung

Die Filterpapiere können in die Feststofftonne gegeben werden. Übrig gebliebener Tee wird dem Abwasser beigegeben. Die Eisen(II)-sulfat-Lösung wird in die Schwermetallabfälle entsorgt. Die ammoniakalische Diacetyldioxim-Lösung wird neutral zu den organischen Lösungsmittelabfällen gegeben. Die Lösungen in den Reagenzgläsern werden neutral in den Behälter für Schwermetallabfälle gegeben.

Fachliche Auswertung der Versuchsergebnisse

Tee wird aus den getrockneten Blattknospen und jungen Blättern des Teestrauchs gewonnen. Dabei erhält man den schwarzen Tee aus der gleichen Teepflanze wie den grünen Tee. Der Unterschied liegt in der Herstellung. Schwarzer Tee wird je nach Verfahren entweder mit der Hand oder von Maschinen gepflückt. Der Vorteil bei dem Pflücken von Hand liegt darin, dass der Mensch zwischen reifen und unreifen Teeblättern unterscheiden kann. Nach der Ernte werden die frisch gepflückten Blätter gewelkt. Dazu werden sie heutzutage auf Fließbändern durch einen Tunnel mit erwärmter Luft geleitet. Früher legte man die Blätter in die Sonne oder ließ sie in einer Halle bei einer konstanten Temperatur von 20-22 °C liegen. Anschließend wird der schwarze Tee gerollt, um die Zellwände aufzubrechen. Durch diesen Vorgang, der maschinell ausgeführt wird, werden die ätherischen Öle freigesetzt. Weiterhin gelang Luft an die Zellsäfte. Bei der anschließenden Fermentation wird den Blättern durch künstlich erzeugte Luftfeuchtigkeit wieder ein Teil der Feuchtigkeit zurückgegeben. Bei grünem Tee wird nicht fermentiert. Er behält durch kurzes Dämpfen über siedendem Wasser seine grüne Farbe. Der Tee fand schon sehr früh in China Verwendung als Arzneimittel. Später galt er auch dort als Genussmittel. Die chinesische Teekultur ist jedoch erst ab dem 8. Jahrhundert erwiesen. In

Japan bekam der Tee um 729 Bedeutung und wurde von reisenden Arabern nach Europa gebracht. Tee galt damals auch als Tauschmittel, wodurch es dazu kam, dass die Niederländer 1610 Tee durch den Tausch mit Chinesen bekamen und in ihre Heimat brachten. Erst 1660 kam der Tee durch die Ostindische Kompanie nach England.

In schwarzem Tee sind neben Koffein (auch Tein) viele weitere Inhaltsstoffe enthalten. Dazu gehören: Adenin, Ätherische Öle, Calcium, Eisen, Fluor, Kalium, Kapillarschutzstoffe, Magnesium, Pantothensäure, Phosphat, Gerbstoffe (Tannine), Theophyllin, Vitamin B1 und Vitamin B2.

Gerbstoffe sind wasserlösliche Verbindungen in einem Gerbmittel, die eine eiweißfällende Wirkung haben und deswegen bei der Lederherstellung verwendet werden. Sie bestehen meist aus phenolischen Substanzen. Dennoch gibt es auch anorganische Gerbmittel wie z.B. das Chrom(III)-salz. Der genaue Prozess, der beim Gerben passiert ist nicht geklärt. Die Gerbstoffe dienen als Schutz vor Fäulnis. In Pflanzen kommen auch einige Gerbstoffe vor, die sich Tannine bzw. Gallusgerbsäuren nennen. Meist sind bei diesen mehrwertige Alkohole oder Zucker mit Phenolcarbonsäuren verestert. Mit Schwermetallsalzen bilden die Tannine dunkle Niederschläge (Tannate).

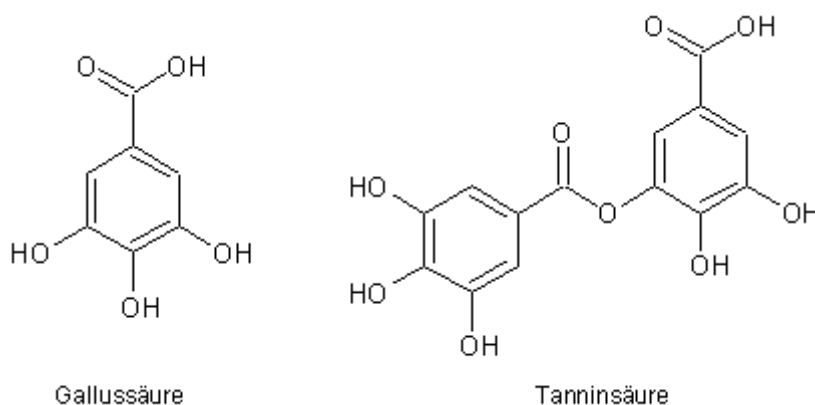


Abb. 6: Strukturformeln der Gallussäure und der Tanninsäure.

