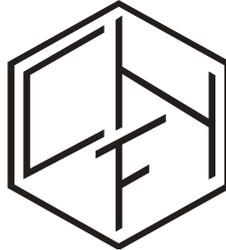


**Institut Dr. Flad**



**Projektarbeit**

**Untersuchungen zu Papierhilfs- und  
-zusatzstoffen**

**Lea Kaiser**

**und**

**Heike Zeller**

**- Lehrgang 63 -**

**Betreuung: Prof. Dr. Georg Schwedt**

Schuljahr 2013 / 14

## **Inhaltsverzeichnis**

Vorwort.....	4
1 Zusammenfassung.....	5
2 Summary.....	5
3 Einleitung.....	6
4 Papierhilfs- und -zusatzstoffe .....	7
4.1 Allgemeines.....	7
4.2 Tabelle: Übersicht der funktionalen Hilfsmittel.....	8
5 Farbige Papiere.....	11
5.1 Versuchsreihen.....	14
5.2 Aufnahme eines Spektrums.....	21
6 Bedruckte Papiere.....	23
6.1 Deinking- Entfernung der Druckfarbe.....	24
6.1.1 Allgemeines.....	24
6.1.2 Deinking-Prozess.....	24
6.1.3 Papierchemikalien.....	26
6.2 Versuche.....	28
6.2.1 Versuchsreihen.....	28
6.2.2 Versuche zum Deinking.....	31
7 Gegenüberstellung von ungeleimten und geleimten Papieren.....	35
7.1 Geschichtliches.....	37
7.2 Versuche.....	40
7.2.1 Prüfung auf Leimungsmittel.....	40

7.2.2 Stärkenachweis am ungeleimten/geleimten Papier....	42
8 Weitere Untersuchungen auf Zusatzstoffe....	44
8.1 Füllstoffe.....	44
9 Schlusswort.....	47
10 Literaturverzeichnis .....	48
11 Abbildungsverzeichnis.....	51
12 Anhang.....	51

### **Vorwort**

Diese Projektarbeit wurde während unserer Ausbildung am Institut Dr. Flad verfasst. Für das zur Verfügung stellen der Räumlichkeiten, Geräte und Chemikalien möchten wir dem Institut Dr. Flad unseren Dank aussprechen. Dieser gilt selbstverständlich auch den Assistenten und Assistentinnen, die uns während den Laborversuchen betreut und unterstützt haben. Besonderen Dank gilt Herrn Prof. Dr. Georg Schwedt, der uns während der gesamten Zeit betreute und uns mit Rat und Tat zur Seite stand. Ebenso bedanken wir uns für die Reihe verschiedener Papiersorten, die er uns zur Verfügung gestellt hat. Dadurch wurde uns schnell klar, wie faszinierend und vielseitig der Werkstoff Papier sein kann.

## 1 Zusammenfassung

In dieser Projektarbeit geht es um die Stoffe *im* Papier, welche dem Papier die gewünschten Eigenschaften (Bedruckbarkeit, Beschreibbarkeit, Farbe) verleihen. Begonnen wird mit einem allgemeinen Teil zu den Papierhilfs- und Zusatzstoffen. Anschließend werden die wichtigsten Hilfsmittel und speziell deren Wirkung im Papier tabellarisch aufgeführt, welche dann teilweise noch qualitativ untersucht wurden. Der Schwerpunkt liegt bei den Farbstoffen und Leimungsmitteln. In Versuchsreihen prüfen wir verschiedene Papiersorten auf deren Farbstoffe und Leimungsmitteln. Wir versuchen uns darin, die Farbstoffe von farbigem und bedrucktem Papier mithilfe von überwiegend im Supermarkt erhältlichen Produkten wie Säuren/Basen, oxidierenden/reduzierenden Bleichmitteln herunterzulösen. Dabei wird auch das Deinking angesprochen und experimentell durchgeführt. Unser Ziel ist, das Thema der Papierhilfs- und -zusatzstoffe Schülern und Lehrern näher zu bringen und Interesse für das zu wecken, was *in* dem Papier steckt.

## 2 Summary

This project work is about the substances in the paper, which give the paper the desired properties (printability, writing property, color). It begins with a general section with paper auxiliaries and additives. Then the most important additives and specifically their effect on the paper are listed in a table, which were partly analyzed qualitatively. The focus is on the dyes and sizing agents. In test series, we check various types of paper to their dyes and sizing agents. We try to dissolve the dyes from colored and printed paper with products, which are mostly

available in the supermarket such as acids / bases and oxidizing / reducing bleaches. Moreover we mention the deinking process that we carried out experimentally. Our aim is to arouse interest for the paper and would recommend the issue of paper auxiliaries and additives other students and teacher.

