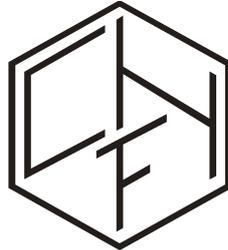


Institut Dr. Flad



Projektarbeit

Runge und Kapillarbilder

Muriel Dupré

und

Mirjam Jaenisch

- Lehrgang 62 -

Betreuung: Prof. Dr. Peter Menzel

Schuljahr 2012/13

Inhaltsverzeichnis

Inhaltsverzeichnis.....	1
Vorwort.....	3
Zusammenfassung.....	3
Summary.....	3
Einleitung.....	4
1. Friedlieb Ferdinand Runge.....	5
1.2 Runges Leben.....	5
1.2 Runges Werk.....	11
2. Die Kapillarbilder.....	14
2.1 Einführende Versuche nach Anleitung von Hedinger.....	14
2.1.1 Herstellung der Kapillarbilder.....	14
2.1.2 Erklärung der Kapillarbilder.....	17
2.2 physikalisch-chemische Grundlagen der Bilder.....	20
2.2.1 Aufbau von Papier.....	20
2.2.2 Die Sogwirkung in den Kapillaren.....	21
2.2.3 Musterbildung.....	22
2.2.3.1 Muster ohne Reaktion.....	22
2.2.3.2 Schwerlösliche Niederschläge.....	24
2.2.3.3 Rhythmische Ausfällungen.....	25
2.3 Einflüsse auf die Kapillarbilder.....	29
2.3.1 Einfluss der Papiersorte.....	29
2.3.2 Einfluss der Imprägnierung.....	33
2.3.3 Einfluss der Tropfenverhältnisse.....	37
2.3.4 Einfluss der Tropfengröße.....	40
2.3.5 Einfluss der Tropfhöhe.....	42
2.3.6 Lösemittel.....	43
2.3.7 Einfluss von anwesenden Gasen auf das Kapillarbild.....	46
2.3.8 Luftfeuchtigkeit.....	48
2.3.9 Einfluss des Fließmittels.....	50
2.3.10 Einfluss der Wartezeit zwischen den aufgetropften Lösungen.....	52
2.3.11 Reihenfolge der aufgetropften Lösungen.....	54
2.4 Runges Bilder.....	57
2.4.1 Papier.....	57
2.4.2 Chemikalien.....	58

2.4.3 Herstellung und Erklärung zweier Kapillarbilder nach Anleitung von F.F. Runge.....	60
2.4.3.1 Bild Nr.29 aus dem Buch „Der Bildungstrieb der Stoffe“	60
2.4.3.2 Bild Nr. 27 aus dem Buch „Bildungstrieb der Stoffe“	68
2.5 Kapillarbilder nach eigener Anleitung.....	74
Fazit.....	85
Anhang.....	85

Vorwort

Die Rungebilder regen dazu an, sie selbst auszuprobieren und zu variieren. Vor allem beim Experimentieren mit eigenen Rezepten ist man immer wieder überrascht über die oft unerwarteten Farbverläufe. Besonders für Leute mit einem ausgeprägten Sinn für Farbmuster, empfiehlt es sich, solche Bilder selbst einmal herzustellen.

Herzlichen Dank an die Assistenten des Instituts Dr. Flad, welche uns tatkräftig bei dem praktischen Teil dieser Projektarbeit geholfen haben. Außerdem wollen wir Herrn Prof. Dr. Menzel dafür danken, dass er dieses Projekt betreut hat.

Zusammenfassung

In dieser Projektarbeit haben wir uns mit Doktor Friedlieb Ferdinand Runge und besonders mit seinen Kapillarbildern beschäftigt. Runge war ein wichtiger Industriechemiker, der während seiner Arbeit in der Chemischen Produkten Fabrik diese Bilder hergestellt hat.

Das Ziel der Projektarbeit ist es, mehr über Runge und seine Kapillarbilder herauszufinden. Zunächst beschäftigen wir uns mit den physikalischen und chemischen Grundlagen, durch welche die Bilder entstehen. Des Weiteren gibt es verschiedene Faktoren, die Einfluss auf das Aussehen der Kapillarbilder haben. Beispiele dafür sind das Lösungsmittel, die Reihenfolge der aufgetropften Lösungen, die Imprägnierung und die Tropfengröße. Außerdem werden zwei Kapillarbilder die Runge hergestellt hat, nachgemacht, variiert und erklärt.

Zum Herstellen der Kapillarbilder werden Lösungen verschiedener Salze auf ein Chromatografiepapier getropft. Die Farben der Bilder entstehen dadurch, dass die Lösungen teilweise chemische Reaktionen miteinander eingehen.

Zum Schluss werden Kapillarbilder nach eigenem Rezept gefertigt.

Summary

In this project we have paid attention to Doctor Friedlieb Ferdinand Runge, especially on his capillary tube pictures. He was an important industrial chemist. While doing his job in a factory for chemical products, he found out about these pictures.

The aim of this project is to find out more about Dr. Runge and his pictures. First of all, our work is about the physical and chemical basis on which the pictures are produced.

Moreover, there are several influences exerting their appearance, for example the solvent,

the sequence of the dropped solvents, the impregnation or the size of the drops. Furthermore, two pictures, made of Runge are to be reproduced, varied and explained. To prepare these pictures, salt solutions are dropped on a chromatography paper. The reason for the colourful pictures is the reaction of the solvents with each other. In the end the capillary pictures are dispensed of own formula.

Einleitung

Bei dieser Projektarbeit mit dem Thema „Runge und Kapillarbilder“ soll einerseits Runges Leben und ein Werk behandelt werden, andererseits sollen Kapillarbilder durchgeführt werden und auf deren Eigenschaften und physikalisch-chemische Gründe eingegangen werden.

Unter den Kapillarbildern versteht man auf Chromatografiepapier erstellte Bilder, die nicht unbedingt durch Trennung von Substanzen, sondern vielmehr durch Reaktionen verschiedener aufgetropfter Lösungen, unmittelbar auf dem Bild, entstehen.

Diese Arbeit besteht hauptsächlich darin, solche Kapillarbilder herzustellen und die dabei stattfindenden Reaktionen in Reagenzgläsern auszuprobieren. Es wird erklärt, auf welche Art und Weise die Kapillarbilder entstehen und außerdem wird darauf eingegangen, welche äußeren Einflüsse ihr Aussehen verändern können.

1. Friedlieb Ferdinand Runge

1.2 Runges Leben

Friedlieb Ferdinand Runge wird am 08. Februar 1794 in Billwerder an der Bille als eins von acht Kindern geboren. Seine Eltern heißen Pastor Johann Gerhard und Catharina Elisabeth Runge. Billweder liegt in der Nähe von Hamburg. Die Menschen in dieser Gegend und auch seine Familie sind arm, weil die Familie so groß ist. Außerdem besetzen französische Soldaten das Gebiet um die Kontinentalsperre zu kontrollieren. Im Tal der Bille kann Runge Tiere und Pflanzen beobachten. Daher möchte er später beruflich mit Naturwissenschaften zu tun haben.¹

Zunächst geht er in Schiffbeck in die Elementarschule. Im Jahr 1806 stirbt seine Mutter. 1811 stirbt Runges „Vater und 1813 seine Stiefmutter“². Nach der Schule macht Friedlieb Ferdinand Runge von 1810 bis 1816 eine Apothekerlehre, die ihm durch seinen Onkel, der in Lübeck die Ratsapotheke verwaltet, vermittelt wird.³

Runge beginnt im Oktober 1816 mit einem Medizinstudium an der Berliner Universität. Ab 1818 studiert er in Göttingen weiter. Ein halbes Jahr später geht er nach Jena, um weiter Medizin zu studieren. Dort macht er auch seine ersten phytochemischen Untersuchungen, mit denen er am 21. Mai 1819 „zum Doktor der Medizin“⁴ promoviert. Er schreibt seine medizinische Doktorarbeit über das Thema: „Von einer neuen Methode, eine Vergiftung mit Tollkirsche, Stechapfel und auch Bilsenkraut zu ermitteln“.⁵ Sein Spitzname in dieser Zeit ist Dr. Gift.⁶ Im Oktober dieses Jahres wird Runge von Goethe eingeladen,⁷ dem er seine „Möglichkeit, eine Vergiftung durch pflanzliche Gifte“⁸ mit Hilfe eines lebendigen Katzenauges nachzuweisen, vorführt.⁹

Dann verlässt er Jena am Ende des Jahres 1819 und geht wieder nach Berlin.¹⁰ Dort mietet er zusammen mit Johann Christian Poggendorff, einem Physikprofessor, eine

¹ vgl. BUSSEMAS, 1985, S.115

² ebd. S.115

³ vgl. ebd. S.115

⁴ ebd. S.115

⁵ ebd. S.115

⁶ vgl. ANFT, 1937, S.142-152

⁷ vgl. BUSSEMAS, 1985, S.116

⁸ ebd. S.115

⁹ vgl. ebd. S.115

¹⁰ vgl. ebd. S.121

Wohnung.¹¹ Voller Eifer macht er hier seine chemischen Versuche mit selbst erfundenen oder verbesserten Apparaturen. Carl Christian Beinert, der Runge dort besucht, findet Runge selbstlos. Er meint, Runge habe einen festen Charakter, bekämpfe seine Sorgen und gebe alles für die Wissenschaft.¹²

Im Jahr 1820 lässt er sein erstes Buch in Berlin drucken, obwohl er es schon in Jena geschrieben hat. Es geht dabei um Pflanzenchemie.¹³

Durch seine mündliche Doktorprüfung im Juni 1822 und seine Veröffentlichungen schafft er es, an der Berliner Universität Privatdozent zu werden.¹⁴ Runge arbeitet während dieser Zeit vermutlich in einer Seidenfärberei, um etwas zu verdienen. Im November dieses Jahres reicht er ein Patent ein zur „Darstellung und Anwendungsweise eines Stoffes womit die Seide in fast allen Nüanen roth gefärbt werden kann“¹⁵.

Im Jahr 1822/23 schreibt er eine Bewerbung für eine Lehrstelle an der Universität Greifswald. Bevor er die Stelle antritt, reist er durch Europa, um wichtige Chemiker kennen zu lernen¹⁶ und um seine pflanzenkundlichen Untersuchungen fortzuführen. Er wird dabei offensichtlich von diesem Ministerium finanziell unterstützt.¹⁷

Runge reist zuerst nach Paris. Dort veröffentlicht er 1824 sein Buch „Zur Lebens- und Stoffwissenschaft des Thieres. 1. Lieferung: Der Todesprozeß im Blute.“¹⁸. Seine Versuche führt er im Labor von Doktor Quesneville durch. Dort lernt er auch Justus von Liebig kennen. Seine Reise, bei der er auch Fabriken in Frankreich, in der Schweiz und in England besucht, dauert ungefähr zweieinhalb Jahre. Er machte sie gemeinsam mit Carl Milde. Er war der Sohn eines Fabrikanten und kam aus Breslau. Danach arbeitet Runge zwei Jahre in Breslau in der Fabrik des Fabrikanten Milde.¹⁹

¹¹ vgl. FALLERSLEBEN, 1868, S.328f

¹² vgl. GÖTZ, 1977, S.426-428

¹³ vgl. BUSSEMAS, 1985, S.116

¹⁴ vgl. ebd. S.122

¹⁵ ebd. S.121

¹⁶ vgl. ebd. S.122

¹⁷ vgl. ebd. S.123

¹⁸ ebd. S.123

¹⁹ vgl. ebd. S.123

Ab 1828 lehrt er Technologie an der Universität in Breslau. Er bekommt aber kein festes Gehalt.²⁰ Das Buch „Grundlehren der Chemie für Jedermann“²¹ veröffentlicht er im Jahr 1830.²²

Im Jahr 1826 gründet Hoffmann von Fallersleben zusammen mit unter anderem Runge die „Zwecklose Gesellschaft“²³. Sie besteht aus jungen Leuten, die sich einmal in der Woche treffen um Gedichte, Witze, Abschnitte aus Büchen sowie ihre Meinungen auszutauschen. Außerdem wurde dort gemeinsam gespeist, gesungen und gefeiert.²⁴ Sie gibt 1829 das Weinbüchlein mit Gedichten und Sprüchen über den Wein heraus.²⁵

Im Alter von 38 Jahren gibt Runge seinen Beruf als Professor auf. Er interessiert sich dafür, wie die Wissenschaft in der Praxis angewendet wird. Von Breslau zieht er nach Oranienburg.²⁶ In Oranienburg macht Runge auch seinen eigenen Wein.²⁷ Dort arbeitet er ab 1832 in dem Chemischen Etablissement in Oranienburg. Der Besitzer dieser Fabrik ist zu dieser Zeit Dr. Hempel.²⁸ Die chemische Fabrik befindet sich bis 1842 im Oranienburger Schloss. Runge wohnt im rechten Vorderflügel im ersten Stock.²⁹ Er unterstützt Dr. Hempel bei seiner chemischen Arbeit. Wenn dieser nicht da ist, leitet er den technischen Teil der Fabrik. Außerdem kümmert es sich um die „Aufarbeitung mancher älteren Fabrikrückstände“³⁰ und ist deshalb für die „Fabrik sehr nützlich“³¹. Er leistet viel in der Fabrik, besitzt aber auch viel Freiheit³², sich auch „anderweitig mit der Chemie [zu] beschäftige[n]“³³. Runge wird in den ersten Jahren „privat finanziert“ und wird deshalb nicht in der Gehaltsliste des Jahres 1833 aufgeführt.³⁴

Später im Jahr 1832 übernimmt die Königliche Seehandlung die Verwaltung der Fabrik und nennt sie in „Chemische Produkten-Fabrik zu Oranienburg“³⁵ um. Dabei bleibt Dr.

²⁰ vgl. ebd. S.76

²¹ ebd. S.125

²² vgl. ebd. S.125

²³ ebd. S.125

²⁴ vgl. FALLERSLEBEN, 1868, S.35-38

²⁵ vgl. BUSSEMAS, 1985, S.126

²⁶ vgl. ebd. S.76

²⁷ vgl. ebd. S.129

²⁸ vgl. ebd. S.76

²⁹ vgl. ebd. S.78

³⁰ ANFT, 1937, S.168

³¹ ebd. S.168

³² vgl. BUSSEMAS, 1985, S.77

³³ ANFT, 1937, S.168-202

³⁴ vgl. BUSSEMAS, 1985, S.77

³⁵ ebd. S.76

Hempel weiterhin der Besitzer der Fabrik,³⁶ aber Ernst Eduard Cochius übernimmt nun die Verwaltung davon.³⁷

Über die Jahre 1832 bis 1851 schreibt Runge „zehn chemische Lehr- und Sachbücher“.³⁸

Doktor Hempel stirbt im Januar 1836 auf einer Geschäftsreise in England. Ernst Eduard Cochius wird Beamter als der betriebliche Leiter der Chemischen Produkten-Fabrik. Ab diesem Jahr bekommt Runge von der Direktion der Seehandlung im Jahr 1000 Taler Gehalt, das monatlich als 83,3 Taler ausbezahlt wird, dafür, dass er die „Beaufsichtigung und Leitung des technischen Betriebs der Fabrik“³⁹ übernimmt. Außerdem bekommt er in manchen Jahren zusätzlich Weihnachtsgeld in einer Höhe von 200-300 Talern. In den nächsten 15 Jahren bekommt er keine Gehaltserhöhung.⁴⁰

Am 27.08.1836 erwirbt Runge zusammen „mit dem Bankier Moritz Ebers ein Patent zur „Darstellung einiger nützlicher Stoffe aus dem Rüböhlsatze, welcher beim Raffinieren des Rüböhls mit Schwefelsäure sich abscheidet“.⁴¹

Im Jahr 1838 richtet Runge bei der Firma Gau und Söhne eine Lumpenbleicherei ein und stellt mit Runges Hilfe einen elastischen Teerfirmis für Dornsche Dächer her.⁴² Trotzdem vernachlässigt er seine Arbeit in der Chemischen Produktenfabrik nicht. Er berät dort die Arbeiter und spart bei der Fertigung der Produkte. Außerdem arbeitet er als Schriftsteller in der technischen Chemie.⁴³

1840 entdeckt Runge Paraffin im Torfteer und stellt daraus Paraffinkerzen her.⁴⁴

Die Direktion der Seehandlung kauft im Jahr 1841 die Chemische Produkten-Fabrik. Dabei bleibt Cochius als Beamte der Geschäftsdirigent und Runge als Angestellter der technische Leiter der Fabrik.⁴⁵

³⁶ vgl. ebd. S.76

³⁷ vgl. ebd. S.77

³⁸ ebd. S.77

³⁹ ebd. S.77

⁴⁰ vgl. ebd. S.77

⁴¹ ebd. S.77

⁴² vgl. ebd. S.77

⁴³ vgl. REHBERG, 1935, S.19

⁴⁴ vgl. BUSSEMAS, 1985, S.110

⁴⁵ vgl. ebd. S.78

Am 26.03.1842 brennt der rechte Flügel des Oranienburger Schlosses über Runges Wohnung. Runge kann „nur das Wichtigste aus seiner Wohnung retten. Der Umzug der Fabrik nach Mühlenfelde ist seit längerem geplant, wird jetzt aber beschleunigt.“⁴⁶

Im Jahr 1843 arbeiten in der Fabrik 157 Leute, von denen Runge der einzige Techniker ist.⁴⁷

Im Jahr 1844 versucht Runge, die Ausgangsstoffe für die Darstellung von gelbem Blutlaugensalz zu verringern. Außerdem kleidet er die gusseisernen Schmelzpfannen, die für die Darstellung von gelbem Blutlaugensalz verwendet wurden, mit Alteisen aus, um sie haltbarer zu machen, da sie von der dabei verwendeten Pottasche (K_2CO_3) ziemlich schnell angegriffen wurden.⁴⁸

Im Jahr 1845 bekommt Runge weniger Gratifikationen, das sind zusätzliche Sonderzahlungen, als in den Jahren zuvor. Deshalb beschwert er sich bei der Direktion der Seehandlung und zählt seine Arbeiten für die Fabrik auf.⁴⁹

Runge wird in der chemischen Produktenfabrik nicht lebenslanglich als Chemiker angestellt. Das teilt ihm die Direktion der Seehandlung im Januar 1846 schriftlich mit. Allerdings bekommt er eine Kündigungsfrist von einem Jahr. Gratifikationen erhält er nur als Belohnung für besondere Leistungen für die Fabrik, die ihr durch seine neuen Erfindungen viel Gewinn bringen. Er bekommt deshalb keine Zusicherungen für eine dauerhafte Gratifikation.⁵⁰

Runge bekommt 1847 von König Wilhelm IV die Auszeichnung des „Roten Adlerordens IV. Klasse“.⁵¹

Seit 1844 gehen die Gewinne der Fabrik zurück. Eine liberale Bewegung der Wirtschaft möchte keine stattlichen Betriebe, wie die Chemische Produkten-Fabrik, haben.⁵² Aus diesen Gründen fürchtet Runge im Jahr 1849 um den Verkauf der Fabrik als Reprivatisierung. Er möchte seine Anstellung in der Fabrik nicht verlieren, da sonst sein

⁴⁶ ebd. S.79

⁴⁷ vgl. ebd. S.79

⁴⁸ vgl. ebd. S.106

⁴⁹ vgl. ebd. S.108

⁵⁰ vgl. ebd. S.109

⁵¹ ebd. S.111

⁵² vgl. ebd. S.109

„geistiges Eigentum mit verkauft“⁵³ wird. Deshalb fordert er als Entschädigung, wenn er seinen Arbeitsplatz nicht behalten kann, pro Jahr eine Zahlung vom Käufer der Fabrik. Das schreibt er in Briefen an die Seehandlung und König Wilhelm IV, dem er schon früher helle Paraffinkerzen⁵⁴ und blaue Tinte geschickt hatte.⁵⁵ Daraufhin setzen sich die Direktion der Seehandlung und König Wilhelm IV dafür ein, dass Runge, falls er nicht weiter in der Fabrik arbeiten darf und keine neue Stelle findet, eine Pension bekommt.⁵⁶

Im Jahr 1850 veröffentlicht Runge das Buch „Musterbilder für Freunde des Schönen“⁵⁷. In den Jahren 1850 bis 1855 stellt Runge seine Musterbilder her. Dabei benutzt er hauptsächlich Chemikalien, welche die Chemischen Produkten-Fabrik produziert. Am meisten verwendet er das gelbe Blutlaugensalz ($K_4[Fe(CN)_6]$).⁵⁸

Die Seehandlung verkauft Anfang 1850 die Chemische Produkten-Fabrik an Ernst Eduard Cochius.⁵⁹ In diesem Vertrag ist enthalten, dass Runge von Cochius zwei Jahre lang nicht gekündigt werden darf und dass er ab einer Kündigung für den Rest seines Lebens von Cochius jedes Jahr 400 Taler und von der Seehandlung zusätzlich 350 Taler Rente pro Jahr bekommt.⁶⁰

Ein Jahr später, im Jahr 1851 kündigt Cochius Runge für April 1852. Trotzdem darf er seine Wohnung bei der Fabrik behalten und bekommt das Heizmaterial dafür gestellt, um Cochius und die Chemische Produkten-Fabrik weiterhin zu unterstützen.⁶¹

Zwischen 1853 und 1855 entdeckt Runge ein Verfahren um künstlichen Chilesalpeter darzustellen.⁶²

Runge veröffentlicht im Jahr 1855 das Buch „Bildungstrieb der Stoffe“.⁶³

Als Runge im Jahr 1855 das Verfahren zur Darstellung von künstlichem Chilesalpeter an das Kriegsministerium weitergibt, ist Cochius Witwe darüber verärgert. Sie kündigt Runge deshalb die Wohnung und zahlt auch seine monatliche Rente nicht weiter. Runge zieht

⁵³ ebd. S.110

⁵⁴ vgl. ebd. S.110

⁵⁵ vgl. ebd. S.111

⁵⁶ vgl. ebd. S.110

⁵⁷ ebd. S.76

⁵⁸ vgl. ebd. S.79

⁵⁹ vgl. ebd. S.111

⁶⁰ vgl. ebd. S.112

⁶¹ vgl. ebd. S.112

⁶² vgl. ebd. S.113

⁶³ ebd. S.113

darauhin in die Mühlenstraße beim Ofenfabrikanten Lange ein. Er wendet sich ohne Erfolg an die Seehandlung und an das Finanzministerium.⁶⁴

Auf der Weltausstellung in Paris bekommt er im Jahr 1855 ein Preis für den „Bildungstrieb“⁶⁵. 1862 erhält er einen Preis der Weltausstellung in London. Er wird 1863 Ehrenmitglied der „Naturhistorischen Gesellschaft zu Nürnberg“⁶⁶ und Mitglied der Naturforschenden Gesellschaft in Basel. 1864 bekommt er zwei „goldene Verdienstmedaillen“⁶⁷ von dem Gewerbeverein von Mühlhausen und der Elsässer Chemischen Gesellschaft. Außerdem wird er 1865 „Ehrenmitglied und Meister des Freien Deutschen Hochstifts in Frankfurt am Main“⁶⁸.

Friedlieb Ferdinand Runge stirbt am 25. März des Jahres 1867⁶⁹ in Oranienburg.⁷⁰

1.2 Runges Werk

Die in dieser Arbeit vorgestellten Kapillarbilder hatte Runge ursprünglich nur entwickelt, um die Tücken der Reagenzglasversuche zu umgehen, die darin bestehen, dass man von den jeweiligen Lösungen die genau richtige Menge dazugeben muss⁷¹. Dabei „zeigte sich [...] eine neue Welt von Bildungen, Gestaltungen und Farbenmischungen“⁷², die Runge zuvor so nicht gekannt hatte. Diese Entdeckung inspirierte Runge die Bilder zu beeinflussen um noch eindrucksvollere Bilder zu erhalten. Dazu mischte er zum Beispiel zu einer Kupfersulfat-Lösung Aluminiumtrichlorid („Chloraluminium“ oder „salzsaure Tonerde“) um eine andere Struktur und andere Farben zu erhalten⁷³.

Der Formenreichtum und das scheinbar willkürliche Wachstum der Bilder brachte Runge dazu, über die Ursache nachzudenken. In den Schlussbemerkungen seines Buches „Der Bildungstrieb der Stoffe veranschaulicht in selbstgewachsenen Bildern“ ist er der Meinung, dass ein Bildungstrieb die Stoffe dazu bringt sich zu gewachsenen Bildern zu verbinden, wie es der Fall. Er erklärt die Entstehung der Kapillarbilder dadurch, dass sich

⁶⁴ vgl. ebd. S.113

⁶⁵ ebd. S.130

⁶⁶ ebd. S.130

⁶⁷ ebd. S.130

⁶⁸ ebd. S.130

⁶⁹ vgl. ebd. S.130

⁷⁰ vgl. ebd. S.76

⁷¹ vgl. BUSSEMAS, 1985, S.21

⁷² ebd. S.21

⁷³ vgl. ebd. S.23

„die Farbe [...] aus den chemisch entgegengesetzten Stoffen bildet“ und „chemische Wechselersetzung der Stoffe [...] von bestimmten Bewegungen begleitet [sind] die nach und nach als Bild zur Ruhe kommen, aber erst ganz aufhören, wenn Alles trocken geworden ist.“⁷⁴. Der Bildungstrieb ist laut Kuhnert und Niedersen ein Begriff für eine Kraft, welche den Organismen innewohnt und „eine morphologische Kraft für die Erzeugung, Ernährung und Reproduktion“⁷⁵ ist.

Bemerkenswert ist jedoch, dass er in dem Buch „Der Bildungstrieb der Stoffe...“ der Überzeugung war, dass keine fertigen Farben verwendet werden sollten, sondern lediglich Stoffe, die zu einer farbigen Verbindung reagieren.⁷⁶ Er beabsichtigte also keine chromatografische Auftrennung von Farben sondern Reaktionsbilder

Er verwendete seine Entdeckungen über die Kapillarbilder auch auf analytischen Weg. So beschreibt er zum Beispiel in seinem Buch „Farbenchemie. Erster Theil“ eine Möglichkeit die Stärke eines Bleichmittels durch Auftropfen auf ein Stück gefärbtes Baumwollgewebe zu überprüfen⁷⁷. In dem darauffolgenden Lehrbuch-Band „Farbenchemie. Zweiter Theil“ gibt er dann die Anleitung zu einer genaueren Methode der Untersuchung „auf freies Chlor“⁷⁸ mit einem mit Stärke und Kaliumiodid imprägniertem Papier.