Eisen kommt in der Natur hauptsächlich in Erzen vor und gehört zu den wichtigsten Spurenelementen. Im Organismus ist es Zentralatom der Porphyrin-Ringsysteme der Cytochrome (Atmungskette) und von Hämoglobin. Die oxidierte Form Fe^{3+} ist schlecht löslich und an Trägerproteine gebunden. Im Körper liegt jedoch ein Gleichgewicht zwischen oxidiertem und reduziertem Eisen vor.



Eisen ist vor allem in den Erythrozyten (rote Blutkörperchen), im Hämoglobin (roter Blutfarbstoff), im Myoglobin (Sauerstoffdepot der Muskeln), in der Leber, in der Milz und im Knochenmark vorhanden. Weiterhin kommt es auch in vielen Enzymen vor. So zum Beispiel in Catalase und Peroxidase, die das reaktive Wasserstoffperoxid abbauen.

Die Eisenaufnahme aus der Nahrung findet größtenteils im Zwölffingerdarm statt. Eisen kann zum einen aus dem Fleisch als Häm-Eisen (Fe^{2+}) oder aus pflanzlicher Nahrung als ionisches Eisen (Fe^{3+}) aufgenommen werden. Die Löslichkeit und Resorption von ionischem Fe^{2+} ist der des Fe^{3+} bevorzugt. Aus diesem Grund ist es von Vorteil, wenn das Eisen vor der Resorption reduziert wird. Reduzierende und damit die Aufnahme fördernde Stoffe sind zum Beispiel Vitamin C (Ascorbinsäure), Fructose, Citrate und einige Aminosäuren. Im Gegensatz dazu wirken die im schwarzen Tee (und auch im Kaffee) enthaltenen Tannine hemmend gegenüber der Aufnahme von Eisen. Sie wirken nämlich komplexbildend. Das Eisen kann jedoch durch das Häm-System geschützt werden, sodass die Aufnahme von Eisen aus Fleisch nicht durch Tee oder Kaffee gehemmt werden kann.

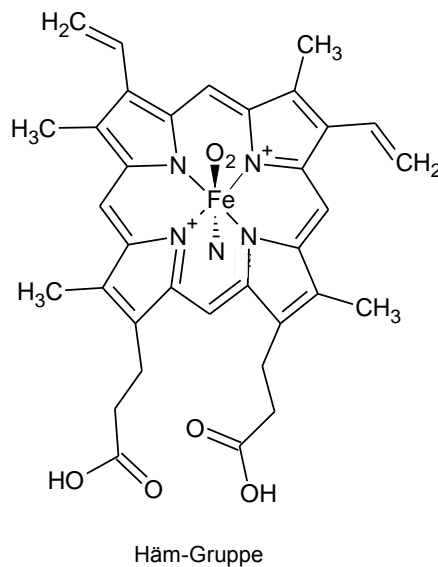


Abb. 7: Häm-Gruppe mit gebundenem Sauerstoff.

Bei der Aufnahme von Eisenpräparaten im Fall von Eisenmangelanämien, sollte die Einnahme aus den zuvor geschilderten Gründen nicht mit schwarzem Tee oder anderen Produkten, die Stoffe wie Tannin enthalten, erfolgen.

Ein **Komplex** setzt sich zusammen aus einem Metall-Ion oder -Atom, welches als Zentralatom fungiert und mehreren Molekülen oder Ionen, den Liganden, die daran binden. Damit ein Ligand an das Zentralatom binden kann, benötigt es mindestens ein freies Elektronenpaar, welches es für eine Bindung mit dem Zentralatom zur Verfügung stellen kann. Da der Ligand

bei der Verbindung mit dem Zentralatom ein oder mehrere Elektronenpaare bereitstellt, wirkt er folglich als Lewis-Base. Das Zentralatom hingegen als Lewis-Säure, da es Elektronen „aufnimmt“. Die Liganden ordnen sich regelmäßig um das Zentralatom an. Die Koordinationszahl gibt an, wie viele Liganden an ein Zentralatom gebunden sind. Jeder Komplex stellt durch eine definierte Koordinationszahl einen bestimmten geometrischen Körper dar, welcher allgemein als Koordinationspolyeder bezeichnet wird. Die Ladung eines Komplexes ergibt sich aus den Einzelladungen der jeweiligen Bindungspartner. Dabei kann es auch zur Bindung mit ungeladenen Teilchen kommen.