### **3 Einleitung**

Papier – Mehr Chemie als man denkt

Ob zum Basteln, Bedrucken, Beschreiben, Verpacken oder gar zum Aufwischen wird Papier täglich von jedem verwendet und ist kaum mehr aus dem Alltag wegzudenken. Es weist dabei unterschiedliche Eigenschaften auf; vom saugfähigen Löschpapier/Küchenrolle, über farbiges Papier, Teebeutelpapier, Butterbrotpapier bis hin zum beschreib- bzw. bedruckbaren Druckerpapier. Heute gibt es bis zu 3000 verschiedene Papiersorten, wovon uns täglich etwa 25 begegnen. [1] Aber hinter den vielen verschiedenen Eigenschaften des Papiers stecken das richtige Know-How und vor allem viel Chemie – viel mehr als es zunächst den Anschein macht.

Womit wird Papier denn nun beschreibbar gemacht? Wie verhindert man, dass beim Beschreiben die Tinte verläuft? Wie erhält man eine glatte, gleichmäßige Oberfläche? Wie bekommt man das Altpapier wieder weiß? Warum weicht sich das Toilettenpapier in Wasser auf und bedruckbares Papier nicht sofort? Antworten auf diese Fragen geben die chemischen Hilfs- und -zusatzstoffe mit denen wir uns in dieser Projektarbeit befassen wollen.



**Abbildung 1: Farbige Papier**

## **4 Papierhilfs- und -zusatzstoffe**

### **4.1 Allgemeines**

Neben den verschiedenen Faserrohstoffen benötigt man zur Papierherstellung noch eine ganze Summe wichtiger Hilfsstoffe, um dem Papier spezielle Eigenschaften zu verleihen. Chemische Hilfs- und -zusatzstoffe, man spricht auch von chemischen Additiven, werden zur Beeinflussung der Eigenschaften bzw. Qualität des fertigen Papierprodukts (= funktionale Chemikalien), sowie für einen reibungslosen Ablauf des Produktionsprozesses eingesetzt (= Prozesschemikalien). Die Prozesschemikalien umfassen die Fixier- und Retentionsmittel, Biozide, Entlüfter, Entschäumer und Waschmittel. In dieser Arbeit befassen wir uns ausschließlich mit den funktionalen Chemikalien. Die Gruppe der Funktionschemikalien beinhaltet die Füllstoffe, Leimungsmittel, Trocken- und Nassfestmittel, Farbstoffe, optische Aufheller, Flammenschutzadditive. Anders als bei den Prozesschemikalien sind die Dosiermengen stark von den Produkthanforderungen abhängig. Ihr Mengenanteil im Papier liegt bei etwa 3%. Trotz ihres geringen Anteils im Papier zeigen Papierhilfsmittel jedoch einen enormen Einfluss auf die Produkteigenschaften,

---

 „Untersuchungen zu Papierhilfs- und -zusatzstoffen“
 

---

nach dem Motto weniger ist mehr. Würde man ein Papier nur aus Faserstoffen herstellen, ohne jeglichen Zusatz, so erhält man ein Produkt, das eine gewisse Saugfähigkeit besitzt, ungleichmäßig, und von geringem Weißgrad ist. Eine moderne Papierherstellung ist ohne diese Hilfsmittel nicht mehr vorstellbar. Bunte Papiere, Bedruckbarkeit, eine glatte, beschreibbare Oberfläche sind etwas Selbstverständliches. Das Papier kann heutzutage durch die Vielzahl an Zusatzstoffen den Anforderungen angepasst werden; nicht wie früher als die Eigenschaften des Papiers alleine von dem zur Verfügung stehenden Rohstoff bestimmt wurden. Man verwendet geleimtes Druckpapier zum Bedrucken, zum Zeitungsdruck ein billiges ungestrichenes, holzstoffhaltiges, oft aus deinktem Altpapierstoff hergestelltes Papier und als Filterpapier ein holzfreies, ungeleimtes, zum Teil nassfest ausgerüstetes Papier. Einige der verwendeten Additive erfüllen mehrere Aufgaben gleichzeitig. So sorgen die Füllstoffe im Papier einerseits für eine verbesserte Oberfläche, andererseits für eine Erhöhung des Weißgrades. Des Weiteren schonen Zusatzstoffe Umwelt und Ressourcen. Zusatzstoffe, wie tierischer Leim, wurden schon für die Herstellung von handgeschöpftem Papier verwendet. Mit der industriellen Papierproduktion wurden laufend neue Additive entwickelt, die mittlerweile in ihrer Vielzahl und der Vielseitigkeit ihrer Anwendungsmöglichkeiten nahezu nicht mehr zu überblicken sind. [1]