Im dritten Teil der Farbenchemie gibt er schließlich einige Beispiel dafür an, wie man mit einer Tüpfelreaktion kleine Mengen von chemischen Verunreinigungen entdecken kann. Er führt einen Nachweis von Eisen- und Kupfersalzen an, bei dem man die Analyse so auf ein „Löschpapier“ tropft, dass der helle Hof der aufgetropften Lösung mit einem Kaliumhexacyanoferrat(II)-Fleck in Kontakt kommt. Mit dem hellen Hof der aufgetropften Lösung ist der Wasserfilm gemeint, welcher der farbigen Zone vorausseilt.⁷⁹

Runges Interessen beschränkten sich jedoch nicht nur auf die Kapillarbilder und deren wissenschaftliche Verwendungsmöglichkeiten. Er untersuchte auch den Zusammenhang zwischen den chemischen Stoffen einer Pflanze und deren Aussehen, jedoch brach er diese Untersuchungen spontan ab.⁸⁰

Außerdem entdeckte er Anilin in Steinkohlenteer. Anilin war zum damaligen Zeitpunkt ein wichtiger Färbestoff ⁸¹ und ist auch heute noch Edukt für viele Farben und andere Produkte⁸².

⁷⁴ RUNGE, 1855, S.32

⁷⁵ vgl. GOETZ, 1987, S.22

⁷⁶ vgl. RUNGE, 1855, S.32

⁷⁷ vgl. GOETZ, 1987, S.19

⁷⁸ vgl. ebd. S.19

⁷⁹ vgl. BUSSEMAS, 1985, S.64

⁸⁰ vgl. GOETZ, 1987, S.20

⁸¹ vgl. BUSSEMAS, 1985, S.126-127

⁸² vgl. <http://de.wikipedia.org/wiki/Anilin>, 23.01.2013, 7:18 Uhr

Nach Bussemas war ein weiteres Gebiet, mit dem Runge sich beschäftigte die Phytologie.⁸³ Phytologie ist die Lehre der Pflanzen.⁸⁴ Runge war der Meinung, dass sich in der Pflanzenwelt eine Vielzahl an chemischen Entdeckungen machen lasse.⁸⁵ Er verfasste ein Buch über die Phytologie, welches drei verschiedene Titel und Widmungen erhielt, darin beschreibt er verschiedene Nachweisreaktionen und die Methoden zur Zerlegungsweise einer Pflanze. Außerdem beschreibt er darin, wie man mit Hilfe eines „Katzenauge[s] als lebendiges Prüfungsmittel [...] [die] narkotischen Stoffe der Bilse, der Tollkirsche und des Stechapfels“ nachweisen kann.⁸⁶

Erwähnenswert sind noch die „Hauswirthschaftlichen Briefe“, in denen Runge „praktische Tips für die Anwendung der Chemie im Haushalt, in der Küche, im Gewerbe“⁸⁷ und vieles mehr gibt. Sie enthielten jeweils ein Kapillarbild, das er als sein chemisches Wappen

⁸³ vgl. BUSSEMAS, 1985, S.118

⁸⁴ vgl. <http://www.duden.de/rechtschreibung/Phytologie>, 20.01.2013, 21:24 Uhr

⁸⁵ vgl. BUSSEMAS, 1985, S.118

⁸⁶ vgl. ebd. S.119

⁸⁷ ebd. S.37

2. Die Kapillarbilder

2.1 Einführende Versuche nach Anleitung von Hedinger⁸⁸

2.1.1 Herstellung der Kapillarbilder

Es werden Kapillarbilder nach der Arbeitsanleitung von Hedinger erstellt.

Zur Herstellung der Kapillarbilder wird kupfersulfatimprägniertes (CuSO_4) und rohrzuckerimprägniertes Chromatografiepapier ($\text{C}_6\text{H}_{12}\text{O}_6$) benötigt. Zum Auftropfen wird Kaliumhexacyanoferrat(II)-Lösung (gelbes Blutlaugensalz, $w(\text{K}_4[\text{Fe}(\text{CN})_6])=0,03$), Tartrazingelb-Lösung ($w=0,02$), Patentblau-Lösung ($w=0,008$), Eisen(III)chlorid-Lösung ($w(\text{FeCl}_3)=0,04$), Ammoniumdihydrogenphosphat-Lösung ($w(\text{NH}_4\text{H}_2\text{PO}_4)=0,1$), Cochenillerot-Lösung ($w=0,02$) und Natriumchlorid-Lösung, $w(\text{NaCl})=0,07$ verwendet. Desweiteren benötigt man eine Pasteurpipette, vier Holzleisten und einige Reißnägeln.

Eisen(III)chlorid sollte über den Schwermetallabfall entsorgt werden.

Auf vier Holzleisten wird das Chromatografiepapier glatt gespannt und mit Reißnägeln befestigt. Dann wird nach Anleitung von Hedinger Tropfen für Tropfen in der angegebenen Reihenfolge auf das Papier aufgetragen. Nach jedem Tropfen wird abgewartet, bis er vom Papier aufgesogen wurde. Bei allen Versuchen wird eine Tropfengröße verwendet, welche der Öffnung der PE-Tropfflaschen entspricht. Die Tropfhöhe kann variieren.

Bei Bild I werden auf kupfersulfatimprägniertes Chromatografiepapier drei Tropfen Kaliumhexacyanoferrat(II)-Lösung, ein Tropfen Tartrazingelblösung, ein Tropfen Patentblaulösung und fünf Tropfen Natriumchlorid-Lösung aus einer Tropfhöhe von ungefähr zehn Zentimetern getropft.

Bild II wird auch auf kupfersulfatimprägniertem Chromatografiepapier hergestellt. Dabei werden zwei Tropfen Tartrazingelblösung, drei Tropfen Eisen(III)chlorid-Lösung, ein Tropfen Kaliumhexacyanoferrat(II)-Lösung und vier Tropfen Natriumchlorid-Lösung aus einem Zentimeter Höhe getropft.

⁸⁸ Siehe Versuchsreihe I

Ebenfalls auf mit Kupfersulfatlösung imprägniertem Chromatografiepapier werden bei Bild III vier Tropfen Ammoniumdihydrogenphosphatlösung getropft und anschließend 20 Minuten an Luft trocknen gelassen. Dann werden zwei Tropfen Eisen(III)chlorid-Lösung, ein Tropfen Kaliumhexacyanoferrat(II)-Lösung und sechs Tropfen Natriumchloridlösung als Fließmittel aus einer Höhe von circa fünf Zentimetern getropft.

Bei Bild IV werden wiederum auf mit Kupfersulfatlösung imprägniertes Chromatografiepapier, aus einer Höhe von ungefähr zwei Zentimetern, drei Tropfen Ammoniumdihydrogenphosphatlösung getropft und im Anschluss 20 Minuten an der Luft getrocknet. Danach werden drei Tropfen Kaliumhexacyanoferrat(II)-Lösung, zwei Tropfen Tartrazingelblösung, ein Tropfen Patentblaulösung und vier Tropfen Natriumchlorid-Lösung aufgetropft.

Bei Bild Va und Vb werden die Lösungen, ebenso die Reihenfolge und Tropfenanzahl unverändert beibehalten. Jedoch wird eine unterschiedliche Tropfhöhe verwendet: Bei Bild Va wird aus ungefähr 35 Zentimetern Höhe und bei Bild Vb aus fünf Zentimetern Höhe getropft.

Es wird auf rohrzuckerimprägniertes Chromatografiepapier aufgetropft. Dabei werden vier Tropfen Eisen(III)chlorid-Lösung, drei Tropfen demineralisiertes Wasser, vier Tropfen Kaliumhexacyanoferrat(II)-Lösung, zwei Tropfen Tartrazingelblösung und weitere acht Tropfen Kaliumhexacyanoferrat(II)-Lösung.

Auf mit Rohrzuckerlösung imprägniertes Chromatografiepapier werden bei Bild VI vier Tropfen Ammoniumdihydrogenphosphatlösung, vier Tropfen Eisen(III)chlorid-Lösung, drei Tropfen Natriumchloridlösung, vier Tropfen Kaliumhexacyanoferrat(II)-Lösung, drei Tropfen Cochenillerotlösung und vier Tropfen Kaliumhexacyanoferrat(II)-Lösung aus einer Tropfhöhe von circa fünf Zentimetern getropft.

Beobachtung:



Abb. 1: Bild I

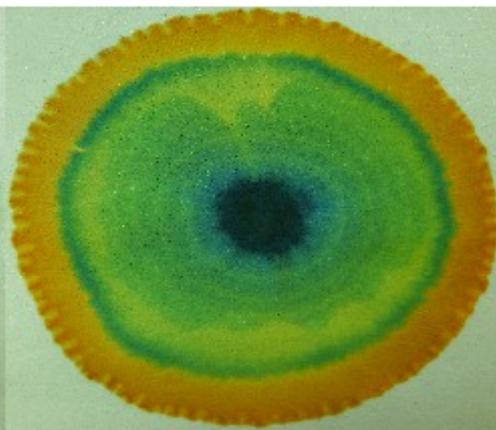


Abb. 2: Bild II

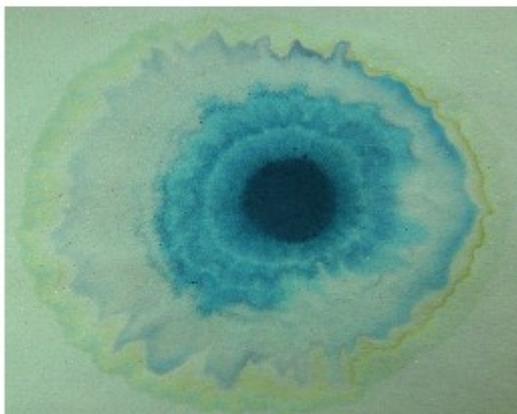


Abb. 3: Bild III

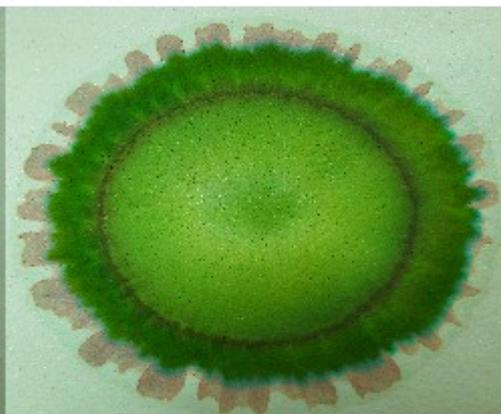


Abb. 4: Bild IV

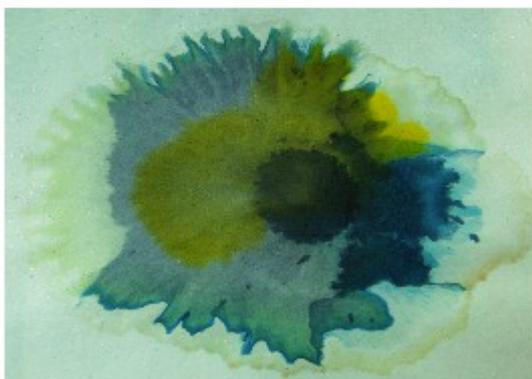


Abb. 5: Bild Va

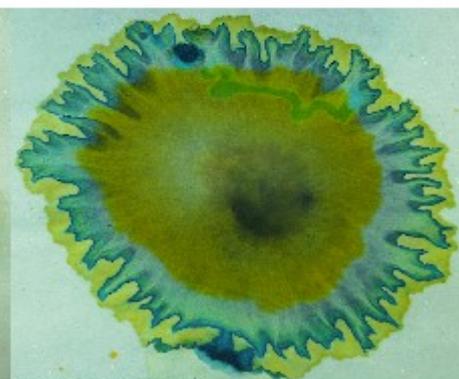


Abb. 6: Bild Vb

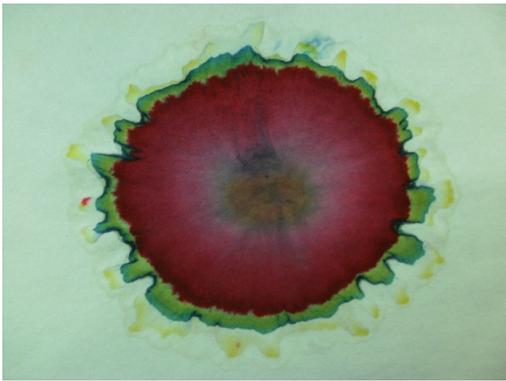


Abb. 7: Bild VI



Abb. 8: Versuch 1

Bei einer zu hohen Tropfhöhe ist es schwierig die anfängliche Auftropfstelle einzuhalten (siehe Bild Va). Außerdem spritzen dadurch die Tropfen ab und führen so zu „Irritationen“. Dadurch ist eine Höhe von mehr als zwanzig Zentimetern nicht ratsam.

Teilweise kommt mehr als ein Tropfen auf einmal aus der Tropfflasche. Dadurch wird eine Lache auf dem Papier gebildet, welche zu einem großräumigerem „Mittelfleck“ führt. Das kann behoben werden, indem bei diesen Tropfflaschen die Lösungen stattdessen mit einer abgebrochenen Pasteurpipette, deren Tropfengröße identisch mit der Tropfflasche ist, aufgetragen wird.

2.1.2 Erklärung der Kapillarbilder⁸⁹

Mit Versuchen in Reagenzgläsern und auf Chromatografiepapier werden die Farben und Muster der Kapillarbilder erklärt.

Hierzu wird kupfersulfatimprägniertes (CuSO_4) und rohrzuckerimprägniertes Chromatografiepapier benötigt. Desweiteren wird Kaliumhexacyanoferrat(II)-Lösung (gelbes Blutlaugensalz, $w(\text{K}_4[\text{Fe}(\text{CN})_6])=0,03$), Tartrazingelb-Lösung ($w=0,02$), Patentblau-Lösung, ($w=0,008$), Eisen(III)chlorid-Lösung ($w(\text{FeCl}_3)=0,04$), Ammoniumdihydrogenphosphat-Lösung ($w(\text{NH}_4\text{H}_2\text{PO}_4)=0,1$), Cochenillerotlösung ($w=0,02$), Natriumchlorid-Lösung ($w(\text{NaCl})=0,07$) und Kupfersulfatlösung ($w(\text{CuSO}_4)=0,03$) verwendet.

Zur Durchführung der Versuche benötigt man darüber hinaus eine Pasteurpipette, vier Holzleisten, einige Reißnägeln, Reagenzgläser, Zentrifuge.

Bei Bild I ist außen eine rotbraune Zone zu erkennen und ein dunkelgrauer Fleck in der Mitte. Dieser kommt durch die Reaktion von Kaliumhexacyanoferrat(II) mit Kupfersulfat zu

⁸⁹ Siehe Versuchsreihe II

Kupferhexacyanoferrat(II) zu Stande. Zur Überprüfung wird in einem Reagenzglas Kaliumhexacyanoferrat(II)-Lösung mit Kupfersulfatlösung gemischt. Es entsteht ein rotbrauner Niederschlag. (Versuch 1):

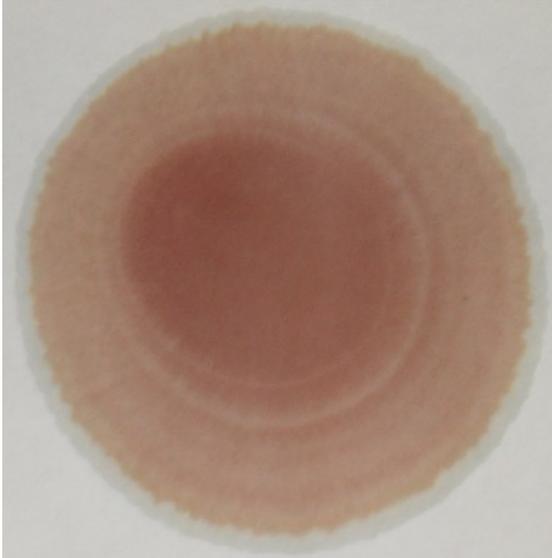


Abb. 9: Versuch 2

Unter dem gesamten Kapillarbild ist ein Fleck, der aus Kupferhexacyanoferrat(II) besteht und dann im Anschluss vom Tartrazingelb und Patentblau teilweise überdeckt wurde. Drei Tropfen Kaliumhexacyanoferrat(II)-Lösung werden zur Verifizierung auf ein mit Kupfersulfat imprägniertes Chromatografiepapier gegeben. Anschließend werden noch fünf Tropfen Natriumchloridlösung als Fließmittel aufgetropft. (Versuch 2)

Das Bild besitzt eine grünliche Innenzone und einen dünnen blauen Ring, obwohl das Tartrazingelb vor dem Patentblau aufgetropft wurde. Dies kommt dadurch zustande, dass die Patentblaulösung schneller auf dem Chromatografiepapier fließt als die Tartrazingelblösung. Zur Veranschaulichung werden auf mit Kupfersulfatlösung imprägniertes Chromatographiepapier ein Tropfen Patentblaulösung, ein Tropfen Tartrazingelblösung und acht Tropfen Natriumchloridlösung aufgetropft. Daraus wird ersichtlich, dass selbst wenn zuerst Patentblau und dann Tartrazingelb aufgetropft wird, das Patentblau am Ende ungefähr gleich weit gelaufen ist wie das Tartrazingelb. (Versuch 3)



Abb. 10: Versuch 3

Bild II besteht aus Tartrazingelb, Patentblau und einem intensiven dunkelblauen Farbstoff, welcher auf dem Papier entstanden ist. Der



Abb. 11:
Versuch 4

dunkelblaue Farbstoff ist Berliner Blau (Eisen(III)hexacyanoferrat(II)). Im Reagenzglas wird dies durch Mischen von Eisen(III)chlorid-Lösung mit Kaliumhexacyanoferrat(II)-Lösung überprüft, anschließend kann der Niederschlag noch in einer Zentrifuge abgetrennt werden (Versuch 4).

Tartrazingelb reagiert weder mit dem unlöslichen Eisen(III)hexacyanoferrat(II) noch mit der überstehenden Lösung. Zur Überprüfung wird jeweils etwas Tartrazingelblösung zum Niederschlag und zu der Lösung gegeben und anschließend gut geschüttelt. (Versuch 5 und 6). Die Mischungen haben eine grüne Farbe.



Abb. 12: Versuch 5



Abb. 14: Versuch 6



Abb. 15 Versuch 7

In Bild III ist die blaue Farbe des Berliner Blau (s.o.) zu erkennen. Jedoch bildet sich beim Auftropfen der Eisen(III)chlorid-Lösung auf den Phosphatfleck das schwerlösliche Eisen(III)phosphat, welches die größere Ausbreitung vom Berliner Blau verhindert. Eisen(III)phosphat kann im Reagenzglas ebenfalls durch Mischen von Eisen(III)chlorid-Lösung und Ammoniumdihydrogenphosphat-Lösung dargestellt werden (Versuch 7).

Bild IV weist einen rotbraunen Rand aus Kupferhexacyanoferrat(II) auf. Die grüne Farbe des Bildes setzt sich aus Tartrazingelb und dem blauen Kupfer(II)phosphat, welches in Wasser schwerlöslich ist. Zur Überprüfung wird im Reagenzglas Kupfersulfat-Lösung mit Ammoniumdihydrogenphosphat-Lösung gemischt. (Versuch 8):

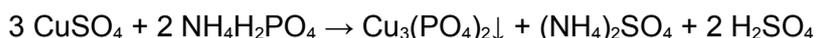


Bild V besteht aus den drei Farbstoffen Tartrazingelb, Berliner Blau (Eisen(III)hexacyanoferrat(II)), der blassgelben Farbe des Kaliumhexacyanoferrat(II) und deren (physikalischen) Mischfarben.



Abb. 13: Versuch 8

Bild VI besitzt zunächst, vor Auftropfen der Cochenillerotlösung einen weißen Eisen(III)phosphatfleck. Dieser wird durch die Farbe des Cochenillerots und des Berliner Blaus teilweise überdeckt.

2.2 physikalisch-chemische Grundlagen der Bilder

2.2.1 Aufbau von Papier

Cellulose besteht aus β -D-Glucose-Monomeren welche β -1,4, glykosidisch verknüpft sind.⁹⁰

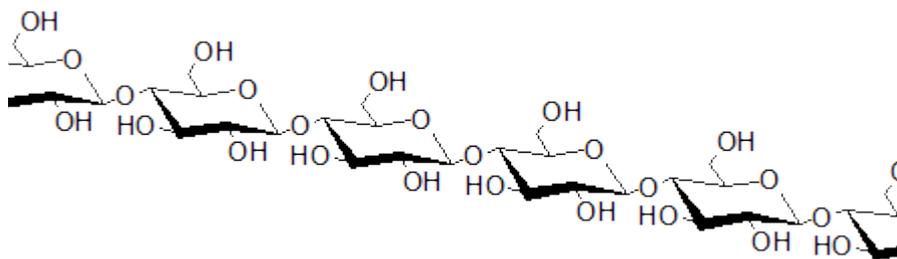


Abb. 16: Ausschnitt aus einem Cellulosemolekül (erstellt mit Chems sketch)

Ein Cellulosemolekül besteht aus bis zu 3000 Glucosemolekülen.

Die Cellulose besitzt viele freie Hydroxylgruppen (siehe Abbildung). Dadurch können inter- und intramolekulare Wasserstoffbrückenbindungen ausgebildet werden. Das Cellulosemolekül ist durch seine Polarität hydrophil. Kleine Moleküle können sich besser anlagern als größere. Lediglich bei sehr starrer Anordnung werden alle Hydroxylgruppen mit Wasserstoffbrückenbindung zwischen den Cellulosemolekülen abgedeckt. Daher hat die Cellulose eine Tendenz zur Kristallinität (bis zu 70 %) ³. Amorphe Bereiche haben weniger stark ausgeprägte Wasserstoffbrückenbindungen. Dort kann Cellulose mehr Wasser aufnehmen, zum Beispiel aus der Luft. ⁹¹

In einer Elementarfibrille lagern sich die Cellulosemoleküle parallel zusammen. Dabei sind sie teilweise auch nicht-linear, also geknickt und/oder gedreht. Diese Bereiche nennt man amorphe Bereiche. In den kristallinen Bereichen sind die Cellulosemolekül parallel mit gleicher Ausrichtung angeordnet.

⁹⁰ vgl. Kemnitz, 2007, S. 318

⁹¹ vgl. Bussemas, 1985, S. 41

Die Elementarfibrillen lagern sich wiederum parallel zu Mikrofibrillen zusammen. Die Zwischenräume zwischen den einzelnen Elementarfibrillen sind bei einer ausreichend hohen Luftfeuchtigkeit mit Wasser gefüllt; sie heißen intermicellare Räume.

Die Mikrofibrillen lagern sich parallel gebündelt zu Makrofibrillen zusammen. Die – meist luftgefüllten – Hohlräume zwischen den einzelnen Mikrofibrillen heißen interfibrilläre Räume.

Eine Lintersfaser besteht aus parallel zusammen gelagerten Makrofibrillen. Sie wird aus den Samenhaaren der Baumwolle gewonnen. Die luftgefüllten Hohlräume zwischen den Makrofibrillen heißen Lumen. Sie ziehen sich durch die gesamte Faser.

Im Papier sind die einzelnen Lintersfasern miteinander verfilzt. Die durch die Verfilzung hervorgerufenen Zwischenräume heißen Poren.⁹²

Zusammenfassend lässt sich also sagen, dass in der Faser und im Papier viele Hohlräume sind. Dadurch kommt es zu einer großen inneren Oberfläche und die bei den Kapillarbildern aufgetropften Lösungen können sich in alle Richtungen gut ausbreiten. Wie gut sich eine Lösung, oder ihre Bestandteile ausbreiten können, hängt dann aber von der Polarität und der Molekülgröße ab.

2.2.2 Die Sogwirkung in den Kapillaren

Eine Kapillare ist ein Hohlraum im Papier. Die (polare) Flüssigkeit wird durch den Kapillardruck, bzw. Kapillarsog vom Papier aufgesogen. Dies kommt dadurch zustande, dass die Flüssigkeit wegen der Oberflächenspannung bestrebt ist, Kugelgestalt anzunehmen. Durch die Wechselwirkung zwischen polarer (Cellulose-)Wand und polarer Flüssigkeit – welche bis zur Mitte der Kapillare reicht, entsteht jedoch ein Meniskus, der zu einer Oberflächenvergrößerung führt.⁹³

Die Flüssigkeit ist daraufhin wieder bestrebt Kugelgestalt anzunehmen und wandert – bildlich gesprochen – indem sie in der Mitte einen Meniskus in die andere Richtung bildet. Jetzt kommt wieder die Anziehungskraft zwischen Wand und Flüssigkeit zum Tragen. Die Flüssigkeit wird wieder von der Wand angezogen und wandert so ein Stück weiter. Diese Vorgänge, die in der Flüssigkeit sehr schnell hintereinander ablaufen und an die Fortbewegung einer Raupe erinnert, wird solange fortgeführt, bis die Flüssigkeit weit

⁹² vgl. ebd. S. 41-43

⁹³ vgl. ebd. 44

genug aufgesogen wurde um Kugelgestalt anzunehmen oder die Flüssigkeit ausgetrocknet wurde.

Wasser wird hierbei besonders gut aufgesogen, da es aus kleinen Molekülen mit großen Wechselwirkungskräften mit der Cellulose besteht. Salze werden durch ihre Größe und etwas geringere Polarität entsprechend langsamer aufgesogen.⁹⁴(vgl. Bussemas, S.45). doch wird durch die Quellung des Papiers der Wassertransport auch behindert, da die Hydroxylgruppen, durch die aus der Luft adsorbierten Wassermoleküle schon bedient wurden.⁹⁵.