Es können verschiedene Koordinationspolyeder gebildet werden. Einige sollen hier kurz erläutert werden.

Ein Koordinationspolyeder mit der **Koordinationszahl sechs** wird als **Oktaeder** bezeichnet. Dieser Oktaeder setzt sich aus zwei aneinander gesetzten quadratischen Pyramiden zusammen. Er kann zum einen regelmäßig, zum anderen aber auch in eine bestimmte Richtung verzerrt vorkommen. Mit der **Koordinationszahl vier** können sowohl **tetraedrische** als auch **quadratisch-planare** Komplexe gemeint sein. Beispiele für eine quadratisch-planare Anordnung sind: $[\text{Ni}(\text{CN})_4]^{2-}$, $[\text{PdCl}_4]^{2-}$, $[\text{Pt}(\text{NH}_3)_4]^{2+}$, $[\text{Cu}(\text{NH}_3)_4]^{2+}$ und $[\text{AuCl}_4]^-$. Die tetraedrische

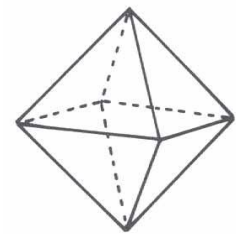


Abb. 8: Oktaeder ^[14].

Struktur tritt jedoch häufiger auf, als die quadratisch-planare. Die tetraedrische Koordination tritt vor allem dann auf, wenn dem Zentralatom noch genau acht Elektronen fehlen, um Edelgaskonfiguration zu erlangen. Bei den Atomen der Nebengruppen-elemente wären dann 18 Elekt-

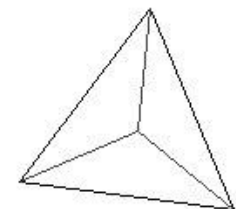


Abb. 9: Tetraeder ^[15].

ronen auf der Valenzschale. Komplexe, die diese 18-Elektronen-Regel erfüllen sind zum Beispiel: $[\text{BeF}_4]^{2-}$, $[\text{AlCl}_4]^-$, $[\text{Ni}(\text{CO})_4]$, $[\text{Cu}(\text{CN})_4]^{3-}$, $[\text{ZnCl}_4]^{2-}$ und $[\text{Cd}(\text{CN})_4]^{2-}$. Komplexe mit der **Koordinationszahl zwei** sind **linear** gebaut. Sie sind seltener als die anderen. Beispiele hierfür wären $[\text{CuCl}_2]^-$, $[\text{Ag}(\text{NH}_3)_2]^+$, $[\text{Au}(\text{CN})_2]^-$ und $[\text{Hg}(\text{CN})_2]$.

Im Hinblick auf die **Bindungsverhältnisse in Komplexen**, bei denen Übergangsmetall-Ionen als Zentralion wirken, muss auf die d-Orbitale zurückgegriffen werden, da dies die Außenelektronen der Übergangsmetall-Ionen sind. Bei einem isolierten Übergangsmetall-Ion sind alle fünf d-Orbitale energetisch gleichwertig. Steht das Übergangsmetall-Ion jedoch in Wech-

selwirkung mit Liganden, so sind die d-Orbitale durch den elektrischen Einfluss der Liganden nicht mehr energetisch gleich.

Bei oktaedrischen Komplexen weisen die Orbitale d_{z^2} und $d_{x^2-y^2}$ in Richtung der Liganden, während die Orbitale d_{xy} , d_{xz} und d_{yz} in die Richtung zwischen den Liganden zeigen. Erstere werden als **t_{2g}-Orbitale** (dreifach entartet) bezeichnet, letztere als **e_g-Orbitale** (zweifach entartet).