#### 4.2 Tabelle: Übersicht der funktionalen Hilfsmittel

Die folgende Tabelle gibt eine Übersicht über die in der Papierindustrie verwendeten funktionalen Chemikalien und deren Wirkung auf das Endprodukt.

<b>Chemisches Hilfsmittel</b>	<b>Wirkung</b>	<b>Anteil im Papier/ Anwendung</b>
<b>Füllstoffe</b> wasserunlösliche, anorganische Mineralien von kleinster Teilchengröße,	<u>Positive Effekte:</u> Verbesserung der Bedruckbarkeit, Oberflächenglätte, Porosität, Opazität (Undurchsichtigkeit), Weißgrad, Substitution der	bis zu 30%; bilden größte Gruppe der in der Papierindustrie zugesetzten Hilfsstoffe

## „Untersuchungen zu Papierhilfs- und -zusatzstoffen“

z.B. Kaolin, Talkum, Kreide, Gips	teureren Faserstoffe, erhöhen das Papiergewicht <u>Negative Einflüsse:</u> Abnahme der Festigkeit und Dehnbarkeit (Verringerung der Faser-Faser-Bindungen), Neigung zur Staubbildung →füllen winzigen Zwischenräume zwischen den Fasern wodurch das Papier eine gleichmäßige, geschlossene Oberfläche erhält [2]	Füllstoffe werden dem Papier vor der Blattbildung zugesetzt, Pigmente dagegen auf der Oberfläche aufgebracht.
<b>Leimungsmittel</b> Naturharze, synthetische Papierleime (Alkylketendimere, Alkylbernsteinsäureanhydride), Stärke [3]	machen das Papier wasserabweisend (hydrophob), damit es beschrieben und bedruckt werden kann, Verbesserung der Oberflächen und der Festigkeiten des Papiers z.B. Bedruckbarkeit, Glanz und Glätte, Rupfen, Stauben	machen etwa ein Viertel der Menge an chemischen Additiven aus  Leimung in der Masse, Oberflächenleimung
<b>Farbstoffe</b> v.a. synthetische (organischen) Farbstoffe. Man unterscheidet vier Klassen: basische Farbstoffe, Säurefarbstoffe, substantive Farbstoffe(wasserlöslich), Pigmente	werden dem Papier zugefügt um das Papier zu färben, aufzuhellen, nuancieren und besondere Farbeffekte zu erzielen z.B. Druck- und Schreibpapiere, Hygienepapiere (Servietten), auch weiße Papiere werden oft bläulich getönt, um den leichten Gelbstich vieler Faserstoffe zu überdecken und dadurch den Weißgrad zu erhöhen	Anteil im Papier variiert zwischen 0,02% (z.B. in weißen Papieren) und 2%  Stofffärbung (Farbstoffe werden Papierbrei zugegeben →verbessert Eindringen des Farbstoffs in den Brei), oder Oberflächenfärbung (aufbringen auf fertige Papierbahn), Spezialerzeugnisse werden hinterher in