2.2.3 Musterbildung

2.2.3.1 Muster ohne Reaktion

Rungebilder können auch entstehen, wenn man Chemikalien benutzt, die keine chemische Reaktion miteinander eingehen.⁹⁶ Sie kommen dann nur so zustande, dass bereits getrocknete Salze wieder aufgelöst und ihre Lösungen verdrängt werden.⁹⁷

Das Chromatografiepapier wird mit einer ersten Lösung imprägniert und vollständig trocken gelassen. Danach wird eine zweite Lösung auf das Chromatografiepapier aufgetropft. Dabei sollten beide Lösungen keine chemische Reaktion miteinander eingehen.⁹⁸

Zuerst löst die zweite Lösung das Salz der ersten Lösung. Daraufhin wird weiterhin zweite Lösung nachgetropft. Sie verdrängt das Salz der ersten Lösung und schiebt es ringförmig nach außen. So entsteht um den Bereich, indem die zweite Lösung sich befindet, ein weiterer Bereich. In diesem Bereich ist die Konzentration des Salzes der ersten Lösung höher, als bei der Imprägnierung, also in der restlichen Umgebung außen herum auf dem Chromatografiepapier.⁹⁹ Diese Zone ist so viskos, dass sie sich in einzelnen Tropfen zerteilt, die „sich örtlich zu zähen, etwas unregelmäßig fließenden Tropfen zusammenballen“¹⁰⁰. Es entstehen Verästelungen, Zacken oder auch Einbuchtungen im Übergang von der Zone der zweiten Lösung zu der konzentrierten Zone des ersten Salzes. Diese einzelnen Verästelungen reichen teilweise bis an die Grenze, an der die

⁹⁴ vgl. ebd. S.45

⁹⁵ vgl. Liesegang, 1932, S.43

⁹⁶ vgl. Bussemas, 1985, S. 47

⁹⁷ vgl. ebd. S. 50

⁹⁸ vgl. ebd. S. 47

⁹⁹ vgl. ebd. S. 47

¹⁰⁰ ebd. S. 51

konzentrierten Zone in die Imprägnierzone ausläuft. Ist der Kapillardruck das Chromatografiepapiers sehr stark, kann die zweite Lösung bis in die Imprägnierlösung mit normaler Salzkonzentration hineinkommen.¹⁰¹

Nach einiger Zeit kann sich die Struktur der Verdrängungsfiguren ändern, da Diffusionsvorgänge eintreten. Das Ergebnis davon kann auf zwei verschiedene Arten ausfallen: Entweder verwaschen die Verästelungen und sind nicht mehr so fein, aber die Einbuchtungen bleiben erhalten. Oder, wenn man langsam einen Tropfen nach dem anderen von der zweiten Lösung auftröpfelt und dabei nach jedem Tropfen ein paar Minuten wartet, entstehen sehr feine Verästelungen.¹⁰²

Verdrängungsfiguren erhält man zum Beispiel in folgendem Versuch:

Es wird koppersulfatimprägniertes Chromatografiepapier, sowie Kupfersulfat-Lösung ($w(\text{CuSO}_4)=0,03$) und Natriumchlorid-Lösung ($w(\text{NaCl})=0,07$).

Zunächst wird das Papier zusätzlich zur vorhandenen Imprägnierung mit 20 Tropfen Kupfersulfatlösung imprägniert. Nach ungefähr fünf Stunden werden dann zehn Tropfen Natriumchlorid-Lösung aufgetropft.

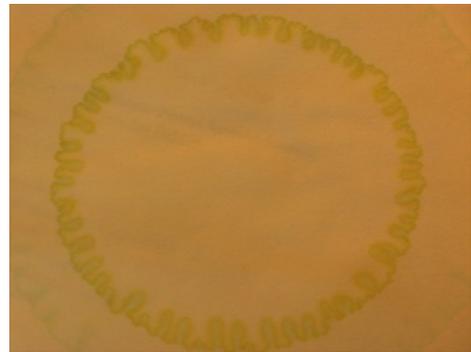


Abb. 17: Verdrängungsfigur mit Kupfersulfat

¹⁰¹ vgl. ebd. S. 47

¹⁰² vgl. ebd. S. 50

2.2.3.2 Schwerlösliche Niederschläge

Niederschlagsfiguren entstehen dadurch, dass zwei Lösungen verwendet werden, die miteinander chemisch reagieren und einen schwerlöslichen Niederschlag bilden. Diese Niederschlagsfiguren überlagern die Verdrängungsfiguren.¹⁰³

Das Chromatografiepapier wird mit der ersten der beiden Lösungen imprägniert und muss vollständig trocknen. Danach wird die zweite Lösung aufgetropft. Sie bildet mit dem Salz der Imprägnierlösung einen schwerlöslichen Niederschlag. An der Stelle, an der die zweite Lösung aufgetropft wurde befindet sich jetzt viel Niederschlag. Ein weiterer Tropfen der zweiten Lösung bewirkt, dass diese Stelle überflutet wird. Die nachfließende Lösung verdrängt den Niederschlag und schiebt ihn ringförmig nach außen. Der entstehende Niederschlag verdrängt die Imprägnierlösung. Es entstehen Verästelungen, die aus demselben Grund entstehen wie bei den Verdrängungsfiguren¹⁰⁴.

Niederschlagsarten

Es gibt verschiedene Niederschläge, die sich unterschiedlich verhalten.

Zum einen sind das die feinpulvrigen Niederschläge. Die Form entsteht, dadurch, dass die zweite Lösung den Niederschlag verdrängt, der sich dabei nicht löst, und schwemmt ihn ringförmig nach außen. Er lagert sich dann zwischen der konzentrierten Zone und der Imprägnierzone¹⁰⁵ zackenförmig an.¹⁰⁶ Zu diesen Niederschlägen gehören zum Beispiel Bleisulfat (PbSO_4) und Bariumsulfat (BaSO_4). Die feinpulvrigen Niederschläge „stören das Entstehen von Verdrängungsfiguren nicht, solange die Lösungen nicht zu konzentriert sind“¹⁰⁷.

Zum anderen sind das die „gallertartige[n], kolloidale[n] oder käsige[n] Niederschläge“¹⁰⁸. Das Problem bei diesen Niederschlägen ist, dass sie die feinen Kapillaren des Chromatografiepapiers verstopfen. So können nachfolgende Flüssigkeiten nicht mehr

¹⁰³ vgl. Bussemas, 1985, S. 50

¹⁰⁴ Siehe Kapitel 2.2.3.1

¹⁰⁵ Siehe Kapitel 2.2.3.1

¹⁰⁶ vgl. Bussemas, 1985, S. 52

¹⁰⁷ ebd. S. 51

¹⁰⁸ ebd. S. 52

hindurch fließen. Aus diesem Grund sind Niederschläge dieser Art für das Herstellen eines Rungebildes nicht geeignet.¹⁰⁹

Zu dieser Niederschlagsart gehören Niederschläge, wie beispielsweise Eisenhydroxid ($\text{Fe}(\text{OH})_3$), Aluminiumhydroxid ($\text{Al}(\text{OH})_3$), Chromhydroxid ($\text{Cr}(\text{OH})_3$), Silberchlorid (AgCl) und Silberbromid (AgBr).

Wenn ein Niederschlag nicht genug Zeit hat, sich abzusetzen, und eine verdrängende Lösung aufgetropft wird, dann lagert sich der Niederschlag in Richtung seines Verdrängungsweges ab. Es entstehen „Seitenmoränen“^{110, 111}.

Bei vielen Rungebildern sind die Systeme mit ihren Niederschlagsbildungen so komplex, dass man die Muster, die dabei entstehen, kaum vorhersagen kann. Besonders schwierig ist das, wenn ein Niederschlag nicht sofort ausfällt, sondern sich langsam, manchmal sogar über Zwischenprodukte bildet, wie zum Beispiel bei Manganchromat. Es ist auch schwierig vorherzusagen, wenn der Niederschlag von der zweiten Lösung, die nachfließt, wieder aufgelöst wird und der Niederschlag wieder an einer anderen Stelle ausfällt.¹¹²

2.2.3.3 Rhythmische Ausfällungen

Die Niederschlagsfiguren im vorangehenden Unterkapitel erhalten durch das Auftropfen der Lösungen in regelmäßigen Abständen ihre Periodizität.

Bei Verwendung von Kaliumchromatlösung und Mangan(II)sulfat/Kaliumsulfatlösung entstehen jedoch unter den richtigen Voraussetzungen Bilder, deren Periodizität nicht mit dem Abstand des Auftropfens der Lösungen zusammenhängt, sondern die vielmehr von den Chemikalien aus geht.¹¹³

Zum Herstellen dieser Bilder wird zunächst tropfenweise mit Kaliumchromatlösung imprägniert, dann wird durch – zunächst – einzelnes Auftropfen der Mangansulfat-Kaliumsulfatlösung das Bild hergestellt.

Dabei ist die Entstehung von vielen verschiedenen Stoffen möglich. Hauptsächlich handelt es sich hierbei um Manganchromat und dessen Zersetzungsprodukte,

¹⁰⁹ vgl. ebd. S. 52

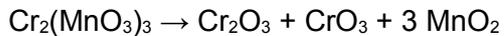
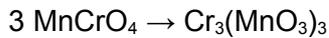
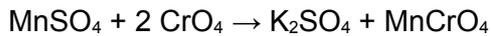
¹¹⁰ ebd. S. 52

¹¹¹ vgl. ebd. S. 52

¹¹² vgl. ebd. S. 52

¹¹³ Vgl. BUSSEMAS S.52

Chrom(III)Manganat(V), sowie Chrom(III)oxid, Chrom(VI)oxid und Mangan(IV)oxid.¹¹⁴:



usw.¹¹⁵

Darüber gibt es keine gesicherten, wissenschaftlichen Erkenntnisse, sondern nur Hypothesen, was auch aus aktuellerer Literatur ersichtlich wird. Es lässt sich jedoch aus der Farbe der Bilder schlussfolgern, dass eines der Zersetzungsprodukte Braunstein (Mangan(IV)oxid) ist.

Die Niederschläge sind also eine Mischung vieler verschiedener Stoffe. Die Zusammensetzung hängt aber stark „von den Versuchs-, Aufbereitungs- und Nachweisbedingungen“ ab.¹¹⁶

Es gibt mehrere Erklärungsversuche. Einige davon lehnt sich an die Liesegang-Ringe an. Die Liesegang-Ringe sind Niederschlagsbildungen, z.B. in Gallerten, welche ebenfalls keinem äußeren Rhythmus folgen.

Die laut Bussemas schlüssigste Theorie ist die von Ostwald¹¹⁷. Demnach entstehen die rhythmischen Ausfällungen dadurch, dass sich zunächst eine übersättigte Mangan(II)chromatlösung in den Kapillaren bildet, daraus kristallisiert schon durch einen kleinen Manganchromat-Kristallisationskeim das gesamte Manganchromat aus der Lösung auf einen Schlag aus. Daher bilden sich geschlossene Ringe. Die Ringe entstehen dadurch, dass dort überall ähnliche Bedingungen, also eine ähnliche Manganchromatkonzentration, herrscht. Die Wahrscheinlichkeit, dass sich ein Keim bildet steigt mit zunehmender Konzentration. Wenn sich ein Mal ein Kristallisationskeim gebildet hat, diffundieren weitere Chromat- und Mangan(II)teilchen aus dem inneren und dem äußeren Bereich dorthin und bilden dort weiteres Manganchromat. Das führt zu einem Konzentrationsabfall im Inneren und im Äußeren. Da ja weiterhin aufgetropft wird, geht das Ganze also wieder von vorne los.¹¹⁸

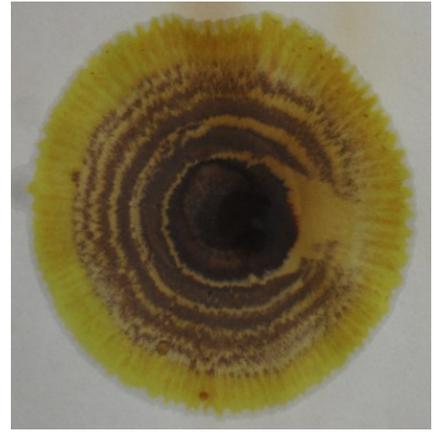


Abb. 18: Kapillarbild mit rhythmischer Ausfällung

¹¹⁴ Vgl. BUSSEMAS S.53

¹¹⁵ Ebd. S.53

¹¹⁶ Ebd. S.53

¹¹⁷ Vgl. ebd.S.53

¹¹⁸ Vgl. Ostwald S. 25

Nach Bussemas hat diese Erklärung jedoch einige Fehlerquellen. So zählen sie unter anderem dazu, das nicht genau erläutert wird, „welche Bedingungen für die Existenz übersättigter Lösungen notwendig sind“¹¹⁹ und „welchen Einfluss eventuelle Fremdkeime haben“¹²⁰. Außerdem weichen die rhythmischen Ausfällungen in den Kapillarbildern insofern von den Liesegang-Ringen ab, dass bei den Kapillarbildern die Ringe von innen nach außen enger zueinander rücken, bei den Liesegang-Ringen rücken die Ringe jedoch nach außen hin weiter auseinander.¹²¹

Mit folgender Versuchsreihe können die rhythmischen Ausfällungen im Labor nachgeahmt und untersucht werden:

Es wird zunächst nach Anleitung von Hedinger¹²² ein Kapillarbild unter Verwendung von Kaliumchromatlösung sowie Mangansulfat/Kaliumsulfatlösung hergestellt. Dann wird zunächst die Reihenfolge der Lösungen vertauscht, also zuerst Mangansulfat/Kaliumsulfatlösung und dann Kaliumchromatlösung aufgetropft. Im Anschluss wird ein schwerlöslicher Niederschlag (Berliner Blau) ausgefällt und anschließend darauf Kaliumchromatlösung und Mangansulfat/Kaliumchromatlösung aufgetropft.

Es wird kupfersulfatimprägniertes Chromatografiepapier, Mangansulfat-Kaliumsulfatlösung ($w(\text{MnSO}_4)=0,15$ und $w(\text{K}_2\text{SO}_4)=0,08$), Kaliumchromatlösung ($w(\text{K}_2\text{CrO}_4)=0,15$), Natriumchloridlösung ($w(\text{NaCl})=0,07$), Kaliumhexacyanoferrat(II)-Lösung ($w(\text{K}_4[\text{Fe}(\text{CN})_6])=0,03$) und Eisen(III)chloridlösung ($w(\text{FeCl}_3)=0,04$) benötigt.

Für Kaliumchromat gelten die H-Sätze giftig ist¹²³ sollte mit Handschuhen gearbeitet und Hautkontakt vermieden werden.

Auf vier Holzleisten wird das Chromatografiepapier glatt gespannt und mit Reißnägeln befestigt. Dann wird Tropfen für Tropfen auf das Papier aufgetragen. Es ist wichtig, dass ein Tropfen vollständig vom Papier aufgesogen wurde, bevor erneute getropft wird.

Bei Bild I werden auf das mit Kupfersulfatlösung imprägnierte Chromatografiepapier drei Tropfen Mangansulfat-Kaliumsulfat-Lösung, zwei Tropfen Kaliumchromatlösung und sechs Tropfen Natriumchloridlösung aufgetropft.

¹¹⁹ Bussemas S. 54

¹²⁰ Ebd. S.54

¹²¹ Vgl. ebd. S. 54

¹²² Arbeitsanleitung siehe Anhang

¹²³ Siehe auch Chemikalienliste im Anhang

Bild II wird ebenfalls auf mit Kupfersulfatlösung imprägniertem Chromatografiepapier hergestellt. Es werden drei Tropfen Kaliumchromatlösung, zwei Tropfen Mangansulfat-Kaliumsulfat-Lösung und sechs Tropfen Natriumchloridlösung getropft

Bei Bild III werden auch auf mit Kupfersulfatlösung imprägniertes Chromatografiepapier drei Tropfen Kaliumhexacyanoferrat(II)-Lösung, vier Tropfen Mangansulfat-Kaliumsulfat-Lösung, zwei Tropfen Kaliumchromatlösung und vier Tropfen Natriumchloridlösung gegeben.

Zu den rhythmischen Ausfällungen kommt es nur, wenn zuerst Kaliumchromatlösung und dann Mangansulfat-Kaliumsulfat-Lösung aufgetropft werden (Bild II), wenn die Lösungen anders herum getropft werden, dann liegt ein Niederschlagsbild vor, welches den Mustern aus 2.2.3.2 entspricht. Wenn zunächst ein schwerlöslicher Niederschlag ausfällt (Bild III) kommt es ebenfalls nicht zu einem Bild mit rhythmischen Ausfällungen, sondern zu einer Überlagerung zweier Niederschlägen in einem Niederschlagsbild.

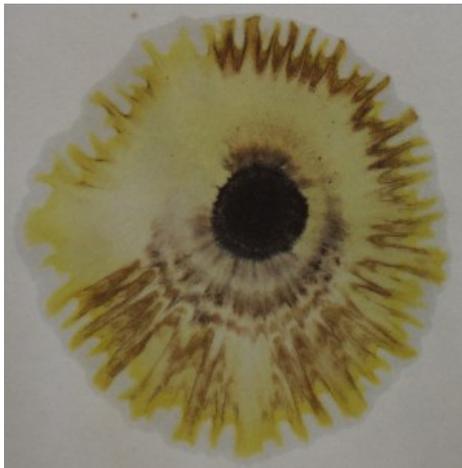


Abb. 19: Bild I direkt nach dem Versuch



Abb. 20: Bild I nach weiteren 30 Minuten

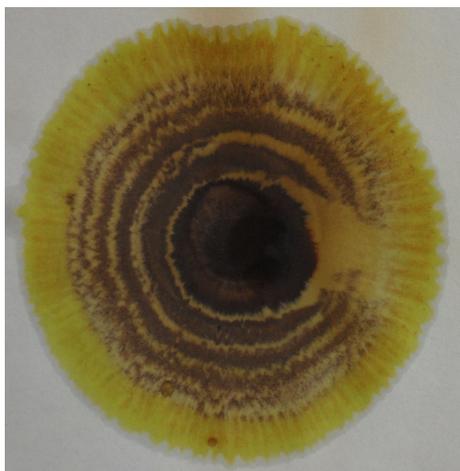


Abb. 21: Bild II direkt nach dem Versuch



Abb. 22: Bild II nach weiteren 30 Minuten

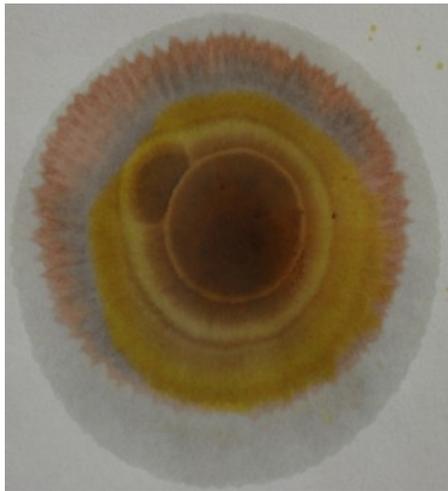


Abb. 23: Bild III direkt nach dem Versuch



Abb. 24: Bild III nach 2 Stunden

2.3 Einflüsse auf die Kapillarbilder

In seinem Buch „Der Bildungstrieb der Stoffe“ stellte Runge konkrete Überlegungen zu den Gründen, dass zwei Kapillarbilder gleich oder unterschiedlich sind. Er schlussfolgert aus seinen Experimenten, dass „alle Kräfte, Stoffe und Umstände“¹²⁴, die zum Aussehen des ersten Bildes geführt haben, auch beim zweiten Bild gleich sein müssen, um dasselbe Aussehen zu erhalten. Er führt unter anderem die Papiersorte, die Bestandteile und Konzentrationen der Lösungen, Zusätze und vieles mehr an.¹²⁵ In diesem Kapitel sollen einige mögliche Einflüsse auf die Kapillarbilder dargestellt und anhand von Versuchen veranschaulicht werden.

Jedoch können immer nur Tendenzen erkannt werden, da für eine rein wissenschaftliche Untersuchung der Einflüsse mehrere gleichartige Bilder gemacht werden müssten. Außerdem haben Kapillarbilder Abweichungen – selbst wenn die Versuchsbedingungen gleich sind. Dies liegt daran, dass äußere Einflüsse wichtig sein können, die schwer zu beherrschen sind. So spielt zum Beispiel die Sonneneinstrahlung (also UV-Strahlen) oder der Luftdruck eine Rolle. Wenn nur Tendenzen betrachtet werden, können diese Einflüsse vernachlässigt werden, jedoch nicht wenn eine wissenschaftliche Untersuchung durchgeführt würde.

2.3.1 Einfluss der Papiersorte

¹²⁴ Bussemas, 1985, S. 21

¹²⁵ Vgl. ebd. S.21

Die Papiersorte, die für das Herstellen eines Kapillarbildes verwendet wird, hat einen großen Einfluss darauf, wie das Bild hinterher aussieht. Sowohl auf die Größe als auch auf die Farbintensität nimmt die Papiersorte ihren Einfluss. Um große Bilder mit Verästelungen zu bekommen, benutzt man Papier, in das die Lösungen schnell einziehen können und in dem sie eine hohe Fließgeschwindigkeit haben. Hier sind dies das Chromatografiepapier, nicht veraschbares, sowie veraschbares Filterpapier, die jeweils mit Rohrzucker imprägniert sind. Dabei werden aber die Farben des Bildes blasser, da sie auf eine größere Fläche verteilt sind.

Kleine Bilder mit intensiven Farben erhält man, wenn die Tropfen langsam einziehen und die Lösungen langsam fließen. Dazu eignet sich hier Löschpapier, Druckerpapier und Zeitungspapier, die jeweils mit Rohrzucker imprägniert sind. Allerdings sind diese Bilder dann ziemlich klein.

Eine Ausnahme ist, dass beim Verwenden von dickem Chromatografiepapier das Bild klein wird, aber die Farben auch nicht so intensiv sind.

Der Einfluss der Papiersorte auf ein Kapillarbild kann mit einer Versuchsreihe erklärt werden:

Dazu benötigt man vier Holzleisten und acht Reißnägeln um die Papiere auf den Holzleisten befestigen. Zum Imprägnieren kann ein 600 mL Becherglas und ein Trockenschrank benutzt werden. Die Lösungen werden mit PE-Tropfflaschen aufgetropft. Es wird mit Rohrzucker-Lösung ($C_{12}H_{22}O_{11}$) imprägniertes Chromatografiepapier, dickes Chromatografiepapier, nicht veraschbares Filterpapier, veraschbareres Filterpapier, gelbes Löschpapier, Druckerpapier („Rex-Kopierpapier“) und Zeitungspapier verwendet. Zur Imprägnierung wird Rohrzucker-Lösung ($w(C_{12}H_{22}O_{11})=0,08$) benutzt.

Zum Auftropfen wird Kupfersulfat-Lösung ($w(CuSO_4)=0,03$), Kaliumhexacyanoferrat(II)-Lösung (gelbes Blutlaugensalz, $w(K_4[Fe(CN)_6])=0,03$) und Natriumchlorid-Lösung ($w(NaCl)=0,07$), jeweils in Tropfflaschen, benötigt.

Die Kupfersulfatlösung sollte über den Schwermetallabfall entsorgt werden, da sie umweltgefährdend ist.¹²⁶

Zuerst werden die verschiedenen Papiere, soweit sie es noch nicht sind, mit Rohrzucker imprägniert. Dazu wird die Rohrzucker-Lösung in ein Becherglas gefüllt und jedes zu imprägnierende Papier in die Lösung eingetaucht. Anschließend werden die

¹²⁶ siehe Chemikalienliste mit Sicherheitshinweisen im Anhang

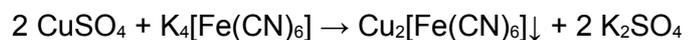
imprägnierten Papiere bei 105°C bis 110°C im Trockenschrank getrocknet. Das zu untersuchende Papier wird mit Rohrzucker-Lösung imprägniert und dann mit Hilfe von vier Reißnägeln auf die Holzleisten gespannt. Jetzt werden vier Tropfen Kupfersulfat-Lösung, vier Tropfen Kaliumhexacyanoferrat(II)-Lösung und sechs Tropfen Natriumchlorid-Lösung jeweils aus einer Tropfflasche getropft. Dabei wird jeder Tropfen auf die gleiche Stelle in der Mitte des Papiers getropft. Vor jedem neuen Tropfen wird gewartet, bis der vorherige Tropfen vollständig in das Papier eingezogen ist. Nach dem letzten Tropfen wird das Papier bei Raumtemperatur trocknen gelassen.

Dafür wird für Bild I mit Rohrzucker imprägniertes Chromatografiepapier verwendet. Als Vergleich dazu wird Bild II auf dickem Chromatografiepapier erstellt und für Bild III werden die Lösungen auf ein nicht veraschbares Filterpapier getropft. Für Bild IV benutzt man ein veraschbares Filterpapier. Bild V wird auf einem gelben Löschpapier erstellt. Mit Bild VI untersucht man Druckerpapier und Bild VII wird auf einem Zeitungspapier erstellt, das möglichst nicht bedruckt ist.



Abb. 25: Bild I

Bei allen Bildern erkennt man eine rostbraune Farbe. Dies kommt dadurch zustande, dass das Kupfersulfat in wässriger Lösung mit Kaliumhexacyanoferrat(II) reagiert. Dabei entsteht Kupfer(II)hexacyanoferrat(II) als rostbrauner Niederschlag:



Die Natriumchlorid-Lösung wird als Fließmittel benutzt, um den Niederschlag auszuschwemmen. So sollen im Normalfall die Verästelungen entstehen, die charakteristisch für Kapillarbilder sind.

Bei Bild I entsteht ein gleichmäßiges Kapillarbild mit Verästelungen, das einen Durchmesser von 7,5 cm hat. Die braune Farbe des Mittelflecks ist dunkler als der Rest außen um den Mittelfleck herum. Die Lösungen ziehen schnell in das Chromatografiepapier ein und können gut fließen. So können sich Verästelungen ausbilden.

Bild II ist ebenfalls gleichmäßig, hat jedoch keine Verästelungen. Der Durchmesser beträgt 5 cm. Der dunkelbraune Mittelfleck ist erkennbar. Das Bild sieht von hinten etwas anders aus als von vorne. Die Lösungen ziehen nicht so schnell in das dicke Chromatografiepapier ein. Das Bild und die Verästelungen werden damit kleiner.