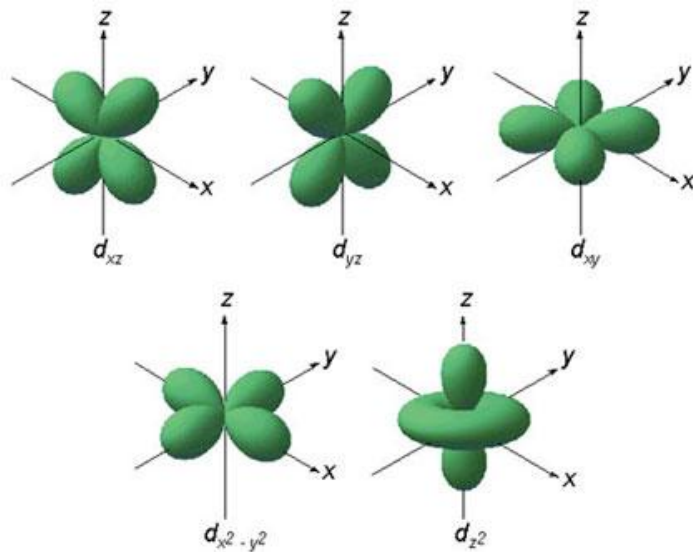


Abb. 10: Räumliche Ausdehnung der d-Orbitale ^[16].

Bei quadratisch-planaren Komplexen ist das $d_{x^2-y^2}$ -Orbital auf die Liganden ausgerichtet; es hat die größte Orbitalenergie. Das d_{xy} -Orbital liegt in der Ebene der Liganden; es ist zwischen den Liganden ausgerichtet. Das d_{z^2} -Orbital ist entlang der z-Achse ausgerichtet, dessen Ring in der xy-Ebene. Die Orbitale d_{xz} und d_{yz} sind entartet; sie werden am wenigsten vom elektrischen Feld der Liganden beeinflusst, denn die Elektronenichte weist aus der Ebene der Liganden hinaus. Beim tetraedrischen Komplex sind die t_{2g}-Orbitale von höherer Energie als die e_g-Orbitale. Wäre der tetraedrische Komplex von einem Würfel umgeben, so würden die Liganden und somit auch die t_{2g}-Orbitale auf vier der acht Würfecken zeigen.

Abbildung 11 vermittelt einen Überblick über die Aufspaltung der d-Orbitale im Ligandenfeld. Der in dieser Abbildung mit verzeichnete Jahn-Teller-Effekt stellt eine Zwischenstufe zwischen der oktaedrischen und der quadratisch-planaren Aufspaltung dar. Dieser Zwischenstand rührt daher, dass die beiden Liganden, welche längs der z-Achse verlaufen, immer weiter entfernt werden und mit dieser Entfernung die Einwirkung der übrigen vier Liganden auf die d-Orbitale in der x- und y-Achse zunimmt. Folglich nimmt die Einwirkung auf die d-

Orbitale in z-Richtung ab. Dies hat zur Folge, dass alle, mit der z-Achse verknüpften d-Orbitale, energieärmer werden.

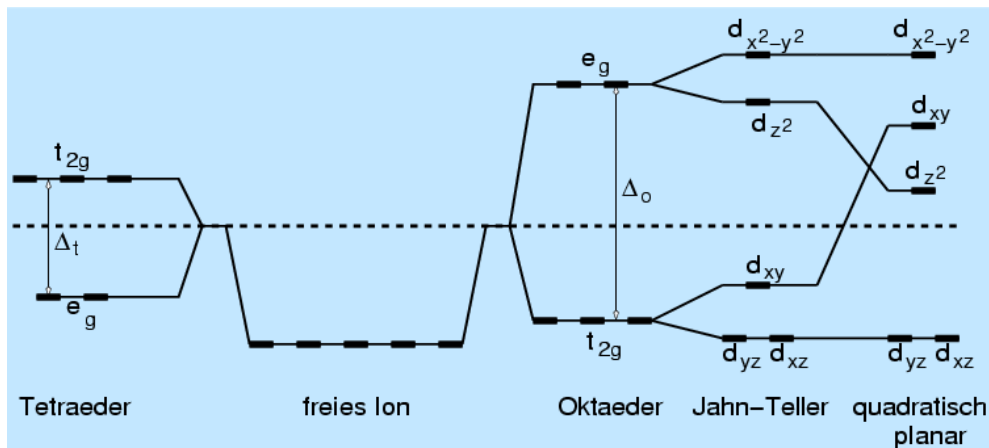


Abb. 11: Ligandenfeldaufspaltung ^[17].