## „Untersuchungen zu Papierhilfs- und -zusatzstoffen“

		Farbstofflösungen getaucht oder bespritzt
<p><b>Trockenfestmittel</b>          Natürliche und synthetische; handelt sich dabei um hochmolekulare Verbindungen wie Stärke/Stärkederivate, Galaktomanane Polyvinylalkohol, Alginat, Polyacrylamide</p>	<p>erhöhen die Festigkeit im trockenen Zustand          → sind in der Lage, Wasserstoffbrücken zu der Cellulose auszubilden und Papierfasern zu verbrücken          → Festigung des Papiergefüges</p> <p>aufgrund des gesteigerten Verbrauch an Altpapier als Sekundärfaserstoff sowie zunehmende Füllstoffgehalte          Zunehmende Verschlechterungen der Papierfestigkeiten</p>	<p>werden direkt zur Suspension hinzugegeben oder auf die Oberfläche aufgetragen</p>
<p><b>Nassfestmittel</b>          Polymere oder multifunktionale Verbindungen (Polyamine, Epichlorhydrin)</p>	<p>Verbesserung der Festigkeit im nassen Zustand</p> <p>→ Unbehandeltes Papier wird mechanisch sehr unbeständig wenn es feucht oder nass wird          → verliert durch die Aufspaltung der Wasserstoffbrücken unter Wasserzutritt seinen inneren Zusammenhalt im Faservlies.</p> <p>Nassfest hergestellt sind z.B. Servietten, Filterpapiere, Tapetenroh-papiere, Teebeutel, Wertpapiere</p> <p>→ Sie reagieren unter den Trocknungsbedingungen mit den OH-Gruppen der Papierfasern; bilden sich wasserunlösliche Quervernetzungen zwischen den Fasern, die den Papierfilz stabilisieren</p> <p>→ kein erfolgreiches</p>	<p>In der Masse eingesetzt, oder als Oberflächenmittel in Verbindung mit Streichauftrag</p>

---

 „Untersuchungen zu Papierhilfs- und -zusatzstoffen“
 

---

	Recycling, da beim chemischen Aufbrechen von Nassfestmitteln die Faser schnell degradiert	
<b>Optische Aufheller</b> Fluoreszierende Substanzen	Zur Steigerung des Weißgrades, Kompensation des Gelbstichs  → absorbieren ultraviolette Strahlung; geben die absorbierte Energie im blauvioletten Bereich wieder ab (fluoreszieren) → Papier erscheint heller und weißer	In der Masse/ Oberflächen- anwendung [3][4]

## 5 Farbige Papiere

### Verschiedene Papiersorten

Dass das bunte Papier, welches auch oft zum Basteln benutzt wird und so öfter mit Lösemitteln (z.B. aus Klebstoff) in Kontakt kommt nicht abfärbt, werden unterschiedliche Techniken angewandt, um die Farbe besser in oder auf dem Papier zu halten. So lösen sich die Farbstoffe von unterschiedlichen Papiersorten besser oder schlechter herunter. Dies kann nicht nur an der Farbe liegen, sondern auch an der Technik, wie die Farbe in das Papier eingearbeitet oder auf das Papier aufgetragen wurde. Aber auch die Farbe spielt dabei eine Rolle, ob nur physikalische oder auch chemische Kräfte wirken können.

Grundsätzlich unterscheidet man zwischen zwei verschiedenen Papiersorten:

### Tonpapier / Tonkarton

Tonpapier und Tonkarton sind farbige Papiere, die direkt im Faserbrei gefärbt werden, was man auch als Massenfärbung bezeichnet. Das heißt, der Produktionsprozess läuft genauso ab wie bei jedem anderen Papier, nur mit dem Unterschied dass zusätzlich noch Farbe dazugegeben wird. Tonpapier oder Tonkarton zu erkennen ist meist sehr einfach. Es wird die Schnittkante (nach schneiden oder reißen des Papiers) betrachtet. Wenn die Schnittkante oder der Riss genau die gleiche Farbe aufweist wie die Oberfläche, handelt es sich um Tonpapier oder Tonkarton. Übrigens: der „Ton“ ist überhaupt nicht im Tonpapier enthalten.

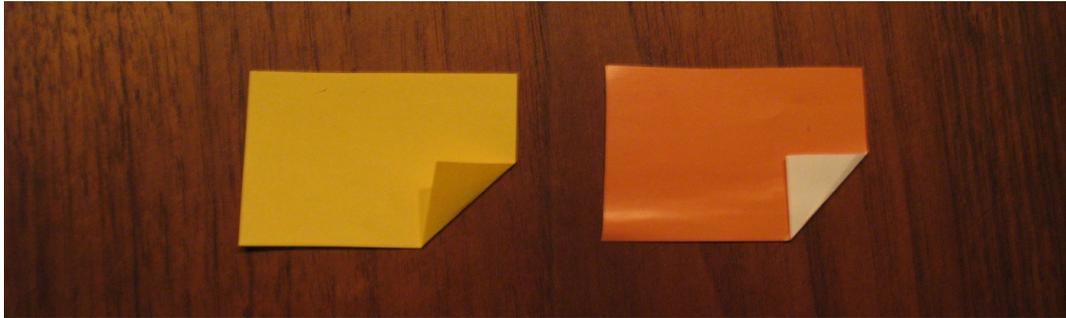
Wenn man von Tonpapier spricht, meint man das dünne, farbige Papier, welches zum Beschreiben und Bedrucken benutzt wird. Es ist dem „normalen“ weißen Druckerpapier in allem sehr ähnlich oder sogar gleich, bis auf die Farbe, welche aber nicht immer so intensiv ist, dass man die Schrift darauf trotzdem noch gut erkennen kann.