Abb. 26: Bild II von vorne Abb. 27: Bild II von hinten

Bild III auf nicht veraschbarem Filterpapier und Bild IV auf veraschbarem Filterpapier haben große Verästelungen und sind regelmäßig. Sie haben einen sehr ähnlichen Durchmesser – beide ungefähr 8,5 cm. An der Auftropfstelle befindet sich bei beiden Kapillarbildern ein dunkelbrauner Fleck. Die Verästelungen können sich gut ausbilden, da die Lösungen schnell einziehen und gut fließen können.



Abb. 28: Bild III

Abb. 29: Bild IV

Es dauert lange, bis die Tropfen in das Löschpapier von Bild V, das Druckerpapier von Bild VI und in das Zeitungspapier von Bild VII eingezogen sind. Alle drei Kapillarbilder sind unregelmäßig und haben keine Verästelungen. Die Bilder sind sehr dunkel und farbintensiv. Jedoch unterscheidet sich der dunkelbraune Mittelfleck bei allen drei Bildern in der Farbintensität wenn überhaupt nur sehr wenig von dem Bereich darum herum. Die drei Bilder sind sehr klein. Am kleinsten von diesen drei Bildern ist das



Abb. 30: Bild V

Bild auf Zeitungspapier, am größten auf dem Löschpapier. Die Farbintensität und geringe Größe der Bilder rührt auf jeden Fall von der geringen Fließgeschwindigkeit auf den Papieren her. Dieser



Abb. 31: Bild VI

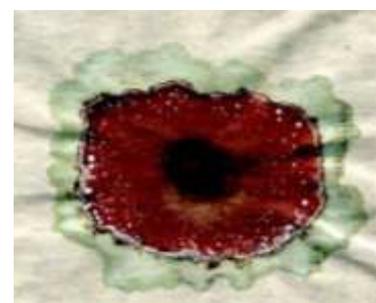


Abb. 32: Bild VII

langsame Transport von Lösungen im Papier kann durch verschiedene Ursachen zustande kommen. So ist zum Beispiel plausibel, dass die Papiere, Bild IV Bild III Bild VI Bild VII welche ja alle drei vor der Imprägnierung Flüssigkeiten besser aufnehmen als die anderen Papiere in dieser Versuchsreihe, größere Kapillaren besitzen. Dadurch ist es denkbar, dass die Hydroxylgruppen der Celluloseketten mit dem Rohrzucker der Imprägnierlösung schon Wasserstoffbrückenbindungen eingegangen sind. Das führt dazu, dass der Transport durch die kapillare Sogwirkung mangels freier Hydroxylgruppen erschwert ist. Eine andere mögliche Erklärung ist, dass die Kapillaren auf die gleiche Weise mit den aufgetropften Lösungen verstopfen.

Wenn die erste Erklärung stimmt, kann auf Grund der Überlegung, wie stark ein Papier dazu neigt mit dem Rohrzucker der Imprägnierlösung Wasserstoffbrückenbindungen auszubilden, darauf geschlossen werden, wie groß die Kapillaren sind.

Bei Bild V und VII ist ein grüner Außenring erkennbar. Außerdem sind weiße Kristalle am Rand zu sehen, die aus Natriumchlorid bestehen, bei Bild VII sind darüber hinaus gelbe Kristalle zu erkennen. Diese entstehen dadurch, dass schon bei dem sehr langsamen Einziehen der Lösungen etwas Wasser verdunstet und dadurch das Löslichkeitsprodukte der Salzlösungen überschritten wurde. Das führte dazu, dass am Rand, wo die Konzentration jeweils am Größten war, Natriumchlorid, bzw. Kaliumhexacyanoferrat(II) auskristallisiert ist.

2.3.2 Einfluss der Imprägnierung

Die Imprägnierung beeinflusst das Bild in Form und Farbe, wohingegen die Größe weniger stark von der Imprägnierung abhängt. Die Konzentration der Imprägnierlösungen und die Molmasse der verwendeten Stoffe spielen ebenfalls eine Rolle in Bezug auf Farbintensität und Form, vor allem bei den Verästelungen am Rand. Wenn eine Suspension oder ein nicht vollständig gelöster Stoff zur Imprägnierung verwendet wird, reagiert der Feststoff mit den aufgetropften Lösungen. Das Aussehen des Bildes verändert sich dadurch lediglich bei den Verästelungen und beim Rand, nicht aber weiter innen.

Bei Imprägnierung des Papiers mit einem organischen, unpolaren Stoff (Paraffinierung) wird je nach Polarität des Stoffes, die Farbe des Bildes mehr oder weniger intensiver.

Zur Verifizierung kann folgende Versuchsreihe verwendet werden:

Man benötigt dazu mit Saccharose-Lösung (Rohrzucker, $C_{12}H_{22}O_{11}$) imprägniertes und nicht imprägniertes Chromatografiepapier. Als Imprägnierlösungen verwendet man Mangansulfat-Kaliumsulfat-Lösung ($w(MnSO_4)=0,15$; $w(K_2SO_4)=0,08$), Zinksulfat-Mangansulfat-Lösung ($w(ZnSO_4)=0,08$; $w(MnSO_4)=0,08$), Fructose-Lösung (Fruchtzucker, $w(C_6H_{12}O_6)=0,08$), Glucose-Lösung (Traubenzucker, $w(C_6H_{12}O_6)=0,08$). Speiseöl und Paraffinöl subliquidum werden jeweils 1:1 mit Aceton (Propanon, C_3H_6O) gemischt. Zur Herstellung der Kapillarbilder werden Kupfersulfat-Lösung ($w(CuSO_4)=0,03$), Kaliumhexacyanoferrat(II)-Lösung (gelbe Blutlaugensalzlösung, $w(K_4[Fe(CN)_6])=0,03$) und Natriumchlorid-Lösung ($w(NaCl)=0,07$) verwendet.

Kupfersulfat, Mangansulfat und Zinksulfat sind umweltgefährlich und sollten daher über den Schwermetallabfall entsorgt werden. Beim Arbeiten mit Aceton sollten Zündquellen fern gehalten werden. Außerdem dürfen wegen der Explosionsgefahr auf keinen Fall mit Aceton behandelte Papiere im Trockenschrank getrocknet werden.¹²⁷

Die Imprägnierlösung wird in einen leeren Exsikkator oder eine flache Wanne gefüllt. Dann wird das zu imprägnierende Papier durchgezogen und durch aufhängen an der Luft oder alternativ im Trockenschrank bei ca. $105^\circ C$ getrocknet. Anschließend wird das getrocknete Papier auf den Holzleisten gespannt und in die Mitte des Papiers aus zwei bis drei Zentimetern Höhe die Lösungen aus Tropfflaschen getropft. Es werden vier Tropfen Kupfersulfat-Lösung, vier Tropfen Kaliumhexacyanoferrat(II)-Lösung und sechs Tropfen Natriumchlorid-Lösung verwendet. Es darf erst dann ein neuer Tropfen aufgetropft werden, wenn der vorherige Tropfen vollständig vom Papier aufgesogen wurde.

Bei Bild I wird Rohrzucker-Lösung verwendet, also das mitgelieferte, vorimprägnierte Chromatografiepapier. Bild II wird auf nicht imprägniertem Chromatografiepapier hergestellt. Mit Mangansulfat-Kaliumsulfat-Lösung wird das Chromatografiepapier für Bild III imprägniert. Für Bild IV wird das Chromatografiepapier mit Zinksulfat-Mangansulfat-Lösung getränkt. Das Tetrahydrat des Mangansulfats, welches in der Chemikalienausgabe erhältlich ist, löst sich langsam in Wasser. Daher wurde bei Bild IV.1 eine Suspension und bei Bild IV.2 eine Lösung verwendet. Bei Bild V wird mit Fructose-Lösung und bei Bild VI mit Glucose-Lösung imprägniert. Bei Bild VII wird die Speiseöl-Aceton-Mischung zur Imprägnierung verwendet und für Bild VIII die Paraffinöl-Aceton-Mischung.

¹²⁷ Siehe auch Chemikalienliste mit Sicherheitshinweisen im Anhang

Die Größe des Bildes, also der Durchmesser an der breitesten Stelle, variiert nur sehr schwach je nach Imprägnierung (zwischen 6,1 und 8,7 cm). Die Imprägnierung beeinflusst aber, wie weit die verschiedenen Lösungen auf dem Papier laufen, also wie bei der Chromatographie die Wanderungsgeschwindigkeit und –strecke der verschiedenen Lösungen.

Bei den Salzlösungen hat die Imprägnierung hauptsächlich Einfluss auf die Intensität der Farben und auf die Schärfe der Kanten, also des Übergangs zwischen den „Verästelungen“ aus Kupferhexacyanoferrat(II) und der äußeren Natriumchlorid-Kupfersulfat-Zone.

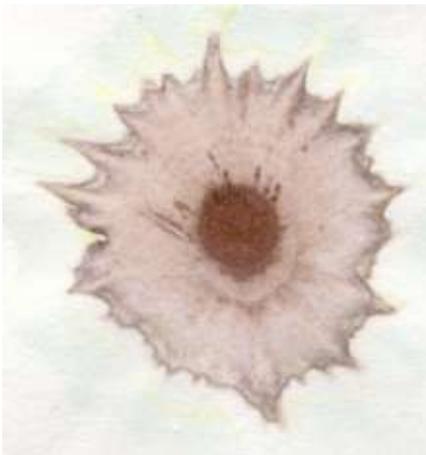


Abb. 33: Bild III



Abb. 34: Bild IV.2

Der Abstand der einzelnen Ringe ist im Durchschnitt unabhängig von der Imprägnierung. Wenn keine Imprägnierung verwendet wird, ist das Bild gleichmäßiger und es gibt keine Verästelungen.

An Bild I, Bild V und Bild VI erkennt man, dass auch sehr ähnliche Imprägnierungen, wie Rohrzucker, Traubenzucker und Fruchtzucker, einen Unterschied zeigen. Bei Bild V und VI sind lediglich die Verästelungen am Rand dunkler als die inneren Kreise. Bei Bild I hingegen ist noch ein dunkler Ring innerhalb der Verästelungen zu erkennen. Das kann dadurch zustande kommen, dass Saccharose eine sehr viel größere Molmasse hat ($M=342,30 \text{ g}\cdot\text{mol}^{-1}$) als Fructose und Glucose ($M=180,16 \text{ g}\cdot\text{mol}^{-1}$). Außerdem ist zu erkennen, dass Bild I dunkler als Bild V und Bild VI ist, was sich unter anderem durch die unterschiedliche Massenkonzentration der Imprägnierlösungen erklären lässt.



Abb. 35: Bild I

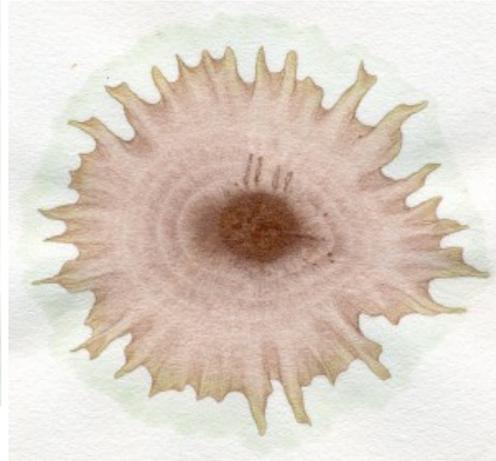


Abb. 36: Bild V

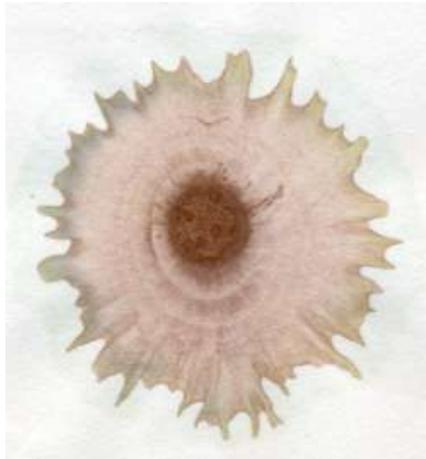


Abb. 37: Bild VI

Wenn das Papier paraffiniert wird (mit Speiseöl oder Paraffinöl subliquidum) sind die Verästelungen weniger stark ausgeprägt und die Farben intensiver. Bei Paraffinum subliquidum (Bild VIII) ist die Farbe nicht so intensiv, das Bild sieht insgesamt dem Bild II (ohne Imprägnierung) in Form und Farbe ähnlicher als Bild VII. Das mit Speiseöl imprägnierte Papier nahm die Lösungen besser und schneller auf als die anderen Papiere, außerdem gibt es die Farben kräftiger wieder.



Abb. 38: Bild VII

Abb. 39: Bild VIII



Abb. 40: Bild II

Bei Bild IV.1 ist zu erkennen, dass die aufgetropften Lösungen zunächst mit dem ungelösten Feststoff reagiert haben, im Anschluss daran dann mit dem zuvor aufgetropften Stoff. Der Feststoff hat auf die sonstige Form und Farbe des Bildes keinen Einfluss, es ist lediglich etwas kleiner als Bild I und die Verästelungen haben keine so scharfen, erkennbaren Umrandungen.



Abb. 41: Bild IV.1

2.3.3 Einfluss der Tropfenverhältnisse

Das Tropfenverhältnis hat keinen Einfluss auf die Größe des Bildes, solange die Gesamttropfenzahl gleich bleibt. Die Intensität des Bildes insgesamt verändert sich nicht mit dem Tropfenverhältnis, lediglich die Intensität der Färbung der Verästelungen. Die Größe und Form der Verästelungen hängt von dem Tropfenverhältnis ab. Die Anzahl von Ringen entspricht der Anzahl der Tropfen der zweiten Lösung, welche den Niederschlag bildet.

Dies kann folgendermaßen überprüft werden:

Es wird mit Rohrzucker ($C_{12}H_{22}O_{11}$) imprägniertes Chromatografiepapier benötigt, sowie Kupfersulfat-Lösung ($w(CuSO_4)=0,03$), Kaliumhexacyanoferrat(II)-Lösung (auch gelbes Blutlaugensalz genannt, $w(K_4[Fe(CN)_6])=0,03$) und Natriumchlorid-Lösung ($w(NaCl)=0,07$) jeweils in PE-Tropfflaschen. Ansonsten werden lediglich Holzleisten und einige Reißnägel benötigt.

Es sind keine besonderen Sicherheitsvorkehrungen zu treffen, da die Lösungen ungefährlich sind. Kupfersulfat sollte jedoch über den Schwermetallabfall entsorgt werden, da es umweltgefährlich ist¹²⁸

Die Chemikalien werden jeweils auf ein Chromatografiepapier getropft, welches mit Reißnägeln auf den Holzleisen festgespannt wurde. Vor dem Auftropfen jedes einzelnen Tropfens wird gewartet, bis der vorherige vollständig vom Papier aufgesogen wurde.

Bei Bild I werden vier Tropfen Kupfersulfat-Lösung, vier Tropfen Kaliumhexacyanoferrat(II)-Lösung und sechs Tropfen Natriumchlorid-Lösung getropft.

Für Bild II werden zwei Tropfen Kupfersulfat-Lösung, vier Tropfen Kaliumhexacyanoferrat(II)-Lösung und sechs Tropfen Natriumchlorid-Lösung verwendet.

Bild III besteht aus zwei Tropfen Kupfersulfat-Lösung, sechs Tropfen Kaliumhexacyanoferrat(II)-Lösung und sechs Tropfen Natriumchlorid-Lösung.

Bild IV wird mit vier Tropfen Kupfersulfat-Lösung, zwei Tropfen Kaliumhexacyanoferrat(II)-Lösung und sechs Tropfen Natriumchlorid-Lösung hergestellt.

Anschließend werden für Bild V sechs Tropfen Kupfersulfat-Lösung, zwei Tropfen Kaliumhexacyanoferrat(II)-Lösung und sechs Tropfen Natriumchlorid-Lösung getropft.

¹²⁸ Siehe Chemikalienliste mit Sicherheitshinweisen im Anhang

An Bild I, Bild II und Bild III kann man erkennen, dass bei Verkleinerung des Verhältnisses der Kupfersulfat-Tropfen zu den Kaliumhexacyanoferrat(II)-Tropfen (1:1 bis 1:3) die dunkelblaue Zone außen größer und die Verästelungen dunkler werden. Dies kommt dadurch zustande, dass das Kupfersulfat immer mehr mit dem Kaliumhexacyanoferrat(II) reagieren kann und dadurch der gebildete Niederschlag immer wieder aufgelöst und nach außen geschwemmt werden kann.



Abb. 42: Bild I

Abb. 43: Bild II



Abb. 44: Bild III

An Bild I, Bild IV und Bild V erkennt man, dass mit zunehmendem Tropfenverhältnis der Kupfersulfat-Tropfen zu den Kaliumhexacyanoferrat(II)-Tropfen (1:1 bis 3:1) die Verästelungen am Rand immer schwächer werden, bis sie vollständig verschwinden. Das kommt daher, dass der Kupfersulfatfleck, der sich auf dem Papier vor dem Auftropfen der Kaliumhexacyanoferrat(II)-Tropfen befindet, immer größer wird. Dadurch kann es nicht so sehr zu Verästelungen kommen. Diese entstehen, indem über die erste Lösung hinaus

aufgetropft wird und dadurch sich kein neuer Niederschlag bilden kann. Stattdessen wird lediglich der weiter innen gebildete Niederschlag nach außen geschwemmt.

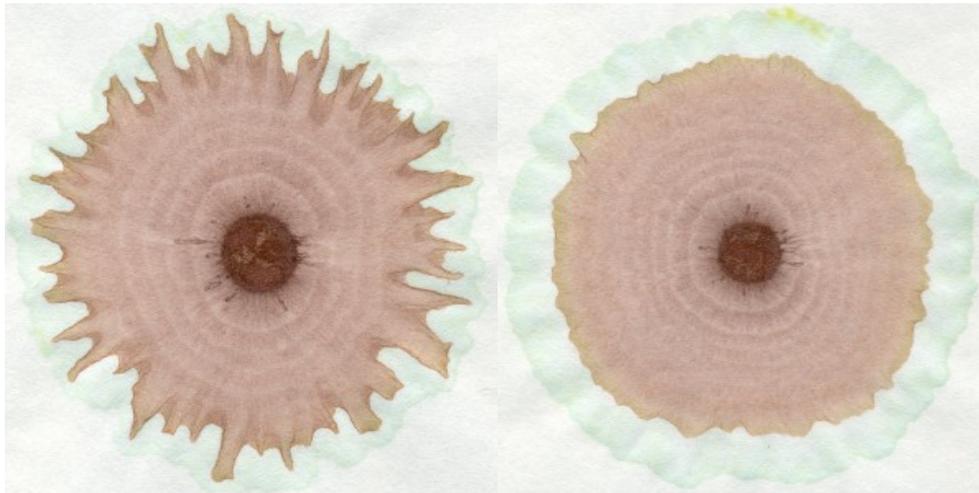


Abb. 45: Bild IV

Abb. 46: Bild V

2.3.4 Einfluss der Tropfengröße

Die Tropfengröße hat nur einen Einfluss auf die Größe eines Kapillarbildes. Je größer der Tropfen einer aufgetropften Lösung ist, desto größer wird auch das Bild. Das liegt daran, dass ein größerer Tropfen mehr Lösung enthält als ein kleinerer. Es strömt mehr Flüssigkeit nach und drängt den vorhergehenden Tropfen weiter nach außen.

Um ein besonders kleines Bild zu erhalten, kann man die Öffnung einer Kapillare oder eine zur Kapillare gezogene Pasteurpipette benutzen. Ein großes Kapillarbild erhält man, wenn man zum Auftropfen der Lösungen eine Messpipette verwendet. Die Tropfengröße hat keinen Einfluss auf die Farbe oder die Deutlichkeit der Ringe. Auch die Verästelungen des Bildes sind überall ähnlich.

Der Einfluss der Tropfengröße kann wie folgt erklärt werden:

Dafür benötigt man vier Holzleisten, einige Reißnägeln, drei Kapillaren oder eine zur Kapillare gezogene Pasteurpipette, eine Pasteurpipette und eine Messpipette.

Zum Überprüfen des Einflusses der Tropfengröße wird Rohrzucker-imprägniertes Chromatografiepapier ($C_{12}H_{22}O_{11}$), Kupfersulfat-Lösung ($w(CuSO_4)=0,03$), Kaliumhexacyanoferrat(II)-Lösung (gelbes Blutlaugensalz, $w(K_4[Fe(CN)_6])=0,03$) und Natriumchlorid-Lösung ($w(NaCl)=0,07$) benötigt.

Es werden keine gefährlichen Chemikalien verwendet. Kupfersulfat sollte jedoch über den Schwermetallabfall entsorgt werden, da es umweltgefährlich ist.¹²⁹

¹²⁹ Siehe auch Chemikalienliste mit Sicherheitshinweisen im Anhang

Mit Hilfe von vier Reißnägeln wird das Papier auf die Holzleisten gespannt. Dann werden vier Tropfen Kupfersulfat-Lösung, vier Tropfen Kaliumhexacyanoferrat(II)-Lösung und sechs Tropfen Natriumchlorid-Lösung darauf getropft. Dabei wird jeder Tropfen auf die gleiche Stelle in der Mitte des Papiers getropft. Vor jedem neuen Tropfen wird gewartet, bis der vorherige Tropfen vollständig in das Papier eingezogen ist. Nach dem letzten Tropfen wird das Papier bei Raumtemperatur trocknen gelassen. Um verschiedene Tropfengrößen zu erhalten, tropft man für Bild I die Lösungen jeweils aus einer Tropfflasche. Die Tropfen auf Bild II werden mit einer Kapillare oder einer zur Kapillare gezogenen Pasteurpipette aufgetragen. Die Lösungen für Bild III tropft man aus einer Pasteurpipette und für Bild IV aus einer Messpipette.



Abb. 47: Bild I



Abb. 48: Bild II

Das Kapillarbild I hat einen Durchmesser von 7,5 cm. Der Mittelfleck hat einen Durchmesser von 1,1 cm. Hier wurde zum Auftropfen eine Tropfflasche verwendet. Es entstehen mittelgroße Tropfen, deren Größe sowohl die Größe des Mittelflecks als auch die des gesamten Kapillarbildes beeinflussen.

Für Bild II wurde zum Auftropfen eine Kapillare verwendet. Sie hat eine sehr kleine Öffnung. Die Tropfen werden dadurch sehr klein und damit auch das gesamte Bild, das einen Durchmesser von 5,5 cm und dessen Mittelfleck einen Durchmesser von 0,8 cm hat.

Bild III hat einen Durchmesser von 7,0 cm. Der Mittelfleck hat einen Durchmesser von 1,0 cm. Die Tropfengröße, die durch eine Pasteurpipette entsteht, ist ähnlich der, die mit Tropfflasche entsteht. Dieses Bild hat eine mittlere Größe dieser Versuchsreihe. Die Ringe sind leicht undeutlicher. Es sind eigentlich keine Unterschiede zu Bild I erkennbar, außer dass das Bild etwas schief geworden ist. Dies hängt aber weniger mit der Tropfengröße zusammen.

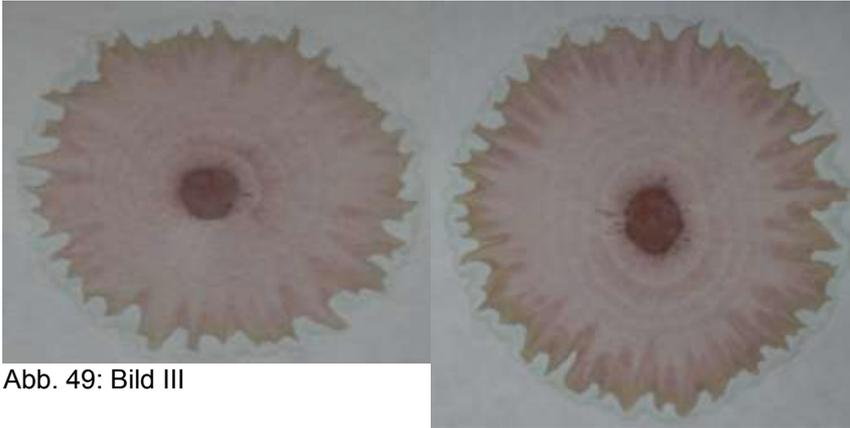


Abb. 49: Bild III

Abb. 50: Bild IV

Bild IV hat einen Durchmesser von 9,0 cm. Der Mittelfleck hat einen Durchmesser von 1,5 cm. Zum Auftropfen wurde eine Messpipette verwendet. Sie hat eine große Öffnung. Es entstehen große Tropfen und damit auch ein großes Bild. Es sind keine Farbunterschiede entstanden. Die Verästelungen der Kapillarbilder sind überall ähnlich.

2.3.5 Einfluss der Tropfhöhe

Die Tropfhöhe hat nur einen sehr geringen Einfluss auf Form und Farbe des Kapillarbildes. Mit zunehmender Tropfhöhe nimmt die Gesamtgröße des Bildes minimal zu.

Zur Verifizierung kann folgende Versuchsreihe dienen:

Es wird mit Rohrzuckerlösung imprägniertes Chromatografiepapier ($C_{12}H_{22}O_{11}$), sowie Kupfersulfat-Lösung ($w(CuSO_4)=0,03$), Kaliumhexacyanoferrat(II)-Lösung (gelbes Blutlaugensalz, $w(K_4[Fe(CN)_6])=0,03$) und Natriumchlorid-Lösung ($w(NaCl)=0,07$) benötigt. Die Lösungen werden jeweils aus PE-Tropfflaschen aufgetropft. Außerdem werden noch vier Holzleisten und einige Reißnägeln benötigt, mit denen das Chromatografiepapier straff gespannt wird.

Es werden jeweils vier Tropfen Kupfersulfat-Lösung, vier Tropfen Kaliumhexacyanoferrat(II)-Lösung und sechs Tropfen Natriumchlorid-Lösung aus einer bestimmten Höhe getropft.

Bild I wird aus zwei bis drei Zentimetern, Bild II aus sieben bis zehn Zentimetern, Bild III aus ungefähr 15 Zentimetern und Bild IV aus circa 30 Zentimetern Höhe getropft.