Die **Farbigkeit von Komplexen** lässt sich auch mit der Ligandenfeldtheorie erklären. Einige Liganden erzeugen schwache Ligandenfelder, während andere Liganden starke Ligandenfelder erzeugen. Diese Liganden lassen sich alle entlang einer Reihe anordnen, welche als „spektrochemische Reihe“ bezeichnet wird. In dieser spektrochemischen Reihe stehen zunächst die Liganden, welche eine schwache Ligandenfeldaufspaltung hervorrufen. Dann folgen diese, die starke Ligandenfelder erzeugen. Die Reihe ist folgendermaßen angeordnet:

$I^- < Br^- < -SCN^-, Cl^- < N_3^- < F^- < -NCO^- < OH^-, -ONO^- < C_2O_4^{2-}, H_2O < -NCS^- < -NC < EDTA < py < NH_3 < en, dien, trien < dipy < -NO_2^- < -CNO^-, H^- < -CN^- < CO$.

Ein Ligand, der ein stärkeres Ligandenfeld erzeugt kann einen Liganden, mit einer schwächeren Aufspaltung aus seinem Komplex verdrängen. Durch diesen Austausch wird die Lage der Absorptionsbande in Richtung der kürzeren Wellenlängen verschoben. Findet ein Austausch in umgekehrter Richtung statt, so verschiebt sich die Absorptionsbande in den längerwelligen Bereich.

Im **Versuch** bildet sich mit dem Gerbstoff (z.B. Tannin) ein Eisen(II)-Gerbstoff-Komplex. Durch die weitere Zugabe von ammoniakalischer Diacetyldioxim-Lösung wird noch freies Eisen in einem Eisen(II)-Diacetyldioxim-Komplex (Gleichung (1)) gebunden. Dieser Komplex ist rot und bildet mit dem braunen Eisen(II)-Gerbstoff-Komplex eine Mischfarbe. Dabei überdeckt die dunkle Eisen(II)-Gerbstoff-Komplex-Farbe die des roten Eisen(II)-

Diacetyldioxim-Komplexes. Durch die Papierchromatographie werden die beiden Farben voneinander getrennt. Es bilden sich zwei Zonen, von denen die innere braun bis schwarz gefärbt ist (Eisen(II)-Gerbstoff-Komplex) und die äußere rot gefärbt ist (Eisen(II)-Diacetyldioxim-Komplex). Sollten jedoch alle Eisen-Ionen als Eisen(II)-Gerbstoff-Komplex vorliegen, bildet sich keine rote Zone mehr aus. Mit dieser Methode kann das Teevolumen bestimmt werden, mit dem eine bestimmte Menge an Eisen(II)-Ionen gebunden werden kann. Das Volumen ist jedoch auch abhängig von der Teesorte, der Menge und der Brühdauer.

Methodisch-Didaktische Analyse

1 Einordnung

Das in diesem Versuch angesprochene Thema findet kaum Relevanz im Chemieunterricht in der Schule. Es ist zwar sehr alltagsbezogen, doch beschäftigt es sich mit Naturstoffen wie dem Coffein (bzw. Tein) und dem Tannin, die in der Schule als solche zunächst nicht behandelt werden. Man könnte eventuell beim Thema Proteine in der Jahrgangsstufe 11 im zweiten Halbjahr in Bezug auf die Gerbung eingehen, bei der Eiweiße gefällt werden. Ein weiterer Angriffspunkt ist die Biochemie, die im Lehrplan G8 nicht untergebracht ist. Dort könnte man sich mit dem Aufbau der Häm-Gruppe beschäftigen. Dies hängt jedoch auch sehr eng mit der Komplexchemie zusammen, die als Wahlthema im zweiten Halbjahr der Jahrgangsstufe 12 durchgeführt werden kann. Bei der Komplexchemie kann dann näher auf die Farbänderungen der Proben eingegangen werden und auf die biologische Bedeutsamkeit bestimmter Komplexverbindungen.

2 Aufwand

Der Aufwand dieses Versuches ist mittelmäßig groß. Zu der Vorbereitung zählen vor allem auch das Teekochen und das Abkühlen des Tees. Ansonsten müssen nur noch die ammoniakalische Diacetyldioxim-Lösung und die Eisen(II)-sulfat-Lösung angesetzt werden. Die Eisen(II)-sulfat-Lösung muss frisch angesetzt werden, da sie bei Anwesenheit von Sauerstoff oxidiert wird. Die Durchführung des ersten Versuchsteils ist dann weniger aufwändig, da es sich lediglich um Zusammenschütten von Lösungen und Pipettieren handelt. Die darauffolgende Papierchromatographie nimmt jedoch etwas mehr Zeit in Anspruch, da der nächste Tropfen erst aufgetragen werden darf, sobald der erste aufgesaugt wurde. Da fünf Chromatogramme angefertigt werden müssen dauert dies dementsprechend lange.