Tonkarton hingegen ist eher dicker, welches man zwar oft beschreiben kann, welches aber nicht immer wie das Tonpapier gelehmt ist. Dieser farbige Karton wird oft zum Basteln verwendet, aber auch im Modellbau oft verwendet wird. [5]

### **Buntpapier**

Wenn man von Buntpapier spricht, meint man das Papier, welches nicht in der Masse, sondern nur auf der Oberfläche gefärbt ist. Hier wird die Farbe mit unterschiedlichen Techniken auf das Papier aufgetragen. Beispielsweise kann die Farbe durch eintauchen, bestreichen oder besprenkeln auf die Oberfläche aufgetragen werden. Hier spricht man auch von Oberflächenfärbung. Außerdem kann ein Buntpapier gemustert oder mehrfarbig sein, wofür einige unterschiedliche Auftragetechniken verantwortlich sind. Oft ist auch nur eine Seite, oder beide Seiten in zweierlei Farben gefärbt. Ein bekanntes Beispiel ist hierfür das Origamipapier.

Erkennen kann man ein Buntpapier nach Schneiden oder Reißen des Papiers an seiner Schnittkante. Hier tritt die ursprüngliche Farbe des Papiers hervor.



**Abbildung 2: Gegenüberstellung von Tonpapier und Buntpapier**

Links: Tonpapier (Schnittkante weist die gleiche Farbe wie die Oberfläche auf)

Rechts: Buntpapier (Schnittkante und Rückseite sind weiß, nur die Vorderseite ist gefärbt. Zusätzlich glänzt das Papier).

### **Farben**

Die Vermutung liegt nahe, dass die Farbstoffe, die in der Papierindustrie verwendet werden, günstig sein sollten und während des Herstellungsprozesses bzw. nach dem Einfärben nicht kaputt gehen. Außerdem müssen sie gesundheitlich unbedenklich sein, vor allem wenn das Papier angefasst wird und damit gebastelt wird. Außerdem werden eher Synthetische Farbstoffe verwendet. Die Farbstoffe werden wie folgt unterteilt:

### **Basische Farbstoffe**

Basische oder auch kationische Farbstoffe ziehen direkt auf die negative Faser auf. Sie gehen mit negativ geladenen funktionellen Gruppen eine Salzbindung ein. Durch die chemische Bindung sitzen die Farbstoffe wirklich gut auf der Faser. Je schwerer Löslich das gebildete Salz, desto besser hält also auch die Farbe auf dem Papier.

### **Saure Farbstoffe**

---

„Untersuchungen zu Papierhilfs- und -zusatzstoffen“

---

Saure Farbstoffe werden hauptsächlich mit Fixiermitteln an die Faser gebunden. Sie werden aber hauptsächlich zum Färben der Oberflächen verwendet. Durch die Fixiermittel führt also auch diese Methode der Färbung zu einem sehr stabilen Farbergebnis. Auch nach Zugabe von Basen lässt sich also nur sehr schwer oder gar nicht etwas herauslösen.

### **Direktfarbstoffe**

Sie ziehen ohne Fixiermittel auf eine Faser auf. Der Nachteil der Direktfarbstoffe besteht darin, dass sie so nur durch physikalische Kräfte auf dem Papier haften bleiben. Beispiele hierfür sind Dipol-Dipol-Wechselwirkungen und Van-Deer-Waals-Kräfte. Diese Farbstoffe lassen sich bereits im Wasser gut herauslösen.

[6][7]

## **5.1 Versuchsreihen**

Wir haben Papiersorten unterschiedlicher Art und Farbe auf ihre Reaktionen mit reduzierenden und oxidierenden, sauren und basischen Mitteln geprüft, welche alle im Supermarkt erhältlich sind.