Die Gesamtgröße des Kapillarbildes nimmt mit zunehmender Tropfhöhe geringfügig zu. Das Aussehen der inneren Baumringe verändert sich sehr wenig. Die Höhe bestimmt lediglich, wie genau der Ausgangspunkt bei den weiteren Tropfen getroffen wird. Form und Farbe der Verästelungen verändern sich kaum. Dabei ist kein Trend zu erkennen, sondern es scheint mehr dem Zufall, bzw. kleineren Faktoren, wie ebengenanntem Treffen des Ausgangspunktes, überlassen. Außerdem ist die Größe der äußeren Kupfersulfatzone unabhängig von der Tropfhöhe.



Abb. 51: Bild I



Abb. 52: Bild II

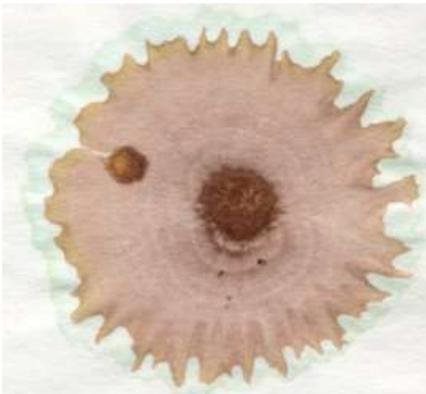


Abb. 53: Bild III



Abb. 54: Bild IV

2.3.6 Lösemittel

Das Lösemittel, das man zum Lösen der einzelnen Salze verwendet, hat einen großen Einfluss auf die Art der Kapillarbilder. Das ist vor allem dann erkennbar, wenn das Lösungsmittel mit einem Stoff eine Reaktion eingeht. Wenn sich der Stoff im gewählten Lösungsmittel nicht vollständig löst, wird das Bild blasser und es sind Kristalle in der Bildmitte erkennbar, die von dem nicht gelösten Stoff herrühren.

Das kann mit folgender Versuchsreihe überprüft werden:

Man benötigt dazu vier Holzleisten, auf die mit Hilfe von mehreren Reißnägeln mit Rohrzuckerlösung imprägnierten Chromatografiepapiere befestigt. Zum Auftropfen der Lösungen verwendet man PE-Tropfflaschen oder eine Pasteurpipette, aus deren Öffnung ein gleich großer Tropfen kommt, wie aus einer Tropfflasche.

Als Lösungen verwendet man für Bild I eine Kupfersulfat-Lösung ($w(\text{CuSO}_4) = 0,03$), eine Kaliumhexacyanoferrat(II)-Lösung (gelbes Blutlaugensalz, $w(\text{K}_4[\text{Fe}(\text{CN})_6]) = 0,03$) und eine Natriumchlorid-Lösung ($w(\text{NaCl}) = 0,07$) im jeweiligen Lösungsmittel.

Für Bild I werden wässrige Lösungen verwendet. Für Bild II werden die Lösungen in einer Ethanol-Wasser-Mischung (50 Vol%) angesetzt, für Bild III in Glycerin-Wasser-Mischung (50 Vol%), für Bild IV in Eisessig-Wasser-Mischung (50 Vol%) und für Bild V in einer Natriumoxalat-Lösung ($w = 0,03$).

Kupfersulfat ist umweltgefährlich und sollte daher über den Schwermetallabfall entsorgt werden. Ethanol und Eisessig können mit Luft explosive Gemische bilden. Daher sollte mit diesen Lösungen im Abzug gearbeitet werden.¹³⁰

Mit Hilfe von vier Reißnägeln wird ein Papier auf die Holzleisten gespannt. Die Salze lösen sich schlecht in der Ethanol-Wasser-Mischung und in der Eisessig-Wasser-Mischung. Es wird daher beide Male eine Suspension verwendet.

Bei jedem Bild wird jeder Tropfen auf die gleiche Stelle in der Mitte des Papiere getropft. Sobald der Tropfen vollständig in das Chromatografiepapier eingezogen ist, wird der nächste Tropfen aufgebracht. Nach dem letzten Tropfen lässt man das Papier bei Raumtemperatur trocknen.

Für jedes Bild werden auf das mit Rohrzuckerlösung imprägnierte Chromatografiepapier vier Tropfen Kupfersulfat-Lösung, vier Tropfen Kaliumhexacyanoferrat(II)-Lösung und sechs Tropfen Natriumchlorid-Lösung jeweils aus einer Tropfflasche oder einer abgebrochenen Pasteurpipette vergleichbarer Tropfengröße getropft. Dabei sind für die Salze das jeweils angegebene Lösungsmittel zu verwenden.

¹³⁰ Siehe auch Chemikalienliste mit Sicherheitshinweisen im

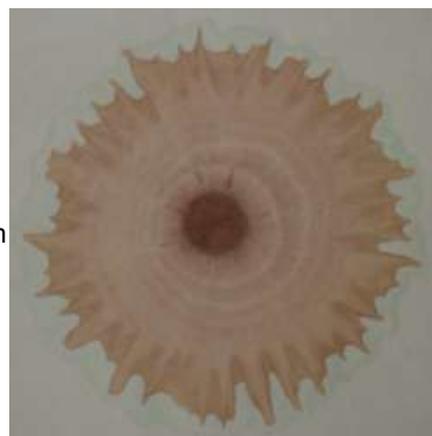


Abb. 55: Bild I

Bild I hat eine dunkelbraune Farbe und einen Durchmesser von 7,5 cm. Am Rand kann man Verästelungen erkennen. Dieses Bild dient als Vergleichsbild um den Einfluss des Lösungsmittels besser erkennen zu können. betrachtet man Bild II, so fällt auf, dass es zwar eine dunkelbraune Farbe hat, aber sehr blass ist. Es ist mit einem Durchmesser von 4,0 cm kleiner als Bild I und hat keine Verästelungen. In der Mitte kann man braun Kupferhexacyanoferrat(II)- und weiße Natriumchlorid-Kristalle erkennen. Die braunen Kristalle können durch zwei Arten von Reaktionen entstanden sein. Entweder haben gelb Kaliumhexacyanoferrat(II)-Kristalle mit der Kupfersulfatlösung reagiert oder blaue Kupfersulfat-Kristalle haben mit der Kaliumhexacyanoferrat(II) Lösung reagiert. Da die eine Möglichkeit die andere nicht ausschließt und beide Lösungen als Suspension verwendet wurden, kann man davon ausgehen, dass beide Reaktionen stattgefunden haben. Dabei sind die gelben und die blauen Kristalle von einer braunen Schicht überzogen. An dem schwachweißen Rand des Bildes, der ungefähr so groß ist wie Bild I, lässt sich erkennen, dass das Wasser genauso weit gelaufen ist wie die des Vergleichsbildes.¹³¹ Bild II beruht auf der gleichen Reaktion wie Bild I. Es ist aber blasser, weil sich die Salze nicht so gut in der Ethanol- Wasser-Mischung gelöst haben und dadurch eine geringere



Abb. 56: Bild II

Konzentration vorlag. Da deshalb eine Suspension verwendet wurde, befinden sich auf dem Mittelfleck Kristalle, die sich nicht gelöst hatten. Aufgrund des wenigen Niederschlags, der sich gebildet hat, konnte er nicht so weit geschwemmt werden, dass Verästelungen ausgebildet wurden.

Der Durchmesser des Bildes III beträgt 6,0 cm. Die dunkelbraune Farbe ist kräftig. Statt Verästelungen kann man nur kleine Ausbuchtungen erkennen. Die verwendeten Salze lösen sich gut in der Glycerin/Wasser- Mischung. Daher sind auf dem Mittelfleck keine Kristalle zu erkennen. Die Farben des Bildes, die auf der Niederschlagsbildung wie Bild I beruhen, sind kräftig. Das Bild trocknet nicht und bekommt Falten, da Glycerin einen hohen Dampfdruck hat.



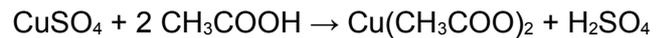
Abb. 57: Bild III

¹³¹ vgl. Kapitel 2.2.2: Die Sogwirkung in den Kapillaren



Abb. 58: Bild IV

Die Farbe von Bild IV ist grün. In der Mitte kann man weiße und braune Kristalle erkennen, da sich die Salze in der Eisessig-Wasser-Mischung nicht vollständig lösen. Der äußere Rand des 6,5 cm großen Bildes ist braunrot. Das Kupfersulfat reagierte mit dem Eisessig zu Kupferacetat:



Bei Bild V sind einzelne braunrote Ringe als Rippen (mit Flecken) und am Rand Verästelungen zu erkennen. Der äußerste Rand hat eine gelbliche Farbe. Der Durchmesser des Bildes beträgt 8,3 cm. Kupfersulfat bildet mit Natriumoxalat das wasserunlösliche Kupferoxalat:



2.3.7 Einfluss von anwesenden Gasen auf das Kapillarbild

Anwesende Gase verändern das Kapillarbild, sofern sie die Stabilität von Niederschlägen oder Komplexen verändern, sowie wenn sie mit Bestandteilen der Lösungen Reaktionen eingehen.

Das kann folgendermaßen überprüft werden:

Hierfür wird mit Rohrzuckerlösung ($\text{C}_{12}\text{H}_{22}\text{O}_{11}$) imprägniertes Chromatografiepapier, Kupfersulfat-Lösung ($w(\text{CuSO}_4)=0,03$), Kaliumhexacyanoferrat(II)-Lösung (gelbes Blutlaugensalz, $w(\text{K}_4[\text{Fe}(\text{CN})_6]=0,03$), Natriumchlorid-Lösung ($w(\text{NaCl})=0,07$), Salzsäure ($c(\text{HCl})\approx 2 \text{ mol/L}$), Ammoniak-Lösung (Salmiakgeist, $c(\text{NH}_4\text{OH})\approx 2 \text{ mol/L}$) und schweflige Säure benötigt.

Es sollte in einem Abzug gearbeitet werden. Außerdem sollte die Kupfersulfat-Lösung über den Schwermetallabfall entsorgt werden.¹³²

¹³² siehe Chemikalienliste mit Sicherheitshinweisen

Die Flüssigkeit, die das Gas enthält, welches das Bild unter Umständen beeinflusst, wird in ein Becherglas gegeben. Dann wird darauf das Chromatografiepapier gelegt und betropft. Nach jedem Tropfen wird gewartet, bis dieser vollständig eingesogen ist. Es werden jeweils vier Tropfen Kupfersulfat-Lösung, vier Tropfen Kaliumhexacyanoferrat(II)-Lösung und sechs Tropfen Natriumchlorid-Lösung aufgetropft.

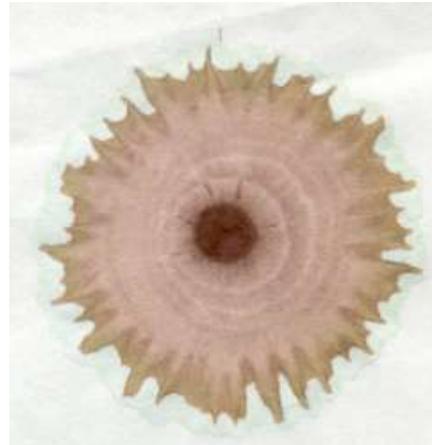


Abb. 59: Bild I

Bild I wird ohne einflussnehmende Gase, lediglich an der Laborluft, hergestellt. Bei Bild II wird über kochendem Wasser gearbeitet. Dabei wird das Wasser bis zum Kochen erhitzt und anschließend ohne weitere Wärmezufuhr das

Chromatografiepapier darauf gelegt und die Lösungen aufgetropft. Bei Bild III wird verdünnte Salzsäure, bei Bild IV verdünnter Ammoniak und bei Bild V schweflige Säure vor dem Auftropfen der Lösungen in das Becherglas gegeben.



Abb. 60: Bild II

Bild I wird als Vergleichsbild angefertigt.

Bei Bild II hat die Lösung keine Möglichkeit zu trocknen. Dadurch sind keine Verästelungen erkennbar. Diese kommen bei anderen Bildern dadurch zustande, dass bereits getrockneter Niederschlag etwas weitergeschwemmt wird. Aus demselben Grund ist Bild II größer als Bild I (12 cm bei Bild II 6,9 cm bei Bild I).



Abb. 61: Bild III

Bei Bild III sind keine größeren Veränderungen zu Bild I zu erkennen. Das kommt daher, dass das Kupferhexacyanoferrat(II) im sauren Medium ebenfalls schwerlöslich ist.

Im Bild IV bildet sich zunächst der blaue Kupfertetraminkomplex. Dieser ist in der Stabilität vergleichbar mit dem $\text{Cu}_2[\text{Fe}(\text{CN})_6]$ -Niederschlag, da sich der Niederschlag durch die Komplexbildung teilweise auflöst. Beim Trocknen des Bildes an Luft entweicht nach einiger Zeit der Ammoniak aus dem Kupfertetraminkomplex und die Blaufärbung verblasst an diesen Stellen.

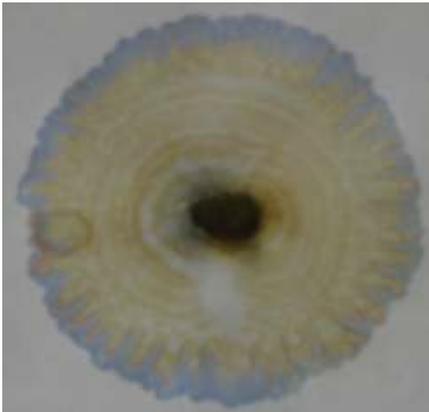


Abb. 62: Bild IV direkt nach Fertigstellung



Abb. 63: Bild IV eine Woche nach Fertigstellung

Bild V ist in der Form vergleichbar mit Bild I, jedoch ist es etwas farbintensiver. Das lässt sich dadurch erklären, dass das Kupfer(II) des Kupfer(II)hexacyanoferrat(II)-Niederschlags teilweise zu Kupfer(I) reduziert wurde, wodurch eine farbintensivere Verbindung entstanden ist.

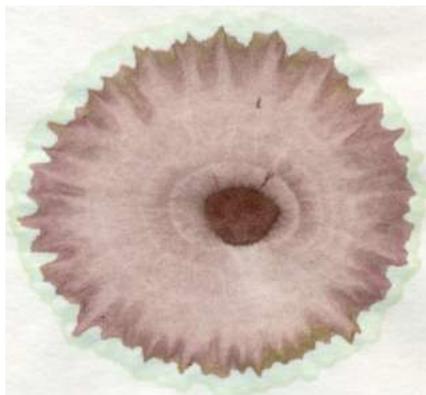


Abb. 64: Bild V

2.3.8 Luftfeuchtigkeit

Die Luftfeuchtigkeit hat, soweit es bei diesem Versuchsaufbau erkennbar ist, keinen Einfluss auf die Größe oder Farbintensität eines Kapillarbildes. Jedoch ist ein Vergleich der Trockenmittel schlecht möglich. Da nicht in einem geschlossenen System gearbeitet

wurde, kann keine sinnvolle Auswertung vorgenommen werden. Man müsste die Versuche in einem geschlossenen System bei konstanter Luftfeuchtigkeit durchführen, was jedoch den Rahmen dieser Arbeit sprengen würde.

Der Einfluss der Luftfeuchtigkeit auf ein Kapillarbild wurde mit folgender Versuchsreihe untersucht:

Für diese Versuchsreihe braucht man Kupfersulfat-Lösung ($w(\text{CuSO}_4) = 0,03$), Kaliumhexacyanoferrat(II)-Lösung (gelbes Blutlaugensalz, $w(\text{K}_4[\text{Fe}(\text{CN})_6]) = 0,03$), Natriumchlorid-Lösung ($w(\text{NaCl}) = 0,07$), konzentrierte Schwefelsäure ($w(\text{H}_2\text{SO}_4) = 0,96$), Natriumhydroxid (NaOH) und Kupfersulfat (CuSO_4).

Kupfersulfat ist umweltgefährdend und sollte daher über den Schwermetallabfall entsorgt werden. Konzentrierte Schwefelsäure und Natriumhydroxid sind ätzend und sollten daher sorgfältig gehandhabt werden.¹³³

Das Kupfersulfat wird bei 130°C im Trockenschrank getrocknet. Mit Hilfe von vier Reißnägeln wird ein Papier für Bild I auf die Holzleisten gespannt. Für die Bilder II bis IV wird jeweils das zu verwendende Trockenmittel in das Becherglas gefüllt und das Becherglas in den Exsikkator gestellt. Über das Becherglas wird jeweils ein mit Rohrzuckerlösung imprägniertes Chromatografiepapier gelegt.

Bei allen Bildern werden vier Tropfen Kupfersulfat-Lösung, vier Tropfen Kaliumhexacyanoferrat(II)-Lösung und sechs Tropfen Natriumchlorid-Lösung getropft. Zwischen den einzelnen Tropfen wird der Deckel des Exsikkators geschlossen. Erst wenn der Tropfen vollständig eingesogen ist, wird der Deckel kurz geöffnet, um den nächsten Tropfen aufzubringen. Bei Bild I wird kein Trockenmittel verwendet. Als Trockenmittel wird bei Bild II konzentrierte Schwefelsäure, bei Bild III festes Natriumhydroxid und bei Bild IV getrocknetes Kupfersulfat verwendet.



Abb. 65: Bild I

¹³³ Siehe Chemikalienliste mit Sicherheitshinweisen im Anhang

Bei allen Bildern erkennt man die dunkelbraune Farbe des Kupferhexacyanoferrat(II)-Niederschlags.

Bild I hat einen Durchmesser von 7,5 cm. Das Bild bei normaler Luftfeuchtigkeit im Raum dient als Vergleichsbild, mit dem die anderen Bilder dieser Versuchsreihe verglichen werden.

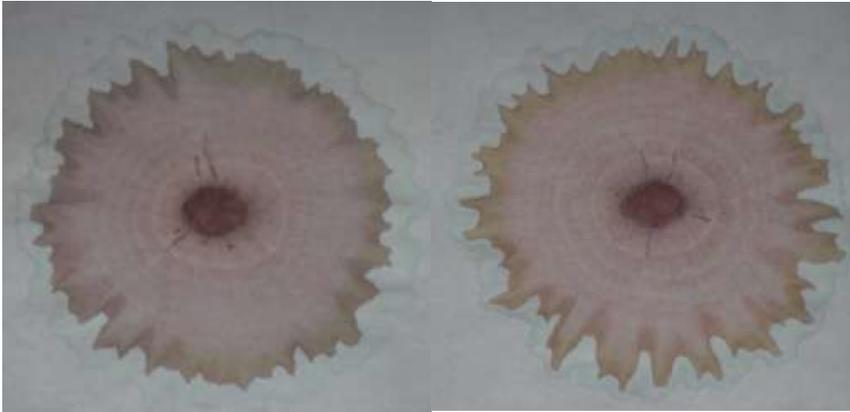


Abb. 66: Bild II

Abb. 67: Bild III

Der Durchmesser des Bildes II beträgt 7,5 cm, genauso wie der des Bildes III. Sowohl die konzentrierte Schwefelsäure als auch Natriumhydroxid sind hygroskopisch. Nach der Größe der Bilder zu urteilen, hat die Luftfeuchtigkeit auf beide Bilder keinen Einfluss.

Der Durchmesser von Bild IV beträgt 8,0 cm. Ein Kupfersulfat-Molekül kann bis zu fünf Wassermoleküle binden. Nach der Größe des Bildes zu urteilen, hat die Luftfeuchtigkeit keinen Einfluss auf das Bild.



Abb. 68: Bild IV

2.3.9 Einfluss des Fließmittels

Das Fließmittel beeinflusst die Farbintensität und die Form des Kapillarbildes, wenn es mit den gelösten Stoffen eine Reaktion eingeht oder bereits gebildete Niederschläge teilweise auflöst. Außerdem ist die Stoffmengenkonzentration des Fließmittels wichtig.

Das kann wie folgt verifiziert werden:

Hierfür wird mit Rohrzuckerlösung imprägniertes Chromatografiepapier, Kupfersulfat-Lösung ($w(\text{CuSO}_4)=0,03$), Kaliumhexacyanoferrat(II)-Lösung ($w(\text{K}_4[\text{Fe}(\text{CN})_6])=0,03$), Natriumchlorid-Lösung ($w(\text{NaCl})=0,07$) demineralisiertes Wasser, Natriumhydroxid-

Lösung (Natronlauge, $w(\text{NaOH})=0,07$), Salzsäure ($c(\text{HCl})\approx 2 \text{ mol/L}$) und Kaliumchlorid-Lösung ($w(\text{KCl})=0,07$) benötigt.

Es sind keine besonderen Sicherheitshinweise zu treffen, da die Lösungen verdünnt genug sind, und somit unschädlich sind. Die Kupfersulfat-Lösung sollte über den Schwermetallabfall entsorgt werden.¹³⁴

Es werden vier Holzleisten und einige Reißnägeln, sowie eine abgebrochene Pasteurpipette benötigt. Das Chromatografiepapier wird mit den Reißnägeln auf den Holzleisten festgespannt. Dann werden die Lösungen mit einer abgebrochenen Pasteurpipette oder einer PE-Tropfflasche, deren Tropfengröße sich in etwa entsprechen, aufgetropft. Vor den weiteren Tropfen wird gewartet, bis der vorherige Tropfen eingesogen wurde.



Abb. 69: Bild I

Bei jedem Bild werden vier Tropfen Kupfersulfat-Lösung, vier Tropfen Kaliumhexacyanoferrat(II)-Lösung und sechs Tropfen des jeweiligen Fließmittels aufgetropft. Bei Bild I wird als Fließmittel Natriumchlorid-Lösung, bei Bild II demineralisiertes Wasser, bei Bild III Natriumhydroxid-Lösung, bei Bild IV Salzsäure und bei Bild V Kaliumchlorid-Lösung.

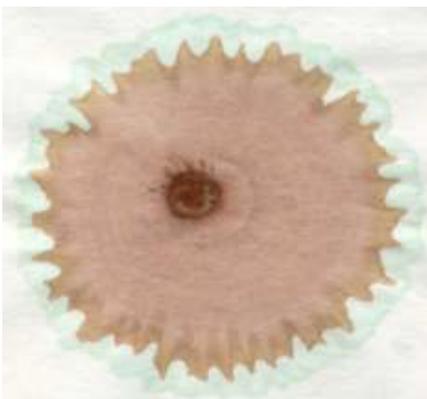


Abb. 70: Bild II

Durch den Zusatz des Natriumchlorids in Bild I sind die Verästelungen deutlicher zu erkennen als beim zweiten Bild. Außerdem sind die Ringe im inneren Bereich etwas deutlicher zu erkennen.

Bei Verwendung eines basischen Fließmittels (Bild III) werden die Verästelungen etwas heller. Das lässt sich dadurch erklären, dass die Lauge das Salz weniger stark verdrängt hat.

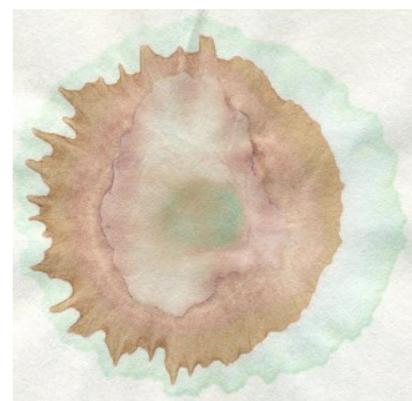


Abb. 71: Bild III

¹³⁴ siehe Chemikalienliste und Sicherheitshinweise im Anhang

Wenn jedoch ein saures Fließmittel verwendet wird (Bild IV) sind die Verästelungen deutlicher abgegrenzt und das Bild insgesamt ist etwas weniger farbintensiv. Die Verästelungen werden im Laufe der Zeit bei Liegen lassen an Luft deutlicher abgegrenzt. Das kann man dadurch erklären, dass der Kupfer(II)hexacyanoferrat(II)-Niederschlag im sauren Milieu etwas schwerlöslicher ist, wodurch es zu einer intensiveren Farbe am Rand kommt.



Abb. 72: Bild IV direkt nach Fertigstellung Abb. 74: Bild IV nach einer Woche

Bild V hat eine etwas ausgeprägtere Zone mit Verästelungen als Bild. Das lässt sich eventuell dadurch erklären, dass Kaliumchlorid eine höhere Molmasse als Natriumchlorid hat und dadurch bei gleichem Massenanteil eine geringere Stoffmengenkonzentration vorliegt.



Abb. 73: Bild V

2.3.10 Einfluss der Wartezeit zwischen den aufgetropften Lösungen

Erst eine Wartezeit ab ungefähr 15 Minuten bewirkt eine Veränderung des Kapillarbildes, die darin besteht, dass es deutlich kleiner und farbintensiver ist.

Das kann mit folgender Versuchsreihe verifiziert werden:

Es wird Rohrzuckerimprägniertes Chromatografiepapier (C12H22O11) Kupfersulfat-Lösung ($w(\text{CuSO}_4)=0,03$), Kaliumhexacyanoferrat(II)-Lösung ($w(\text{K}_4[\text{Fe}(\text{CN})_6])=0,03$) und Natriumchlorid-Lösung ($w(\text{NaCl})=0,07$) benötigt.

Da Kupfersulfat umweltgefährlich ist, sollte es über den Schwermetallabfall entsorgt werden.¹³⁵

Mit Reißnägeln wird das Chromatografiepapier auf den Holzleisten straff gespannt. Die Lösungen werden aus PE-Tropfflaschen getropft. Nach jedem Tropfen wird gewartet bis der vorige Tropfen eingesogen ist und bei einem Wechsel der Lösungen wird zusätzlich eine bestimmte Zeit gewartet. Bei Bild I wird zwischen den Lösungen nicht gewartet. Bei Bild II wird fünf Minuten gewartet, bei Bild III 15 Minuten und bei Bild IV 30 Minuten gewartet.

Es werden jeweils vier Tropfen Kupfersulfat- Lösung, vier Tropfen Kaliumhexacyanoferrat(II)- Lösung und sechs Tropfen Natriumchlorid-Lösung verwendet.

Bild I und Bild II zeigen keine größeren Unterschiede, außer die für Kapillarbilder typischen Abweichungen.

Bild III ist etwas kleiner als Bild I. Die Verästelungen sind jedoch ausgeprägter und die Farben des Bildes insgesamt intensiver. Das lässt sich dadurch erklären, dass schon etwas Wasser verdunsten konnte bis die nächste Lösung aufgetropft wurde. Dadurch wurde der Niederschlag weniger aufgelöst und nach außen geschwemmt als bei Bild I. Jedoch war die Bildung des Niederschlags nicht davon betroffen, im Gegensatz zu den Kapillarbildern auf Zeitungspapier, Kopierpapier und Löschpapier, wo der Niederschlag schon beim zweiten Tropfen Kaliumhexacyanoferrat(II)-Lösung teilweise getrocknet war.