3 Durchführung

Der Versuch ist sehr gut zu beobachten, da alles durch die Färbung der Komplexe zu beobachten ist. Die abgewandelte Form der Chromatographie bietet sich jedoch gut als eine Aufgabe für Schüler an, da sie zum einen praktisch am Unterricht teilnehmen können und zum anderen eine farbige Aufteilung der beiden Komponenten beobachten können. Eine Durchführung im Unterricht kann ausschließlich in einer Doppelstunde oder einer Projekteinheit geschehen, bei der den Schülern genug Zeit bleibt, die Versuche in Ruhe durchzuführen. Der Versuch sollte jedoch nicht als analytische Maßnahme im Sinne der Frage, wie viel Tee notwendig ist, um die Eisen(II)-Ionen zu komplexieren, durchgeführt werden, sondern einen allgemeinen Einblick in die Komplexbildung liefern und zeigen, dass zwei Komplexe nebeneinander vorliegen.

Literatur

- [1] PdN Chemie in der Schule 5/51 Jg. **2002**. Seite 16.
- [2] Soester Liste. Version 2.7.
- [3] Hessischer Lehrplan: Chemie. **2008**.
- [4] Beyer, Walter: Lehrbuch der Organischen Chemie. 24., überarbeitete Auflage mit 155 Abbildungen und 24 Tabellen. S. Hirzel Verlag. Stuttgart **2004**.
- [5] Gossauer, Albert: Struktur und Reaktivität der Biomoleküle. Eine Einführung in die Organische Chemie. WILEY-VCH. Zürich **2006**.
- [6] Benninghoff, Drenckhahn: Anatomie. Makroskopische Anatomie, Histologie, Embryologie, Zellbiologie. Band 1. 16. Auflage. Urban & Fischer. München, Jena. **2003**.
- [7] Mortimer, Charles, E., Chemie, Das Basiswissen der Chemie, 8., komplett überarbeitete und erweiterte Auflage, Georg Thieme Verlag, Stuttgart **2003**.
- [8] Holleman, A.F., Wiberg, N., Lehrbuch der Anorganischen Chemie, 91.-100., verbesserte und stark erweiterte Auflage, Walter de Gruyter, Berlin **1985**.
- [9] Bützer, Peter: Eisen im Körper. <http://www.isitech.com/fileadmin/pb/pdf-Dateien/Eisen%20im%20Koerper.pdf>. (**04.01.2009**).
- [10] Bibliographisches Institut & F. A. Brockhaus AG, 2008. Meyers Lexikon Online. Gerbstoff. <http://lexikon.meyers.de/wissen/Gerbstoff>. (**04.01.2009**).
- [11] Bibliographisches Institut & F. A. Brockhaus AG, 2008. Meyers Lexikon Online. Tee. [http://lexikon.meyers.de/wissen/Tee+\(Sachartikel\)](http://lexikon.meyers.de/wissen/Tee+(Sachartikel)). (**04.01.2009**).

- [12] Bibliographisches Institut & F. A. Brockhaus AG, 2008. Meyers Lexikon Online. Tannine. [http://lexikon.meyers.de/wissen/Tannine+\(Sachartikel\)](http://lexikon.meyers.de/wissen/Tannine+(Sachartikel)). (04.01.2009).
- [13] Lebensmittellexikon: <http://www.lebensmittellexikon.de/sch00890.php>. (04.01.2009).
- [14] Rieble, Armin, Das Sator-Quadrat, <http://www.decemsys.de/sator/sator3ab.htm>. (04.01.2009).
- [15] SZ am Waller Ring, 3D-Modelle, http://www.sz-waller-ring.de/wring/mathe/DrahtModelle_3D/index.php. (04.01.2009).
- [16] <http://www.zum.de/Faecher/Materialien/beck/chemkurs/bilder/3dorbb.jpg>. (04.01.2009).
- [17] Universität Freiburg, Koordinationsverbindungen, http://ruby.chemie.uni-freiburg.de/Vorlesung/metalle_8_3.html. (04.01.2009).