### Benötigte Geräte und Chemikalien (gilt für alle Versuche dieser Reihe)

Bechergläser oder sonstige Glasbehälter, Wasser, Oxidierender Reiniger (Vanish Oxi Action), Chlorreiniger (Danklorix), Dithionithaltiger Reiniger (Heitmanns Power Entfärber), Soda (Heitmanns Reine Soda), Citronensäure (Heitmanns Reine Citronensäure) und das zu prüfende Papier.

### Versuchsanordnungen

#### 1. Vorbereitung

Das Papier wird in Schnipsel geschnitten (ungefähre Größe: 4x4 cm) und auf die Bechergläser verteilt.

#### 2. Vorversuch

---

 „Untersuchungen zu Papierhilfs- und -zusatzstoffen“
 

---

Eine Probe davon wird mit ca. 100mL Wasser versetzt. Wenn sich die Farbe des Papiers im Wasser löst, wird mit dem Extrakt gearbeitet. Wenn nicht, wird das Papier direkt mit den Chemikalien oder deren Lösungen versetzt. Bei Extrakten gilt: Ein Stück Papier (4x4 cm) wird mit 100 mL Wasser versetzt.

### 3. Versuchsreihen

Je nach Löslichkeit des Farbstoffes wird direkt mit dem Papier oder mit dem Extrakt gearbeitet.

	Papier (Direkt)	Extrakt (Farbige Lösung des Papiers)
Dithionithaltiger Reiniger (Heitmanns Power Reiniger)  Festes Pulver	Es werden 2 Spatelspitzen des Reinigers in ca. 25 mL Wasser aufgelöst und zum Papier gegeben.	In die Lösung werden 2 Spatelspitzen des Reinigers gegeben.
Chlorreiniger (DanKlorix)  Flüssigreiniger	Es wird eine 1:1 verdünnte Lösung des flüssigen Chlorreinigers auf das Papier gegeben. Hier wurde mit ca. 25 mL Lösung gearbeitet.	Es werden 5 mL des flüssigen Chlorreinigers zur farbigen Lösung dazugegeben.
Oxidierender Reiniger (Vanish Oxi Action)  Flüssigreiniger	Es wird eine 1:1 verdünnte Lösung des flüssigen Oxi-Reinigers auf das Papier gegeben. Hier wurde mit ca. 25 mL Lösung gearbeitet.	Es werden 5 mL des flüssigen Chlorreinigers zur farbigen Lösung dazugegeben.

---

 „Untersuchungen zu Papierhilfs- und -zusatzstoffen“
 

---

Citronensäure * (Heitmanns Reine Citronensäure) Festes Pulver	Es werden 2 Spatelspitzen der Citronensäure in ca. 25 mL Wasser aufgelöst und zum Papier gegeben.	Es werden 2 Spatelspitzen Citronensäure in 100 mL der farbigen Lösung gegeben.
Soda* (Heitmanns Rene Soda) Festes Pulver	Es werden 2 Spatelspitzen der festen Soda in ca. 25 mL Wasser aufgelöst und zum Papier gegeben.	Es werden 2 Spatelspitzen Soda in 100 mL der farbigen Lösung gegeben.

\*Anmerkung: Da es basische und saure Farbstoffe gibt, haben wir vermutet, dass man bei Zugabe von Soda oder Citronensäure die Farbstoffe in Lösung bringen kann. Das hat aber leider nicht funktioniert.

### 1. Grünes Bastelpapier

Hier wurde direkt mit dem Papier gearbeitet, da sich die Farbe nicht im Wasser gelöst hat.

#### Beobachtungen

Schnittkante	Grün (Ursprünglich Farbe nicht erkennbar)
Löslichkeit der Farbe in Wasser	Nicht löslich
Oxi- Reiniger	Keine erkennbare Reaktion
Chlorreiniger	Bräunliche Verfärbung
Dithionit	Verfärbung nach Violett, nach einiger Zeit Verfärbung nach Türkis/ Petrol. An der Luft erfolgt die Rückreaktion (Oxidation durch O <sub>2</sub> ): Verfärbung von Türkis/Petrol nach Violett
Soda	Keine erkennbare Reaktion
Citronensäure	Keine erkennbare Reaktion

---

 „Untersuchungen zu Papierhilfs- und -zusatzstoffen“
 

---

**Ergebnis**

Der grüne Farbstoff im Bastelpapier verändert sich bei der Reduktion, bei Oxidation ist keine Reaktion erkennbar. Da sich aber nichts von der Farbe im Wasser löst und dies sich nach Zugabe von Soda oder Citronensäure nicht ändert, kann man darauf schließen, dass hier ein saurer oder basischer Farbstoff verwendet wurde.