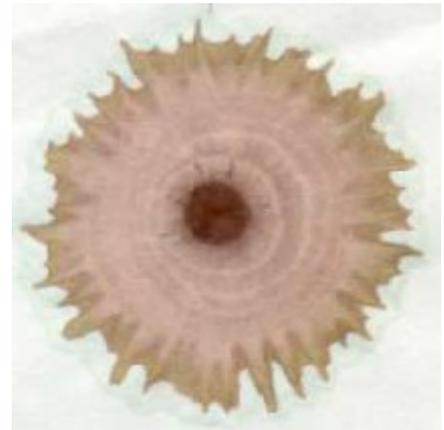


Abb. 75: Bild I

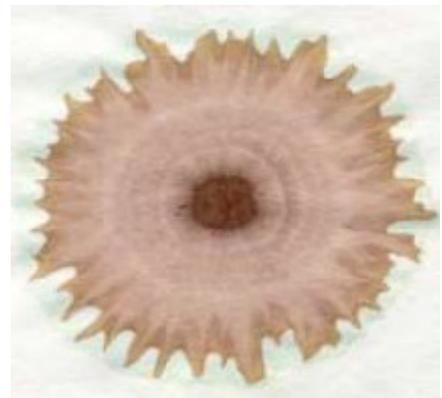


Abb. 76: Bild II

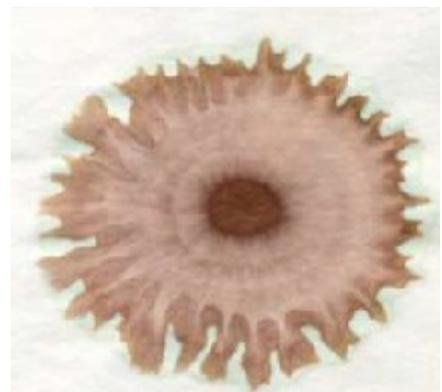


Abb. 77: Bild III

¹³⁵ siehe Chemikalienliste und Sicherheitshinweise im Anhang

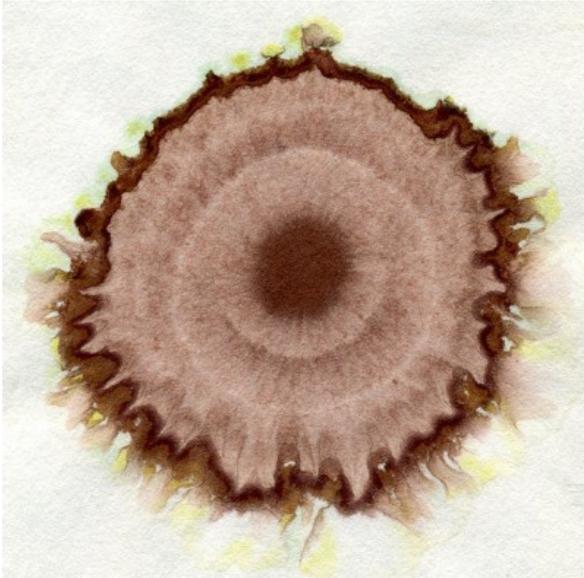


Abb. 78 Bild IV

Bild IV weicht von den anderen Bildern ab. Es ist deutlich kleiner und farbintensiver. Das kommt dadurch zustande, dass das Wasser der einen Lösung größtenteils verdampft und die nachfolgenden Lösungen die zuvor gelösten Stoffe jetzt wieder lösen müssen. Der äußere Ring weist kaum Verästelungen auf und ist dunkler. Hingegen besitzt das Bild entgegen dem schwachblauen äußeren Ring der anderen Bilder einen schwachgelben Ring.

2.3.11 Reihenfolge der aufgetropften Lösungen

Die Reihenfolge der aufgetropften Lösungen hat einen Einfluss auf die Art eines Kapillarbildes. Sie ist maßgeblich dafür, ob die Lösungen einen Niederschlag bilden können oder ob sie von einer dazwischen getropften Lösung soweit nach außen gespült werden, dass sie keine Reaktion eingehen können.

Um die Wirkung einer geänderten Reihenfolge auf ein Kapillarbild zu untersuchen kann man folgende Versuchsreihe benutzen:

Dafür braucht man vier Holzleisten und acht Reißnägeln. Außerdem werden sechs mit Rohrzuckerlösung imprägnierte Chromatografiepapiere, Kupfersulfat-Lösung ($w(\text{CuSO}_4)=0,03$), Kaliumhexacyanoferrat(II)-Lösung (gelbes Blutlaugensalz, $w(\text{K}_4[\text{Fe}(\text{CN})_6]) = 0,03$) und Natriumchlorid-Lösung ($w(\text{NaCl}) = 0,07$) benötigt.

Ein Chromatografiepapier wird auf die Holzleisten gelegt und mit vier Reißnägeln darauf befestigt. Bei allen Bildern werden die Lösungen aus PE-Tropfflaschen getropft. Jeden Tropfen tropft man auf die gleiche Stelle in der Mitte des Papiers. Bevor jeweils ein neuer Tropfen getropft wird, muss gewartet werden, bis der vorherige Tropfen vollständig in das Chromatografiepapier eingezogen ist. Wenn das Bild abgeschlossen ist, wird es bei Raumtemperatur trocknen gelassen.

Bei Bild I werden auf vier Tropfen Kupfersulfat-Lösung, vier Tropfen Kaliumhexacyanoferrat(II)-Lösung und sechs Tropfen Natriumchlorid-Lösung getropft.

Für Bild II tropft man vier Tropfen Kaliumhexacyanoferrat(II)-Lösung, vier Tropfen Kupfersulfat-Lösung und sechs Tropfen Natriumchlorid-Lösung.

Bild III wird hergestellt, indem zuerst vier Tropfen Kupfersulfat-Lösung und dann sechs Tropfen Natriumchlorid-Lösung und vier Tropfen Kaliumhexacyanoferrat(II)-Lösung getropft werden.

Für Bild IV werden sechs Tropfen Natriumchlorid-Lösung, vier Tropfen Kupfersulfat-Lösung und vier Tropfen Kaliumhexacyanoferrat(II)-Lösung getropft.

Es werden vier Tropfen Kaliumhexacyanoferrat(II)-Lösung, sechs Tropfen Natriumchlorid-Lösung und vier Tropfen Kupfersulfat-Lösung für Bild V getropft.

Bild VI entsteht dadurch, dass sechs Tropfen Natriumchlorid-Lösung, vier Tropfen Kaliumhexacyanoferrat(II)-Lösung und vier Tropfen Kupfersulfat-Lösung getropft werden.



Abb. 79: Bild I

Bei Bild I ist ein dunkelbrauner Mittelfleck erkennbar. Darum herum sind hellbraune Ringe erkennbar. Der Rand besteht aus Verästelungen. Der äußerste Ring ist hellblau. Die Verästelungen entstehen dadurch, dass der Niederschlag durch das Fließmittel Natriumchloridlösung ausgeschwemmt wird. Der hellblaue Ring ist Kupfersulfat, das als erstes aufgetropft wurde und deshalb am weitesten ausgeschwemmt wurde.



Abb. 80: Bild II

Auch in der Mitte von Bild II befindet sich ein dunkelbrauner Mittelfleck. Die Ringe darum herum sind jedoch blasser als bei Bild I. Am Rand sind braunen Verästelungen, die von einem hellgelben Ring umgeben sind. Die Verästelungen entstehen dadurch, dass der Niederschlag durch das Fließmittel Natriumchlorid-Lösung ausgeschwemmt wird. Der hellgelbe Ring ist Kaliumhexacyanoferrat(II), das als erstes aufgetropft wurde und deshalb am weitesten ausgeschwemmt wurde.

Es ist bei Bild III kein Mittelfleck erkennbar, jedoch sind die inneren Ringe hellbraun und besitzen einen schwächeren Kontrast. Die äußersten Ringe sind hellgelb und dann hellblau. Man kann keine Verästelungen erkennen. Der äußerste hellblaue Ring ist Kupfersulfat. Da das Kupfersulfat von der Natriumchlorid-Lösung nach außen transportiert wurde, war in dem mittleren Bereich nur noch wenig Kupfersulfat vorhanden um den Niederschlag zu bilden. Daher ist der braune Niederschlag blass.



Abb. 81: Bild III



Um den dunkelbraunen Mittelfleck von Bild IV sind braune Ringe erkennbar, die ähnlich aussehen wie bei Bild I. Der Ring darum ist hellblau und der äußerste Ring ist farblos. Es sind keine Verästelungen erkennbar. Der farblose Ring ganz außen ist Natriumchlorid, dessen Lösung als erstes aufgetropft wurde. Der hellblaue Ring dazwischen ist Kupfersulfat, dessen Lösung als zweites aufgetropft wurde.

Abb. 82: Bild IV

Bei Bild V kann man keinen Mittelfleck und keine Verästelungen erkennen, es besitzt insgesamt keine kräftigen Farben, sondern nur die blassen Farben der einzelnen Lösungen. Dabei ist in der Mitte eine runde hellblaue Fläche, an die ein farbloser Ring anschließt. Dieser ist wiederum umgeben von einem hellgelben Ring. Der äußerste hellgelbe Ring ist Kaliumhexacyanoferrat(II), das als erstes aufgetropft wurde. Dann wurde es so weit mit Natriumchlorid als Fließmittel ausgeschwemmt, das



Abb. 83: Bild V

keine Reaktion mit der zuletzt aufgetropften hellblauen Kupfersulfatlösung stattfinden konnte.



Abb. 84: Bild VI

In der Mitte von Bild VI befindet sich ein dunkelbrauner Mittelfleck. Die Ringe darum herum sind blass braun. Die Ringe sind von einer grünen Zone mit Ausfransungen umgeben. Außen ist ein farbloser Ring zu erkennen, der das Kapillarbild umschließt, es handelt sich dabei um Natriumchlorid, dessen Lösung als erstes aufgetropft wurde und deshalb am weitesten geflossen ist.

2.4 Runges Bilder

2.4.1 Papier

Runge machte in seinen Büchern keine genaueren Angaben über die Art des verwendeten Papiers¹³⁶. In seinem Buch „Musterbilder“ bezeichnete er es lediglich als Löschpapier.¹³⁷ Zu

Runges Zeiten gab es sowohl handgeschöpfte Filtrier- und Löschpapiere, als auch maschinell

gefertigte. Beide bestanden fast nur aus Baumwollfasern.¹³⁸ Eine Untersuchung des Papiers ergab, dass es sich um maschinell gefertigtes Papier handelt, das mit einer Dicke von 0,10 bis 0,11 mm sehr dünn und zudem sehr hart ist. Außerdem ist es ungeleimt, was zu der damaligen Zeit bedeutete, dass es keinen „Klebstoff auf Eiweißbasis“¹³⁹ enthielt, außerdem besteht es aus nahezu reiner Leinenfaser. Das Papier hat ein Flächengewicht von 68 g/m². Die Saughöhe eines neun Millimeter breiten Streifens des Papiers beträgt in

¹³⁶ Vgl. Bussemas, S. 32

¹³⁷ Vgl. Ostwald, S. 51

¹³⁸ Vgl. ebd. S. 51

¹³⁹ Ebd. S.51

zehn Minuten elf Millimetern. Diese Saughöhe entspricht in etwa der laut Bussemas wahrscheinlichen Saughöhe von einem Zentimeter.¹⁴⁰

Bei den Untersuchungen enthielt das Papier keine Zusätze. Jedoch beschrieb Runge in dem Buch „Musterbilder“, dass man „Zusatz von Zucker, Gummi, Eiweiß u. dgl.“¹⁴¹ verwenden kann um besondere Effekte zu erzielen.¹⁴²

2.4.2 Chemikalien

Runge verwendete vor allem folgende Chemikalien in verschiedenen Konzentrationen:

- Kaliumhexacyanoferrat(II) ($K_4[Fe(CN)_6]$, auch gelbes Blutlaugensalz genannt)
- Kupfersulfat ($CuSO_4$)
- Mangansulfat ($MnSO_4$)
- Diammoniumhydrogenphosphat ($(NH_4)_2HPO_4$)
- Kaliumchromat (K_2CrO_4)
- Eisen(III)sulfat ($Fe_2(SO_4)_3$)
- Kaliumhexacyanoferrat(III) ($K_3[Fe(CN)_6]$, auch rotes Blutlaugensalz genannt)
- Aluminiumtrichlorid ($AlCl_3$)
- Kaliumhydroxid (KOH, gelöst: Kalilauge)
- Eisen(II)sulfat ($FeSO_4$)
- Ethandisäure ($(COOH)_2$, auch Oxalsäure)
- Ammoniak (NH_3)
- Zinksulfat ($ZnSO_4$)
- Kaliumdichromat ($K_2Cr_2O_7$)
- Natriumsulfat ($NaSO_4$)¹⁴³

Daraus erhält man laut Goetz hauptsächlich folgende farbige Reaktionsprodukte:

¹⁴⁰ Vgl. Bussemas, S. 32 - 33

¹⁴¹ Ostwald, S. 54

¹⁴² Vgl. Bussemas, S. 32

¹⁴³ Vgl. Bussemas S. 34 und Ostwald S. 99

Eisen(III)hexacyanoferrat(II)

Laut Ostwald wurde dieser Farbstoff als „Berliner Blau“ bezeichnet. Es handelt sich um Eisen(III)hexacyanoferrat(II), bzw.

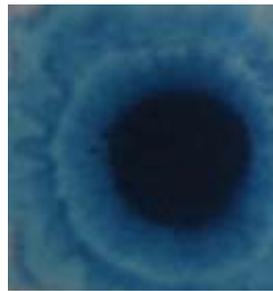


Abb. 86: Berliner Blau auf dem Chromatografiepapier

Eisen(II)hexacyanoferrat(III), welche laut Riedel identisch sind¹⁴⁴. Berliner Blau besitzt eine dunkelblaue, intensive Farbe. Runge erzeugte diesen Farbstoff zum Beispiel in Bild 2 im Buch „Der Bildungstrieb der Stoffe“.



Abb. 85: Berliner Blau im Reagenzglas

Kupfer(II)hexacyanoferrat(II)

Dieser Farbstoff hieße früher Hattchetts Braun. besitzt eine je nach Konzentration rotbraune und braune Farbe.



Abb. 88: Hattchetts Braun auf dem Chromatografiepapier

Runge verwendete ihn unter anderem in Bild 26 „Der Bildungstrieb der Stoffe“.

Er



Abb. 87: Hattchetts Braun im Reagenzglas

in

Mangan(II)hexacyanoferrat(III)

Mangan(II)hexacyanoferrat(II) besitzt eine braune Farbe. Runge verwendete diese Farbe zum Beispiel in seinem Buch „Bildungstrieb der Stoffe“ bei Bild 20. Mangan(II)hexacyanoferrat(II) ist schmutzig-weiß.



Abb. 89: $Mn_2[Fe(CN)_6]$ im Reagenzglas

¹⁴⁴ 9 Vgl. Riedel, S. 858

Manganchromat und dessen Zersetzungsprodukte

Manganchromat und dessen Zersetzungsprodukte haben je nach Konzentration, pH-Wert und Alter andere Farben. Runge verwendete diese zum Beispiel im „Bildungstrieb der Stoffe“ bei Bild 9 (schwarz) frisch hergestellt sehen die Verbindungen eher dunkelbraun aus. Sie dunkeln aber schnell (innerhalb von zwei Stunden) nach. Bild 20 aus „Der Bildungstrieb der Stoffe“

2.4.3 Herstellung und Erklärung zweier Kapillarbilder nach Anleitung von F.F. Runge

In diesem Kapitel sollen zwei Kapillarbilder, aus Runges Buch „Der Bildungstrieb der Stoffe“ nachgeahmt, variiert und anschließend erklärt werden.

2.4.3.1 Bild Nr.29 aus dem Buch „Der Bildungstrieb der Stoffe“

Benötigte Chemikalien:

Für dieses Bild und seine Variationen wird Mangansulfat-Lösung ($w(\text{MnSO}_4 \cdot 4\text{H}_2\text{O})=0,125$), Zinksulfat-Lösung ($w(\text{ZnSO}_4 \cdot 7\text{H}_2\text{O})=0,125$), Mangansulfat-Zinksulfat-Lösung (bestehend aus vier Teilen der Mangansulfat-Lösung und einem Teil der Zinksulfat-Lösung), Kupfersulfat-Lösung ($w(\text{CuSO}_4 \cdot 5\text{H}_2\text{O})=0,125$), Eisen(III)nitrat-Lösung ($w(\text{Fe}(\text{NO}_3)_3)=0,25$)¹⁴⁵, Ammoniumdihydrogenphosphat-Lösung ($w(\text{NH}_4\text{H}_2\text{PO}_4)=0,10$)¹⁴⁶, Kaliumhexacyanoferrat(II)-Kaliumchromat-Lösung (bestehend aus Kaliumhexacyanoferrat(II)-Lösung ($w(\text{K}_4[\text{Fe}(\text{CN})_6])=0,0417$) im Verhältnis 1:1 gemischt mit Kaliumchromat-Lösung ($w(\text{K}_2\text{CrO}_4)=0,0417$)) sowie Diammoniumhydrogenphosphat-Lösung ($w((\text{NH}_4)_2\text{HPO}_4)=0,25$)¹⁴⁷

¹⁴⁵ Runge verwendete in seinem Bild Eisen(III)sulfatlösung, diese war in der Chemikalienausgabe nicht erhältlich, daher wurde Eisen(III)nitrat-Lösung verwendet unter der Annahme, dass das Anion eine untergeordnete Rolle spielt.

¹⁴⁶ Runge verwendete Ammoniumdihydrogenphosphatlösung mit $w=0,25$, da Ammoniumdihydrogenphosphat nicht in der Chemikalienausgabe erhältlich war, wurde das Ammoniumdihydrogenphosphat aus der Chemikalienschiene, von Prof. Menzel verwendet.

¹⁴⁷ Laut Goetz (Goetz, 1987) verwendete Runge entgegen der Annahme von Bussemas bei der Lösung von „phosphorsaurem Ammoniak“ keine Ammoniumdihydrogenphosphat-Lösung sondern eine Diammoniumhydrogenphosphat-Lösung.

Da Kaliumchromat giftig ist sollte mit Handschuhen gearbeitet werden. Mangansulfat, Zinksulfat, Kupfersulfat und Eisen(III)nitrat sollten über den Schwermetallabfall entsorgt werden, da sie umweltgefährlich sind.¹⁴⁸

Desweiteren werden noch vier Holzleisten, einige Reißnägeln, Reagenzgläser und Gummistopfen benötigt.

Bei den Kapillarbildern wird zunächst ein unbehandeltes Chromatografiepapier im Becherglas mit der Imprägnierlösung getränkt und anschließend auf einer – im Trockenschrank vorgewärmten - Keramikplatte unter regelmäßigem Wenden getrocknet. Das Chromatografiepapier wird auf die Holzleisten gelegt und mit den Reißnägeln festgespannt. Dann wird aus einer Höhe von zwei bis drei Zentimetern getropft. Vor den weiteren Tropfen wird gewartet, bis der Tropfen eingesogen wurde.

Bei Bild I wird mit Mangansulfat-Zinksulfat-Lösung imprägniert. Dann werden vier Tropfen Kupfersulfat-Lösung in die Mitte getropft und im Anschluss je 2 Tropfen Eisen(III)nitrat-Lösung an vier Stellen gleichmäßig verteilt darum herum. Anschließend werden zehn Tropfen Ammoniumdihydrogenphosphat-Lösung, sowie zwölf Tropfen Kaliumhexacyanoferrat(II)-Kaliumchromat-Lösung in die Mitte getropft.

Bei Bild II wird Mangansulfat-Zinksulfat-imprägniertes Chromatografiepapier verwendet. Darauf werden vier Tropfen Kupfersulfat-Lösung in die Mitte getropft. Dann werden auf vier Stellen darum herum verteilt je zwei Tropfen Eisen(III)nitrat-Lösung und im Anschluss je vier Tropfen Ammoniumdihydrogenphosphat-Lösung auf die gleichen Stellen getropft. Abschließend werden dann noch zwölf Tropfen Kaliumhexacyanoferrat(II)-Kaliumchromat-Lösung in die Mitte getropft.

Für Bild III wird ein Chromatografiepapier mit Mangansulfat-Lösung imprägniert und in die Mitte drei Tropfen Kupfersulfat-Lösung aufgetragen. Dann werden an vier Stellen darum herum je 1 Tropfen Eisen(III)nitrat-Lösung getropft. Anschließend werden noch acht Tropfen Ammoniumdihydrogenphosphat-Lösung, sowie 14 Tropfen Kaliumhexacyanoferrat(II)-Kaliumchromat-Lösung in die Mitte getropft.

Mangansulfat-Zinksulfat-imprägniertes Chromatografiepapier wird für Bild IV eingespannt. Darauf werden vier Tropfen Kupfersulfat-Lösung getropft. Dann wird das Papier 20

¹⁴⁸ Siehe auch Chemikalienliste mit Sicherheitshinweisen im Anhang

Minuten an der Luft trocknen gelassen. Jetzt werden je zwei Tropfen Eisen(III)nitrat-Lösung an vier Stellen darum herum getropft und erneut zwanzig Minuten gewartet. Nach dem Auftropfen von zehn Tropfen Ammoniumdihydrogenphosphat-Lösung auf den Kupfersulfat-Fleck wird wiederum 20 Minuten gewartet. Zur Fertigstellung des Bildes werden dann noch 21 Tropfen Kaliumhexacyanoferrat(II)-Kaliumchromat-Lösung in die Mitte getropft.

Bei Bild V wird mit Mangansulfat-Zinksulfat-Lösung imprägniert. Dann werden vier Tropfen Kupfersulfat-Lösung getropft und zwanzig Minuten gewartet. Im Anschluss werden je zwei Tropfen Eisen(III)nitrat-Lösung an vier Stellen darum herum getropft und erneut 20 Minuten gewartet. Daraufhin werden je vier Tropfen Ammoniumdihydrogenphosphat-Lösung auf die Eisen(III)nitrat-Flecken getropft. Nach erneutem zwanzigminütigem Warten werden noch 24 Tropfen Kaliumhexacyanoferrat(II)-Kaliumchromat-Lösung auf die Kupfersulfat-Flecken getropft.

In Bild VI wird Mangansulfat-imprägniertes Chromatografiepapier verwendet. Darauf werden vier Tropfen Kupfersulfat-Lösung getropft. Dann werden je zwei Tropfen Eisen(III)nitrat-Lösung an vier Stellen gleichmäßig darum herum verteilt und je 1 Tropfen Ammoniumdihydrogenphosphat-Lösung an denselben Stellen getropft. Dann werden zwanzig Minuten abgewartet und abschließend 27 Tropfen Kaliumhexacyanoferrat(II)-Kaliumchromat-Lösung in die Mitte getropft. Die Lösungen werden – außer der Ammoniumdihydrogenphosphat-Lösung – mit einer feinen Pasteurpipette aufgetropft.

Für Bild VII wird ebenfalls Mangansulfat-imprägniertes Chromatografiepapier verwendet, worauf zwei Tropfen Kupfersulfat-Lösung getropft werden. Dann werden an vier Stellen um den Kupfersulfat-Fleck herum je zwei Tropfen Eisen(III)nitrat-Lösung und je zwei Tropfen Ammoniumdihydrogenphosphat-Lösung dazu versetzt an ebenfalls vier Stellen getropft. Danach wird 20 Minuten gewartet. Im Anschluss werden 25 Tropfen Kaliumhexacyanoferrat(II)-Kaliumchromat-Lösung (im Abstand von jeweils 5 Minuten) aufgetropft.

Bei Bild VIII wird nochmal Mangansulfat-imprägniertes Chromatografiepapier benutzt. Es wird zunächst ein Tropfen Kupfersulfat-Lösung aufgetragen. Im Anschluss wird je ein Tropfen Eisen(III)nitrat-Lösung an vier Stellen darum herum und je 1 Tropfen Ammoniumdihydrogenphosphat-Lösung darauf getropft. Dann wird 20 Minuten gewartet.

Im Anschluss werden 15 Tropfen Kaliumhexacyanoferrat(II)-Kaliumchromat-Lösung im Abstand von jeweils 5 Minuten aufgetropft.

Abschließend wird Bild IX auf Mangansulfat-Zinksulfat-imprägniertem Chromatografiepapier durchgeführt. Darauf werden vier Tropfen Kupfersulfat-Lösung getropft. Dann werden je zwei Tropfen Eisen(III)nitrat an vier Stellen um den Kupfersulfat-Fleck herum und je ein Tropfen Diammoniumhydrogenphosphat-Lösung auf die Eisen(III)nitrat-Flecken darauf getropft. Dann wird das Bild 20 Minuten an Luft trocknen gelassen und im Anschluss 22 Tropfen Kaliumhexacyanoferrat(II)-Kaliumchromat-Lösung in die Mitte getropft. Die Lösungen werden jeweils mit einer feinen Pasteurpipette aufgetragen.