Da die Schnittkante die gleiche Farbe wie die Oberfläche aufweist und der Farbstoff sich nicht löst, kann man darauf schließen, dass dies ein Tonpapier bzw. ein Tonkarton ist.

**2. Orangenes Krepppapier**

Hier hat sich die Farbe gut herunter gelöst, also wurde mit dem Extrakt gearbeitet.

**Beobachtungen**

Schnittkante	Orange
Löslichkeit der Farbe in Wasser	Gut löslich
Oxi- Reiniger	Keine erkennbare Reaktion
Chlorreiniger	Entfärbung
Dithionit	Entfärbung leicht gelbliche Lösung
Soda	Dunkle Verfärbung
Citronensäure	Keine erkennbare Reaktion

**Ergebnis**

Durch Reduktion erfolgt eine Entfärbung, bei Oxidation ist keine Veränderung erkennbar. Im sauren Milieu bleibt die Farbe gleich, im alkalischen verfärbt sich die Farbe etwas dunkler.

Da sich die Farbe sehr leicht herunter lösen lässt, kann man davon ausgehen, dass hier Buntpapier vorliegt. Die Farbe der Schnittkante ist die gleiche wie auf der Oberfläche. Wahrscheinlich ist die Farbe aufgrund der hohen Porosität und doch sehr feinen Struktur auch weiter innen aufgezo-



**Abbildung 3: Krepppapier vor und nach Entfärbung mit Wasser**

Hier sieht man sehr deutlich, wie gut sich die Farbe im Wasser löst. Am linken Papier wurde keine Veränderung vorgenommen, das rechte wurde in ca. 100 mL Wasser „eingelegt“, nach 10 Minuten herausgenommen und getrocknet. Das blau gefärbte wurde nur ausgewählt, um die Entfärbung deutlicher zu zeigen. Das Orangefarbene reagiert genau gleich.

**3. Braunes Bastelpapier**

Hier wurde direkt mit dem Papier gearbeitet, weil sich im Wasser nichts gelöst hat.

**Beobachtungen**

Schnittkante	Braun
Löslichkeit der Farbe in Wasser	Nicht löslich
Oxi- Reiniger	Dunkle Verfärbung
Chlorreiniger	Helle Verfärbung
Dithionit	Sehr leichter Rotstich erkennbar
Soda	Keine erkennbare Reaktion
Citronensäure	Dunkle Verfärbung

**Ergebnis**

Die Farbe ändert sich sowohl bei der Oxidation als auch bei der Reduktion. Außerdem ist die Farbe pH-abhängig, im sauren Milieu wird die Farbe dunkler. Im alkalischen Milieu hat sich nichts erkennbar verändert.

Auch hier handelt es sich wieder um Buntpapier. Im Wasser ist nichts löslich und die Schnittkante ist Braun.

**4. Rosa gefärbte Serviette**

Hier wurde die oberste gefärbte Lage der Serviette gearbeitet, weil es sich im Wasser wieder nichts gelöst hat.

**Beobachtungen**

Schnittkante	Rosa
Löslichkeit der Farbe in Wasser	Nicht löslich
Oxi- Reiniger	Keine erkennbare Reaktion
Chlorreiniger	Keine erkennbare Reaktion
Dithionit	Keine erkennbare Reaktion
Soda	Keine erkennbare Reaktion
Citronensäure	Keine erkennbare Reaktion

**Ergebnis**

Es zeigt sowohl bei Reduzierenden als auch Oxidierenden Reinigern keine Reaktion. Außerdem ist diese Farbe nicht pH-abhängig, da sie sich weder im sauren noch im alkalischen Milieu ändert.

Hier wurde die Farbe in die Masse eingearbeitet, da die ursprüngliche Farbe in der ersten Lage nicht erkennbar ist und sich auch nichts im Wasser löst.

**5. Violettes Tonpapier**

Hier wurde direkt mit dem Papier gearbeitet, da sich im Wasser auch nichts gelöst hat.

**Beobachtungen**

Schnittkante	Violett
Löslichkeit der Farbe in Wasser	Nicht löslich
Oxi- Reiniger	Keine erkennbare Veränderung
Chlorreiniger	Keine erkennbare Veränderung
Dithionit	Keine erkennbare Veränderung
Soda	Keine erkennbare Veränderung
Citronensäure	Keine erkennbare Veränderung

**Ergebnis**

Es zeigt sowohl bei reduzierenden als auch oxidierenden Reinigern keine Reaktion. Außerdem ist diese Farbe nicht pH-abhängig, da sie sich weder im sauren noch im alkalischen Milieu ändert.