Beobachtung:

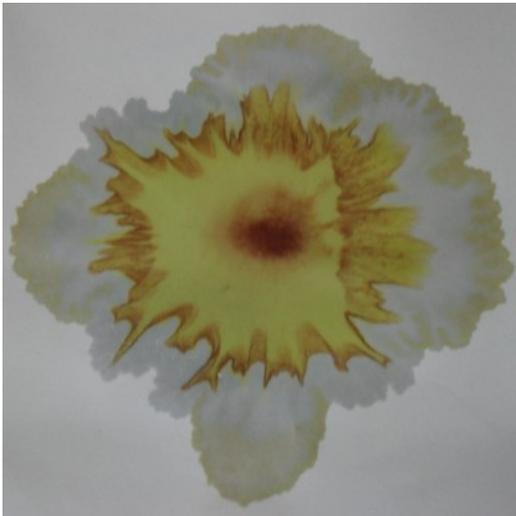


Abb. 90: Bild I direkt nach Fertigstellung

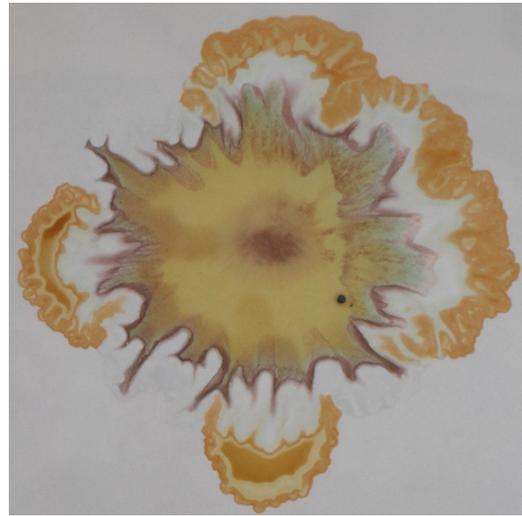


Abb. 91: Bild I nach zwei Wochen

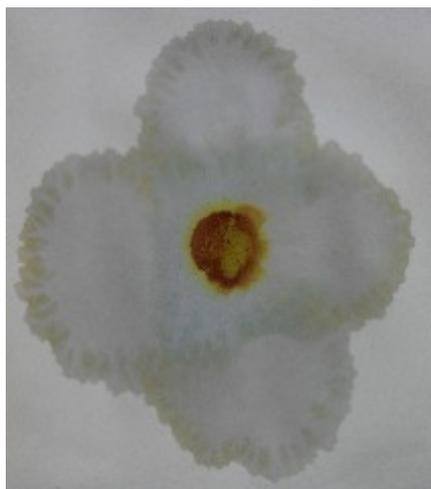


Abb. 92: Bild II nach einem Tropfen Kaliumhexacyanoferrat/Kaliumchromat-Lösung

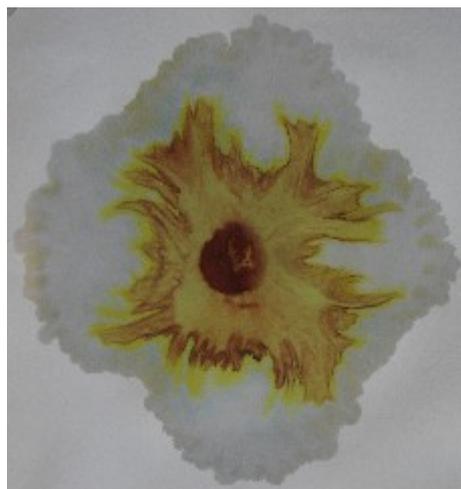


Abb. 93: Bild II direkt nach Fertigstellung

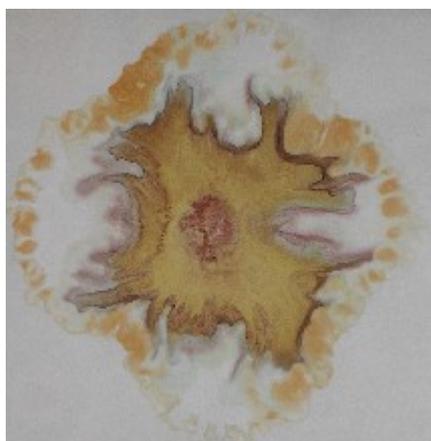


Abb. 94: Bild II nach zwei Wochen



Abb. 95: Bild III direkt nach Fertigstellung



Abb. 96: Bild III nach zwei Wochen

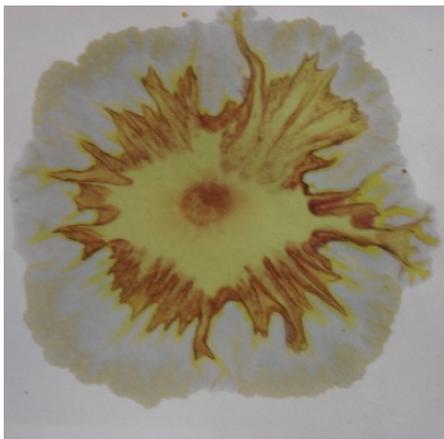


Abb. 97: Bild IV direkt nach Fertigstellung

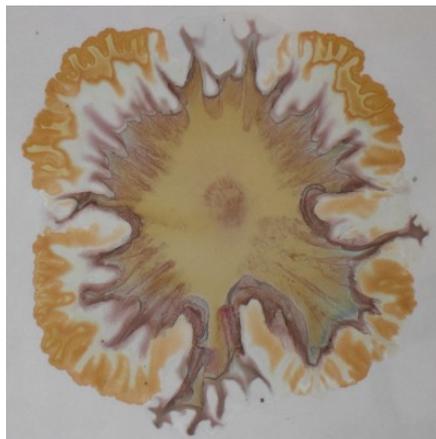


Abb. 98: Bild IV nach zwei Wochen



Abb. 99: Bild V direkt nach Fertigstellung



Abb.100: Bild V nach zwei Wochen



Abb. 101 Bild VI

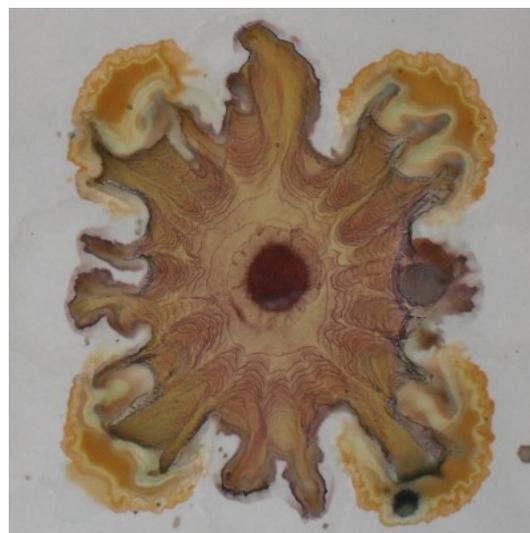


Abb. 102 Bild VII



Abb. 103: Bild VIII

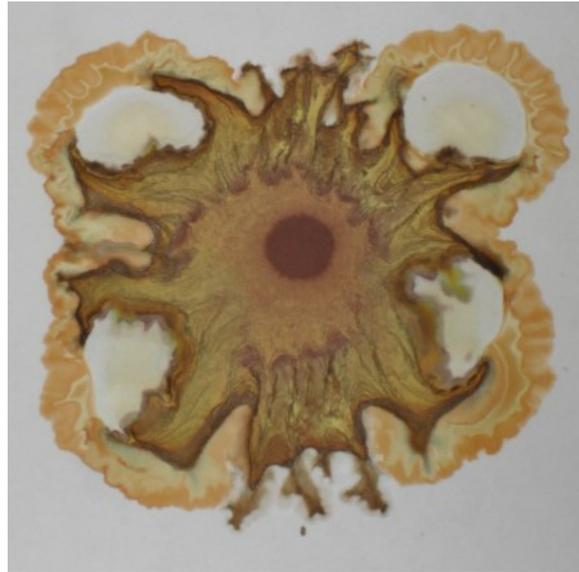


Abb. 104: Bild IX

Folgende Versuche können zur Erklärung der Farben im Bild durchgeführt werden:

Bei Versuch 1 wird Eisen(III)nitrat-Lösung mit Ammoniumdihydrogenphosphat-Lösung im Reagenzglas gemischt und anschließend gut geschüttelt. Dabei fällt ein weißer Niederschlag aus.

Dabei

handelt es sich um Eisen(III)phosphat:



Abb. 105:
Versuch 1



Abb. 106:
Versuch 2

Für Versuch 2 wird im Reagenzglas Kaliumchromatlösung mit Mangansulfatlösung gemischt. Dabei entsteht ein rotbrauner Niederschlag. Dabei handelt es sich um Mangan(II)chromat und dessen Zersetzungsprodukte.¹⁴⁹

In Versuch 3 wird Kaliumhexacyanoferrat(II)-Lösung mit

Mangansulfat-Lösung gemischt und gut geschüttelt. Es fällt

Mangan(II)hexacyanoferrat(II) als schmutzig weißer Niederschlag aus:

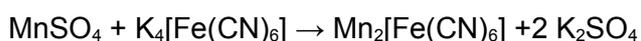


Abb. 107:
Versuch 3

¹⁴⁹ Siehe auch Kapitel 2.2.3.3

Wenn im Reagenzglas Kaliumchromat-Kaliumhexacyanoferrat(II)-Lösung mit Mangansulfat-Lösung gemischt wird (Versuch 4), dann entsteht eine schmutzig orange Farbe. Dies ist die Mischfarbe aus Mangan(II)chromat und Mangan(II)hexacyanoferrat(II).



Abb. 108:
Versuch 4



Abb. 109:
Versuch 5

Wird zu Eisen(III)nitrat-Lösung etwas Ammoniumdihydrogenphosphat-Lösung gegeben, gut geschüttelt und anschließend Kaliumhexacyanoferrat(II)-Kaliumchromat-Lösung dazugegeben (Versuch 5), so sieht man nach kräftigem Schütteln eine braune Mischfarbe.

Aus den Reagenzglasversuchen und den Kapillarbildern kann man also folgende Schlüsse ziehen:

Wenn auf das Eisen(III)nitrat ein primäres oder sekundäres Phosphat trifft, bildet sich Eisen(III)phosphat. Diese weißen Eisen(III)phosphat-Flecken halten den Fluss der anderen Flüssigkeiten unterschiedlich gut auf. Jedes Mal wird zuerst etwas Eisen(III)nitrat-Lösung auf vier Stellen um den Kupfersulfat-Fleck herum gleichmäßig verteilt aufgetropft. Im Anschluss wurde dann die Ammoniumdihydrogenphosphat-Lösung bei manchen Bildern auf die Eisen(III)nitrat-Flecken getropft (Bild II, Bild V, Bild VI, Bild VIII, Bild IX), versetzt dazu aber ebenfalls um den Kupfersulfat-Fleck herum, (Bild VII) oder aber in die Mitte auf den Kupfersulfat-Fleck (Bild I, Bild III, Bild IV). Wenn die Phosphat-Lösung direkt auf das Eisen(III)nitrat aufgebracht wird, ist die aufhaltende Wirkung des Eisen(III)phosphats am größten, wenn die Phosphat-Lösung versetzt zu den Eisen(III)nitrat-Flecken aufgetragen wird ist die Wirkung am Geringsten.

Direkt nach der Durchführung sind die Bilder hell, bei langem Liegenlassen – zum Beispiel auf der Fensterbank – dunkeln die Bilder nach. Dabei wird die gelbe Farbe des Chromats langsam weniger und wird zu einer schmutzig beigen Farbe. Die gelbe Farbe des Eisen(III)nitrats wird intensiver und die braun-rote Farbe und die Verästelungen werden schärfer abgegrenzt.

Die rot-braune Farbe der Verästelungen und mancher Bilder im Innern kommt durch Kupfer(II)hexacyanoferrat(II) zustande. (s. Versuchsreihe I).

Die violette Farbe des Originalbildes konnte bei dem Nachahmen nicht erreicht werden, jedoch erkennt man an den Verästelungen der Bilder, zum Beispiel bei Bild IV, dass die violette Farbe erst mit der Zeit entsteht.

Außerdem ist sie nur dort zu erkennen, wo die Kaliumhexacyanoferrat(II)-Kaliumchromat-Lösung ihre Verästelungen in Ammoniumdihydrogenphosphat hat.



Abb. 110: Ausschnitt aus Bild IV

Am Rand ist teilweise eine blaugüne Farbe zu erkennen. Diese könnte dadurch zu Stande kommen, dass sich die Farbe des Kupferhexacyanoferrat(II)-Niederschlags mit der Farbe des Eisen(III)chlorids überdeckt.

Alles in allem kann man also sagen, dass eine 1:1-Übertragung von Runges Angaben auf heutige Versuchsreihen ist schwer, da er zum Beispiel die nichtmetrische Baumé-Skala verwendete, welche auf der Dichte von Lösungen und deren Bestimmung mit Spindeln beruht. Außerdem sind viele Reaktionen auf dem ausgewählten Bild Zeitreaktionen. So ist es zum Beispiel denkbar, dass das Kapillarbild von Runge direkt nach der Herstellung ebenfalls noch keine violette Farbe aufwies, sondern erst im Laufe von Jahren diese Farbe annahm. Desweiteren besitzen wir heutzutage viel reinere Substanzen und Lösungen als damals. Das ist deshalb relevant, da schon kleine Mengen von Zusätzen zu den Lösungen die Bilder stark beeinflussen. Was auch noch eine Rolle spielt ist, dass Runge ein viel härteres Papier verwendete, auf dem die Lösungen langsamer liefen als auf dem heutigen Chromatografiepapier.

2.4.3.2 Bild Nr. 27 aus dem Buch „Bildungstrieb der Stoffe“

Runges Bild Nr.27 aus seinem Buch „Der Bildungstrieb der Stoffe“ hat zwei Auftropfstellen. Dabei wollte er herausfinden, wie sich die Lösungen verhalten, wenn sie gleichzeitig aufgebracht werden und sich in der Mitte begegnen. Er wollte wissen, ob sie ineinander fließen oder nicht. Als Beobachtung schreibt er dazu: „Man sieht, sie haben miteinander gekämpft, um nicht in einander zu fließen.“¹⁵⁰ Runge gibt bei diesem Bild nicht genau an, ob er nur Mangansulfat-Lösung, Mangansulfat-Kupfersulfat-Lösung oder Mangansulfat-Zinksulfat-Lösung benutzt hat. Außerdem gibt er nicht die Tropfenanzahl der verwendeten Lösungen an, sondern nur deren Verhältnis. Aus diesen Gründen wird das Bild nun variiert, in Bezug auf die Imprägnierung und in Bezug auf die Tropfenanzahl

¹⁵⁰ RUNGE, 1855, S.28

der einzelnen Lösungen. Auch werden teilweise Mischungen aus den einzelnen Lösungen hergestellt und verwendet, da auf Grund von Runges Nummerierung manche Lösungen als zusammengehörig gesehen werden können.

Dazu benötigt man fünf unbehandelte Chromatografiepapiere. Als Lösungen braucht man Mangansulfat-Lösung ($w(\text{MnSO}_4 \cdot \text{H}_2\text{O}) = 0,13$), Kupfersulfat-Lösung ($w(\text{CuSO}_4) = 0,13$), Ammoniumdihydrogenphosphat-Lösung ($w(\text{NH}_4\text{H}_2\text{PO}_4) = 0,10$), Zinksulfat-Lösung ($w(\text{ZnSO}_4) = 0,13$), Kaliumhexacyanoferrat(II)-Lösung (gelbes Blutlaugensalz, $w(\text{K}_4[\text{Fe}(\text{CN})_6]) = 0,04$) und Kaliumhydroxid (Kalilauge, $w(\text{KOH}) = 0,13$).

Mangansulfat, Kupfersulfat und Zinksulfat sind Schwermetalle und müssen daher ordnungsgemäß entsorgt werden.¹⁵¹

Man braucht außerdem vier Holzleisten, acht Reißnägeln, eine Pasteurpipette, einige Glasgefäße, ein Becherglas, einen Trockenschrank und eine Keramikplatte.

Mit Hilfe von vier Reißnägeln wird das jeweils benötigte Chromatografiepapier auf die Holzleisten gespannt.

Es wird imprägniert, indem die benötigte Lösung jeweils in ein Becherglas gefüllt wird und das unbehandelte Chromatografiepapier dort eingetaucht wird. Anschließend wird das nasse Papier auf eine im Trockenschrank erwärmte Platte gelegt, um es trocknen zu lassen.

Jeder Tropfen wird aus einer Pasteurpipette auf zwei Stellen in einem bestimmten Abstand auf das Papier getropft. Die angegebene Tropfenanzahl bezieht sich auf nur eine Auftropfstelle. Vor jedem neuen Tropfen wird gewartet, bis der vorherige Tropfen vollständig in das Papier eingezogen ist. Nach dem letzten Tropfen wird das Papier bei Raumtemperatur trocknen gelassen.

Für Bild I wird ein unbehandeltes Chromatografiepapier mit Mangansulfat-Lösung imprägniert. Auf das mit Mangansulfat-Lösung imprägnierte Chromatografiepapier werden drei Tropfen Kupfersulfat-Lösung, zwei Tropfen Ammoniumdihydrogenphosphat-Lösung, ein Tropfen Zinksulfat-Lösung, ein Tropfen Kaliumhexacyanoferrat(II)-Lösung,

¹⁵¹ Siehe auch Chemikalienliste mit Sicherheitshinweisen im Anhang

ein Tropfen Kaliumhydroxidlösung und zwei Tropfen demineralisiertes Wasser getropft. Der Abstand der Auftropfstellen beträgt fünf Zentimeter.

Bei Bild II wird ein unbehandeltes Chromatografiepapier mit Mangansulfat-Lösung imprägniert. Das geschieht, indem die benötigte Lösung jeweils in ein Becherglas gefüllt wird und das unbehandelte Chromatografiepapier dort eingetaucht wird. Anschließend wird das nasse Papier auf eine im Trockenschrank erwärmte Platte gelegt, um es trocknen zu lassen. Auf mit Mangansulfat-Lösung imprägniertes Chromatografiepapier werden drei Tropfen Kupfersulfat-Lösung, drei Tropfen Ammoniumdihydrogenphosphat-Zinksulfat-Lösung und zehn Tropfen Kaliumhexacyanoferrat(II)-Kaliumhydroxid-Wasser-Gemisch getropft. Der Abstand der Auftropfstellen beträgt fünf Zentimeter.

Um Bild III herzustellen, wird ein unbehandeltes Chromatografiepapier mit Mangansulfat-Kupfersulfat-Lösung imprägniert. Das geschieht, indem die benötigte Lösung jeweils in ein Becherglas gefüllt wird und das unbehandelte Chromatografiepapier dort eingetaucht wird. Anschließend wird das nasse Papier auf eine im Trockenschrank erwärmte Platte gelegt, um es trocknen zu lassen. Auf mit Mangansulfat-Kupfersulfat-Lösung imprägniertes Chromatografiepapier werden vier Tropfen Ammoniumdihydrogenphosphat-Zinksulfat-Lösung getropft. Anschließend lässt man das Bild eine halbe Stunde lang an Luft trocknen. Danach werden fünfzehn Tropfen Kaliumhexacyanoferrat(II)-Kaliumhydroxid-Wasser-Gemisch getropft. Der Abstand der Auftropfstellen beträgt drei Zentimeter.

Es wird ein unbehandeltes Chromatografiepapier mit Mangansulfat-Zinksulfat-Lösung für Bild IV imprägniert. Das geschieht, indem die benötigte Lösung jeweils in ein Becherglas gefüllt wird und das unbehandelte Chromatografiepapier dort eingetaucht wird. Anschließend wird das nasse Papier auf eine im Trockenschrank erwärmte Platte gelegt, um es trocknen zu lassen. Auf mit Mangansulfat-Zinksulfat-Lösung imprägniertes Chromatografiepapier werden drei Tropfen Kupfersulfat-Lösung, zwei Tropfen Ammoniumdihydrogenphosphat-Lösung und zwanzig Tropfen Kaliumhexacyanoferrat(II)-Kaliumhydroxid-Wasser-Gemisch getropft. Der Abstand der Auftropfstellen beträgt drei Zentimeter.

Bild V wird auf nicht imprägniertem Chromatografiepapier erstellt. Dazu werden acht Tropfen Mangensulfat-Lösung aufgetropft. Nachdem das Papier zwanzig Minuten an der Luft trocknen gelassen wurde werden sieben Tropfen Kupfersulfat-Lösung, drei Tropfen Ammoniumdihydrogenphosphat-Zinksulfat-Lösung und zehn Tropfen Kaliumhexacyanoferrat(II)-Kaliumhydroxid-Wasser-Gemisch getropft. Der Abstand der Auftropfstellen beträgt 2,5 Zentimeter.

Die Auftropfstellen von Bild I haben eine rosa Farbe. Als nächsten Ring erkennt man eine weiße Fläche. Darum herum befinden sich beim linken Fleck stellenweise rosa, braune und dunkelblaue Verästelungen. Dagegen sind die Verästelungen des linken Flecks hauptsächlich braun und rosa. Um die Verästelungen herum kann man eine große hellblaue Fläche erkennen. Bild II hat braun-rosa Mittelflecken. Der nächste Ring ist hellgelb. Dann kommen die Verästelungen, die innen rosa sind und nach außen hin braun werden. Als äußersten Rand um die Verästelungen kann man teilweise hellblaue Ränder sehen. Die Ausläufer der Verästelungen sind größer als die von Bild I. Es fällt auf, dass die Verästelungen der beiden „Blüten“ nicht ineinander laufen, sondern „miteinander kämpfen“¹⁵².

Bei Bild III sind die Auftropfstellen hellbraun. Die weiße Fläche darum herum ist ziemlich groß. Die Verästelungen sind groß und rosa. Man kann einen blassen hellblauen und weißen Kranz um das Bild erkennen.



Abb. 111: Bild I



Abb. 112: Bild II

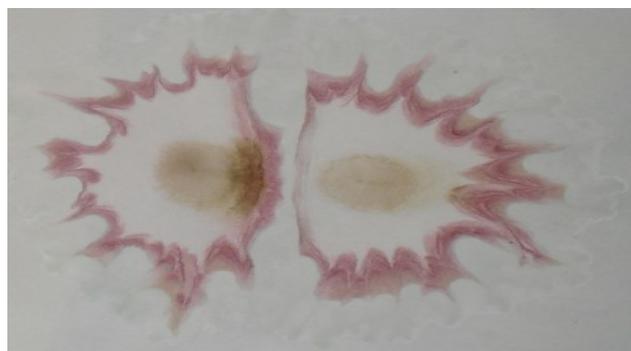


Abb. 113: Bild III

¹⁵²RUNGE, 1855, S.28

Bild IV ist sehr gleichmäßig. Es kommt dem Rungebild am nächsten. Allerdings ist der Mittelfleck braun. Darum herum ist eine große rosa Zone zu erkennen. Auch die langen Verästelungen sind rosa und werden am Ende braun. Man kann ein als äußerste Zone eine leicht hellblaue Farbe erkennen. Das Bild hat sich mit der Zeit nicht verändert.

Bild IV

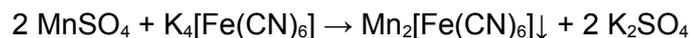
Die beiden Mittelflecken von Bild V unterscheiden sich in ihrer Farbe. Die linke Auftropfstelle ist rosa, während die rechte Auftropfstelle braun ist. Um beide Tropfstellen ist eine rosa Fläche, die in rosa Verästelungen mündet. Die Verästelungen sind lang, aber vereinzelt. In dem Bereich, an dem beide Bilder zusammenstoßen, ist eine dunkle rosa Linie. Als äußeren Rand des Bildes befindet sich eine hellblaue Fläche, welche die rosafarbenen Verästelungen umgibt. Teilweise sind dabei dunkelblaue Flecken zu sehen.

Abb. 114: Bild V

Um die Farben der Bilder zu erklären, werden die zu untersuchenden Lösungen im gleichen Tropfenverhältnis in ein Reagenzglas getropft, mit demineralisiertem Wasser verdünnt und geschüttelt. Hier sind nur die Versuche aufgelistet, bei denen Reaktionen stattfinden.

Abb. 115:
Versuch 1

Mangansulfat-Lösung wird mit Kaliumhexacyanoferrat(II)-Lösung gemischt (Versuch I). Mangansulfat reagiert mit Kaliumhexacyanoferrat(II). Dabei fällt Manganhexacyanoferrat(II) als rosa Niederschlag aus.



Mangansulfat-Lösung wird mit Kaliumhydroxid-Lösung gemischt (Versuch 2). Mangansulfat reagiert mit Kalilauge. Als hellrosa Niederschlag fällt Manganhydroxid aus.

Abb. 116:
Versuch 2

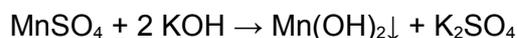


Abb. 117:
Versuch 3 Kupfersulfat-Lösung wird für Versuch 3 mit Ammoniumdihydrogenphosphat-Lösung gemischt.

Kupfersulfat reagiert mit Ammoniumdihydrogenphosphat. Es fällt ein hellblauer Niederschlag aus. Dabei handelt es sich um Kupferphosphat.

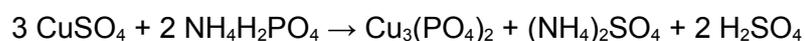


Abb. 118:
Versuch 4

Für Versuch 4 wird Kupfersulfat-Lösung mit Kaliumhexacyanoferrat(II)-Lösung gemischt. Kupfersulfat reagiert mit Kaliumhexacyanoferrat(II) zu Kupferhexacyanoferrat(II), einem rotbraunen Niederschlag.

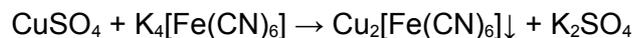


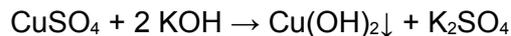
Abb. 119:

Versuch 5

Kupfersulfat-Lösung wird mit Kaliumhydroxid-Lösung gemischt

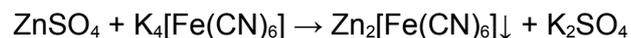
(Versuch 5)

Kupfersulfat reagiert mit Kalilauge. Dabei fällt dunkelblaues Kupfer(II)hydroxid aus.



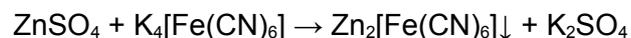
Zinksulfat-Lösung wird mit Kaliumhexacyanoferrat(II)-Lösung gemischt.

Zinksulfat reagiert mit Kaliumhexacyanoferrat(II). Der weiße Niederschlag, der dabei entsteht, ist Zinkhexacyanoferrat(II).



Zinksulfat-Lösung wird mit Kaliumhydroxid-Lösung gemischt.

Zinksulfat reagiert mit Kaliumhydroxid. Es fällt Zinkhydroxid als weißer Niederschlag aus.



Erklärung und Auswertung:

Der rosa Niederschlag ist Manganhydroxid. Die blaue Farbe kommt von Kupfersulfat. Es wurden allerdings zu wenig Tropfen von den einzelnen Lösungen benutzt, da Bild I zu klein ist und fast keine Farben enthält.

Bei Bild II kann man die Verästelungen erkennen, da mehr Lösungstropfen aufgetragen wurden. Aus diesem Grund kann man auch die Begegnung der Verästelungen des einen Auftropfstellenbildes mit dem anderen erkennen, die sich gegenseitig verdrängen.

Im Gegensatz zu allen anderen Bildern befindet sich bei Bild III zwischen der hellbraunen Auftropfstelle und den rosafarbenen Verästelungen eine weiße Zone. Sie ist dadurch entstanden, dass die aufgetropfte Zinksulfat-Lösung die Imprägnierung verdrängt hat. Danach reagierte das Kaliumhexacyanoferrat(II) mit dem verdrängten Zinksulfat zu weißem Zinkhexacyanoferrat(II). Da diese Farbzone nicht in dem Originalbild von Runge enthalten ist, ist diese Durchführung zur Nachahmung seines Bildes ungeeignet.

Bild IV sieht Runges Originalbild am ähnlichsten. Die Hauptfarbe des Bildes ist jedoch nicht rot, sondern wie bei allen anderen Bildern rosa. Außerdem ist bei Runges Bild zwischen den Auftropfstellen eine blaue Zone.

Bei Bild V erkennt man die teilweise blauen Stellen am Rand des Bildes. Dabei hat Kupfersulfat mit Kaliumhydroxid das dunkelblaue Kupferhydroxid gebildet. Die Verästelungen sind groß und vereinzelt, da sie über die Imprägnierung hinaus gespült wurden. Das sieht aber dem Originalbild von Runge nicht ähnlich.

Ergebnis

Bild IV der Versuchsreihe sieht Runges Bild Nr. 27 aus dem „Bildungstrieb der Stoffe“ am ähnlichsten. Dieses Bild ist aber mit keinem Bild genau nachgemacht worden. Probleme dabei waren, dass man nicht die Tropfenanzahl der einzelnen Lösungen weiß, die Runge für sein Bild verwendet hat. Auf seinem Bild erkennt man hauptsächlich eine rote und blaue Farbe. Das Ziel, dieses Bild genau nachzumachen wurde nicht erreicht.

2.5 Kapillarbilder nach eigener Anleitung

In diesem Kapitel werden Kapillarbilder nach eigenen Rezepturen entworfen und dabei Vermutungen über das Aussehen getroffen. Im Anschluss wird überprüft inwiefern die Vermutungen eintrafen und nach Gründen gesucht, weshalb diese eventuell nicht eintrafen.

Für die hier realisierten Rezepte werden folgende Chemikalien benötigt.

nicht imprägnierte Chromatografiepapiere

Kupfersulfat-imprägnierte Chromatografiepapiere

Rohrzucker-imprägnierte Chromatografiepapiere

Eisen(III)nitrat-Lösung ($w(\text{Fe}(\text{NO}_3))=0,25$)

Kaliumhexacyanoferrat(II)-Lösung (gelbes Blutlaugensalz, $w(\text{K}_4[\text{Fe}(\text{CN})_6])=0,03$)

Kupfersulfat-Lösung ($w(\text{CuSO}_4)=0,03$)

Natriumchlorid-Lösung ($w(\text{NaCl})=0,07$)

Mangansulfat-Kaliumsulfat-Lösung ($w(\text{MnSO}_4)=0,15$; $w(\text{K}_2\text{SO}_4)=0,08$)

Kaliumhydroxid-Lösung (Kalilauge, $w(\text{KOH})=0,13$)

Kaliumchromat-Lösung ($w(\text{K}_2\text{CrO}_4)=0,15$)

Ammoniumdihydrogenphosphat-Lösung ($w(\text{NH}_4\text{H}_2\text{PO}_4)=0,10$)

Eisen(III)chlorid-Lösung ($w(\text{FeCl}_3)=0,04$)

Natriumoxalat-Lösung ($w(\text{Na}_2\text{C}_2\text{O}_4)=0,10$)

Ammoniumdihydrogenphosphat-Lösung ($w(\text{NH}_4\text{H}_2\text{PO}_4)=0,10$)

Kaliumhydroxid-Kaliumhexacyanoferrat(II)-Lösung ($w(\text{KOH})=0,13$; $w(\text{K}_4[\text{Fe}(\text{CN})_6])=0,03$)

Paraffinöl (subliquidum)

Kaliumchromat ist giftig, daher sollten bei Verwendung dieser Lösung Handschuhe verwendet werden. Kupfersulfat, Eisen(III)nitrat, Mangansulfat, Kaliumchromat und Eisen(III)chlorid sollten über die entsprechenden Sonderabfälle entsorgt werden.

Außerdem werden vier Holzleisten und einige Reißnägeln benötigt.

Für Bild I werden auf nicht-imprägniertes Chromatografiepapier 18 Tropfen Eisen(III)nitrat-Lösung getropft. Dann wird das Bild 15 Minuten trocknen gelassen. Im Anschluss daran werden fünf Tropfen Kaliumhexacyanoferrat(II)-Lösung, fünf Tropfen Kupfersulfatlösung sowie sechs Tropfen Natriumchloridlösung getropft.

Bei dieser Zusammenstellung der Lösungen wird ein blauer äußerer Rand erwartet (aus Eisen(III)hexacyanoferrat(II)), der von einem schwachgelben Eisen(III)nitrat-Rand umgeben ist. In der Mitte bildet sich vermutlich Kupfer(II)hexacyanoferrat(II) mit fünf Baumringen. Wenn es überhaupt Verästelungen gibt, dann nur am Übergang vom blauen Eisen(III)hexacyanoferrat(II)- zum gelben Eisen(III)nitrat-Bereich.

Bei Bild II werden – ebenfalls auf nicht-imprägniertes Chromatografiepapier – 18 Tropfen Eisen(III)nitrat-Lösung getropft. Anschließend wird das Bild 15 Minuten gewartet. Danach werden fünf Tropfen Kaliumhexacyanoferrat(II)-Lösung, fünf Tropfen Kupfersulfat-Lösung, drei Tropfen Mangansulfat-Kaliumsulfat-Lösung und sechs Tropfen Natriumchlorid-Lösung getropft.

Diese Lösungen lassen vermuten, dass das Bild ähnlich aussehen wird wie Bild I. Es ist jedoch möglich, dass sich der Kupferhexacyanoferrat(II)-Niederschlag teilweise auflöst und in einen Manganhexacyanoferrat(II)-Niederschlag umwandelt. Ob sich dabei etwas an den Baumringen ändert ist unklar.

Für Bild III werden auf nicht- imprägniertes Chromatografiepapier 25 Tropfen Eisen(III)chlorid-Lösung getropft. Im Anschluss wird das Bild 30 Minuten an Luft trocknen gelassen. Anschließend werden drei Tropfen Kaliumhexacyanoferrat(II)-Lösung, acht

Tropfen Kupfersulfat-Lösung und zehn Tropfen Kaliumhexacyanoferrat(II)-Lösung darauf getropft

Vermutlich wird bei diesem Kapillarbild ein schmaler gelber Ring außen zu sehen sein. Daran anschließen wird wahrscheinlich ein dünner blauer Ring. In der Mitte wird eine rote Fläche mit einem rotblauen Mittelfleck erwartet.

Für Bild IV wird ebenfalls auf nicht-imprägniertes Chromatografiepapier hergestellt. Dazu werden 20 Tropfen Mangansulfat-Kaliumsulfat-Lösung aufgebracht. Danach muss das Bild eine halbe Stunde an Luft trocknen. Es werden im Anschluss daran zehn Tropfen Kupfersulfat-Lösung aufgetropft und das Bild erneut 30 Minuten trocknen gelassen. Schließlich tropft man nochmals 5 Tropfen Kupfersulfat-Lösung auf. Ein mit Kaliumhexacyanoferrat(II)-Lösung getränktes Papier wird auf das Bild gepresst um die Muster besser erkennbar zu machen.

Es wird ein blauer Niederschlag in der Mitte erwartet, der von rosa Verästelungen umgeben ist.

Um Bild V herzustellen wird Kupfersulfat-imprägniertes Chromatografiepapier verwendet. Darauf werden fünf Tropfen Kalilauge, vier Tropfen Mangansulfat-Kaliumsulfat-Lösung, fünf Tropfen Kaliumchromat-Lösung und sechs Tropfen Natriumchlorid-Lösung getropft.

Da ein alkalisches Medium vorliegt wird rosa Mangan(II)hydroxid ausfallen, welches von der Luft nach und nach zu Braunstein oxidiert wird. Außerdem kann es zu rhythmischen Ausfällungen kommen, die Anzahl der Ringe ist hierbei nicht vorhersagbar.

Für Bild VI werden auf Kupfersulfat-imprägniertes Chromatografiepapier fünf Tropfen Kalilauge, vier Tropfen Mangansulfat-Kaliumsulfat-Lösung, fünf Tropfen Kaliumchromat-Lösung, fünf Tropfen Kaliumhexacyanoferrat(II)-Lösung und vier Tropfen Natriumchlorid-Lösung getropft.

Diese Lösungen lassen vermuten, dass ein ähnliches Bild wie Bild V entstehen wird. Außerdem wird noch etwas Manganhexacyanoferrat(II) zu erkennen sein, welches in Konkurrenzreaktion mit Manganchromat und dessen Zersetzungsprodukten tritt.

Bei Bild VII werden wiederum auf Kupfersulfat-imprägniertes Chromatografiepapier getropft. Es werden sechs Tropfen Kaliumhexacyanoferrat(II)-Lösung, ein Tropfen Eisen(III)chlorid-Lösung und 20 Tropfen Natriumoxalat-Lösung getropft.

Diese Lösungen könnten zu einem Kapillarbild führen, das einen blauen Rand besitzt und in der Mitte rote Baumringe.

Für Bild VIII wird mit Rohrzucker-imprägniertes Chromatografiepapier verwendet. Auf dieses werden je zwei Tropfen Ammoniumdihydrogenphosphat-Lösung im Abstand von 4,5 cm aufgetropft. Dann werden in der Mitte der beiden Tropfstellen sechs Tropfen Mangansulfat-Kaliumsulfat-Lösung, zwölf Tropfen Kaliumhydroxid-Kaliumhexacyanoferrat(II)-Lösung und sechs Tropfen Natriumoxalat-Lösung aufgebracht.

Wahrscheinlich besitzt dieses Bild eine rote Farbe, die an den beiden Auftropfstellen verdrängt wird.

Bild IX wird hergestellt indem auf Kupfersulfat-imprägniertes Chromatografiepapier sechs Tropfen Ammoniumdihydrogenphosphat-Lösung, vier Tropfen Mangansulfat-Kaliumsulfat-Lösung, fünf Tropfen Kaliumchromat-Lösung und sechs Tropfen Natriumchlorid-Lösung getropft werden.

Diese Zusammenstellung führt vermutlich zu einem Bild bei dem die braune Farbe weniger stark ausgeprägt ist, als bei Bild I, da durch das Ammoniumdihydrogenphosphat für ein saures Medium gesorgt wird. Dort ist der entstehende Braunstein etwas besser löslich als im Neutralen.

Für Bild X wird Kupfersulfatimprägniertes Chromatografiepapier verwendet. Auf dieses werden sechs Tropfen Ammoniumdihydrogenphosphat-Lösung, vier Tropfen Mangansulfat-Kaliumsulfat-Lösung, fünf Tropfen Kaliumchromat-Lösung und drei Tropfen Kaliumhexacyanoferrat(II)-Lösung
4 Tropfen Natriumchloridlösung getropft.

Diese Lösungen lassen den Schluss zu, dass das Bild ähnlich aussieht wie Bild IX, jedoch das Braunstein teilweise vom Berliner Blau abgelöst wird.

Bei Bild XI werden auf Kupfersulfatimprägniertes Chromatografiepapier fünf Tropfen Mangansulfat-Kaliumsulfat-Lösung, drei Tropfen Natriumchlorid-Lösung, sechs Tropfen Kaliumhexacyanoferrat(II)-Lösung, drei Tropfen Kaliumchromat-Lösung und vier Tropfen Natriumchlorid-Lösung getropft.

Wahrscheinlich wird dadurch, dass Natriumchlorid-Lösung zwischen der Mangansulfat-Kaliumsulfat-Lösung und der Kaliumhexacyanoferrat(II)-Lösung getropft wird, die äußere Zone aus Mangan(II)hexacyanoferrat(II) bestehen. Innen werden rhythmische Ausfällungen von Manganchromat und dessen Zersetzungsprodukten erwartet.

Bild XII wird auf Kupfersulfatimprägniertes Chromatografiepapier hergestellt. Es werden fünf Tropfen Mangansulfat-Kaliumsulfat-Lösung, sechs Tropfen Kaliumhexacyanoferrat(II)-Lösung, drei Tropfen Kaliumchromat-Lösung und vier Tropfen Natriumchlorid-Lösung getropft.

Diese Lösungen und Reihenfolge lassen darauf schließen, dass hier im Gegensatz zu Bild XI der Mangan(II)hexacyanoferrat(II)-Niederschlag von Manganchromat und dessen Zersetzungsprodukten teilweise ersetzt wird. Das bedeutet, dass die Niederschläge sich wahrscheinlich in der Stabilität sehr ähnlich sind.

Bei Bild XIII werden auf Rohrzucker-imprägniertes Chromatografiepapier außen je zwei Tropfen Eisen(III)chlorid-Lösung und darauf je zwei Tropfen Ammoniumdihydrogenphosphat-Lösung im Abstand von 6 cm getropft. Das Bild wird 20 Minuten an Luft trocknen gelassen. Dann tropft man einen Tropfen Eisen(III)chlorid-Lösung, einen Tropfen Kaliumhexacyanoferrat(II)-Lösung und fünf Tropfen Natriumoxalat-Lösung in die Mitte zwischen den beiden Auftropfstellen.

Dabei wird wahrscheinlich weißes Eisen(III)phosphat entstehen und das entstehende Eisen(III)hexacyanoferrat(II) abdrängt indem es die Kapillaren verstopft.

Für Bild XIV wird Rohrzucker-imprägniertes Chromatografiepapier eingespannt. Darauf werden im Abstand von 5 cm je zwei Tropfen Paraffinöl aufgetragen. Anschließend werden zwischen die beiden Auftropfstellen zwei Tropfen Kupfersulfat-Lösung, zwei Tropfen Kaliumhexacyanoferrat(II)-Lösung und sechs Tropfen Natriumchlorid-Lösung getropft.

Wahrscheinlich werden sich zwei Blüten bilden, die dadurch entstehen, dass das Paraffinöl die Lösungen abdrängt.

Für Bild XV werden auf unbehandeltes Chromatografiepapier 13 Tropfen Kaliumchromat-Lösung getropft. Dann wird 20 Minuten gewartet. Anschließend werden 17 Tropfen Mangansulfat-Kaliumsulfat-Lösung getropft.

Bei diesem Kapillarbild wird es sehr wahrscheinlich zu den in Kapitel 2.2.3.3 beschriebenen rhythmischen Ausfällungen kommen.

Erklärung und Auswertung

Bild I:

Die Vermutung bei Bild I, dass es einen dünnen blauen Ring aus

Eisen(III)hexacyanoferrat(II) gibt hat sich nicht bestätigt, ebenso die Überlegung, dass sich in der Mitte Kupfer(II)hexacyanoferrat(II) mit entsprechenden Baumringen bildet.

Stattdessen ist in der Mitte ein großer, blauer Kreis ohne Verästelungen zu erkennen. Dieser ist von einem dünnen rotbraunen Kupfer(II)hexacyanoferrat(II)-Ring umgeben, welcher in den schwachgelben Eisen(III)nitrat-Ring übergeht:

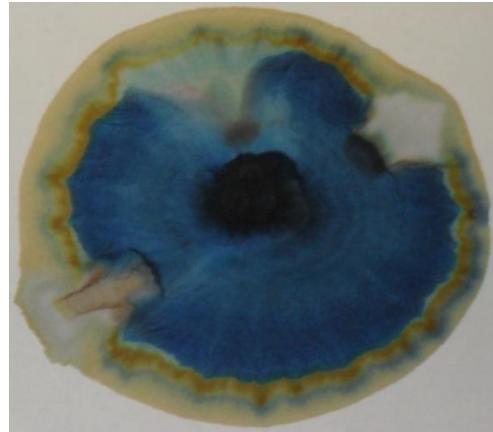


Abb. 120: Bild I

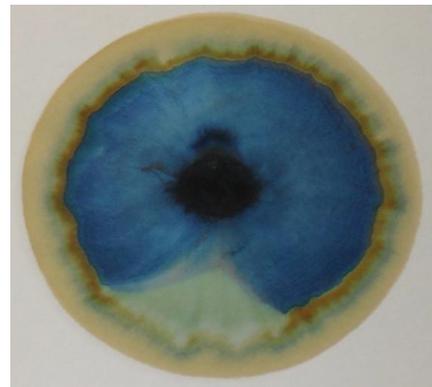


Abb. 121: Bild II

Bild II weist – entgegen der Vermutung – nur sehr geringe Abweichungen zu Bild I auf. Alle Farben und Formen sind vergleichbar.

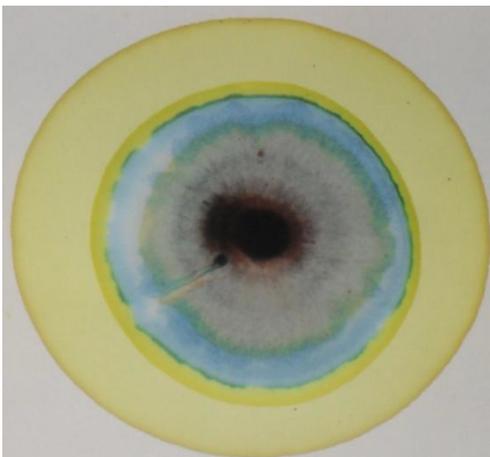
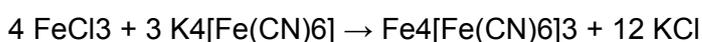


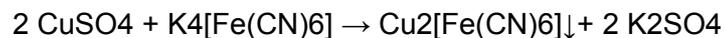
Abb. 122: Bild III

Der hellgelbe äußere Ring bei Bild III ist Eisen(III)-chlorid, dessen Farbe auch in Lösung hellgelb ist. Der schmale dunkelgelbe Ring ist ebenfalls Eisen(III)-chlorid. Hier kann man erkennen, dass die nachfolgenden Lösungen die Eisen(III)-chlorid-Imprägnierung verdrängt hat. Dadurch wird die Konzentration des Eisen(III)-chlorids erhöht, was zu einer intensiveren Gelbfärbung führt. Der nächst innere Ring ist blaues Eisen(III)-hexacyanoferrat(II), das auch Berliner Blau genannt wird.



Der grüne Ring kommt durch eine farbliche Überlagerung von Berliner Blau und der gelben Farbe des Kaliumhexacyanoferrats(II), das sich im Überschuss auf diesem Bild

befindet. Der rote Mittelfleck ist ein Kupferhexacyanoferrat(II)-Niederschlag, der durch eine Reaktion von Kupfersulfat-Lösung mit Kaliumhexacyanoferrat(II)-Lösung entstanden ist.



Die hellblaue Farbe der Auftropfstelle von Bild IV ist **Abb. 123: Bild IV** Kupfersulfat. Darum herum Mangan(II)hexacyanoferrat(II) als rosa Niederschlag ausgefallen. Das erfolgt durch die Reaktion von Mangansulfat-Lösung mit Kaliumhexacyanoferrat(II)-Lösung.

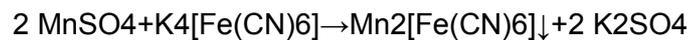


Abb. 124: Bild V Der bei Bild V vermutete, braune Niederschlag ist tatsächlich ausgefallen. Der braune Bereich besitzt kleine gelbe Blüten, die aus Kaliumchromat bestehen. Diese sind von einem kleinen blauen Kupfersulfat-Bereich umgeben.

Das Kapillarbild VI sieht Bild V ähnlich. Es ist keine blaue Farbe erkennbar, jedoch ist in der Mitte ein rotbrauner Klecks aus **Abb. 125: Bild VI** Mangan(II)hexacyanoferrat(II) zu erkennen.

Kupfersulfat und Kaliumhexacyanoferrat(II) reagieren in Bild VII zu rotbraunem Kupfer(II)hexacyanoferrat(II), wie in Bild III.

Abb. 126: Bild VII

Die blaue Farbe entsteht durch Berliner Blau. Das ist ein Eisen(III)hexacyanoferrat(II)-Komplex, der durch Reaktion von Eisen(III)chlorid-Lösung mit Kaliumhexacyanoferrat(II) entsteht, ebenfalls wie in Bild III.

Berliner Blau wird im Gegensatz zum Kupferhexacyanoferrat(II)-Niederschlag von der Natriumoxalat-Lösung nach außen geschwemmt.

Natriumoxalat und Kupfersulfat reagieren zu dem schwerlöslichen weißlich bläulichen Kupferoxalat, das man Am Rand des Bildes erkennen kann und das zur schwachen Farbintensität des Bildes führt.

Abb. 127: Bild VIII

Bild VIII:

Der Großteil des Bildes VIII besteht aus weißem Mangan(II)hexacyanoferrat(II).



In der Mitte erkennt man die dunkelbraune Farbe des Braunsteins.

Es hat bei Bild IX keine rhythmische Ausfällung stattgefunden. Man kann keine Ringe erkennen, sondern lediglich einen dunkleren Mittelfleck umgeben von einer helleren, gleichmäßigen Zone. Die gelbe Farbe in der Mitte führt zu einer schwachen Braunfärbung, wenn das Kapillarbild einige Zeit an Luft liegen gelassen wird.

Abb. 128: Bild IX

Abb. 129: Bild X

Bild X sieht Bild IX sehr ähnlich. Es ist keine Blaufärbung erkennbar.

Die Verästelungen von Bild XI bestehen aus Mangan(II)hexacyanoferrat(II). Es findet keine rhythmische Ausfällung statt. Stattdessen ist ein gelber Chromatfleck innerhalb des Mangan(II)hexacyanoferrat(II) zu erkennen.

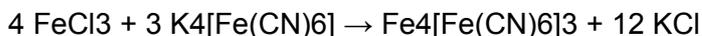
Abb. 130: Bild XI

Bild XII:

Abb. 131: Bild XII

Der Mangan(II)hexacyanoferrat(II)-Niederschlag in Bild XII ist etwas farbintensiver als in Bild XI. In der Mitte kann man einen deutlichen zunächst gelblichen Chromat-Fleck erkennen. Die rosa Mangan(II)hexacyanoferrat(II)-Verästelungen sind direkt nach der Fertigstellung etwas geräumiger als bei Bild XI. Nach einiger Zeit warten ist der Mangan(II)hexacyanoferrat(II)-Bereich in etwa gleich groß wie bei Bild XI.

In Bild XIII kommt der blaue Niederschlag durch die Reaktion von Eisen(III)chlorid mit Kaliumhexacyanoferrat(II) zustande. Es entsteht Eisen(III)hexacyanoferrat(II):



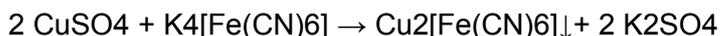
Dieser Niederschlag wird von der Natriumoxalat-Lösung nach außen geschwemmt. Die Eigenfarbe von Eisen(III)chlorid ist gelb. Bei Kontakt mit Ammoniumdihydrogensulfat-Lösung entsteht Eisen(III)phosphat als weißer Niederschlag:



Abb. 132: Bild XIII

Abb. 133: Bild XIV

Der rotbraune Niederschlag in Bild XIV entsteht dadurch, dass die Kupfersulfat-Lösung mit der Kaliumhexacyanoferrat(II)-Lösung reagiert zu Kupferhexacyanoferrat(II).



Die Lösungen sind um die aufgetragenen Paraffinöltropfen herumgeflossen, weil die Salzlösungen und das imprägnierte Papier polarer sind als das unpolare Paraffinöl. Sie vermischen sich nicht sondern stoßen sich ab. Das kapillare Fließen wird dadurch an dieser Stelle gestört.

Abb. 134: Bild XV

In der Mitte ist ein brauner Bereich aus Mangan(II)chromat und dessen Zersetzungsprodukten zu erkennen. Darum herum ist ein gelber Kaliumchromatbereich zu erkennen. In der Mitte befindet sich ein kleiner fast farbloser Fleck.

Zusammenfassend lässt sich sagen, dass Bilder, bei denen nur wenige Stoffe miteinander reagieren oder die Stabilität der Niederschläge und Komplexe unterschiedlich genug ist, es einfacher ist richtige Annahmen über das Aussehen zu treffen. Wenn jedoch mehrere Reaktionen parallel ablaufen oder die Stabilität von den gebildeten Komplexen und Niederschläge nah beieinander liegen, ist es schwerer Aussagen über das Aussehen zu treffen.

Fazit

Die Kapillarbilder geben sehr genau wieder, welche Inhaltsstoffe eine Lösung hat und sind daher auch für eine qualitative Analyse geeignet. Hierfür können auch noch mehr Einflüsse auf die Kapillarbilder untersucht werden, wie zum Beispiel die Konzentration.

Jedoch sind die Kapillarbilder auch schöne, selbst gewachsene Bilder mit teilweise überraschenden Formen, weshalb sie immer noch zum Experimentieren für noch intensiveren Farben und abstrakten Formen einladen. Es hätte noch einige Versuche gegeben, welche wir gerne ausprobiert hätten. Leider würden sie alle den Rahmen dieser Projektarbeit sprengen. Beispielsweise könnte man mit Pflanzenfarbstoffen zu experimentieren. Dabei wären dann Kapillarbilder entstanden, die einen Zwischenschritt zwischen Runges Professorenklecksen und modernen Chromatogrammen dargestellt hätten.

Auch die Überlegungen, welche Lösungen in welcher Reihenfolge getropft werden muss, um eine Farbschattierung zu erhalten, war ein Teil der Arbeit, den wir gerne vertieft hätten.

Alles in allem lässt sich also sagen, dass diese Arbeit sehr lehrreich und informativ für uns war. So konnten wir durch die Freiheit, die uns gelassen wurde, auch eigene Versuchsreihen planen und durchführen.

Anhang

- Literaturverzeichnis
- Anleitung nach Hedinger
- Protokoll der Besprechung mit dem Betreuer
- Mailwechsel mit Betreuer
- Mailwechsel mit UNECE wegen Copyright
- Chemikalienliste mit Sicherheitshinweisen
- Protokolle der Versuchsreihen I bis VII