Hier wurde die Farbe in die Masse eingearbeitet, da die ursprüngliche Farbe nicht erkennbar ist und sich auch nichts im Wasser löst.

## 5.2 Aufnahme eines Spektrums

Bei unserer Versuchsreihe mit Krepppapier wurde schnell klar, dass leicht lösliche Farbstoffe im Papier nicht giftig sein dürfen, wenn beispielsweise auch Kinder damit basteln. Die Vermutung liegt nahe, dass hier Lebensmittelfarben verwendet werden, weil sie nicht nur ungefährlich, sondern meist auch recht günstig sind.

Wir haben jeweils bei unterschiedlichen Wellenlängen zwischen 400 und 800 nm die Extinktion der farbigen Lösungen gemessen und miteinander verglichen.

### Materialien

2 Bechergläser, Fotometer, demin. Wasser, Probe von einem Papier mit gut löslicher Farbe, Vergleichssubstanz

Hier wurden ein blaues Krepppapier und als Vergleichssubstanz Patentblau (V) verwendet.

Das Spektrum wurde mit dem Cary 60 UV-VIS Spektrometer (Agilent Technologies) aufgenommen und mit dem Computer aufgezeichnet.

### Durchführung

Die Probe des Papiers wird in einen Becherglas mit demin. Wasser versetzt und kurz stehen gelassen. Eine kleine Spatelspitze Patentblau wird in das andere Becherglas gegeben und die Lösung kurz umgerührt. Nach kurzem einziehen des Papiers wird dieses herausgenommen.

Die beiden Lösungen werden ohne Konzentrationsänderungen bei verschiedenen Wellenlängen gemessen. Die Extinktion wird gegen die Wellenlänge aufgetragen und beide Spektren verglichen.

## Spektrum

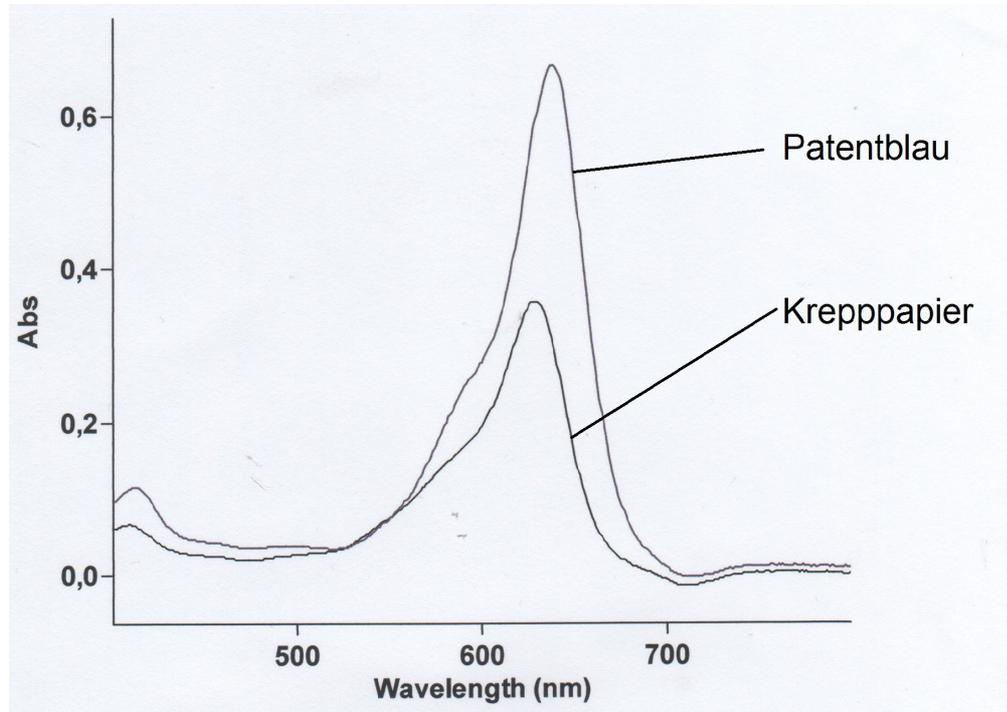


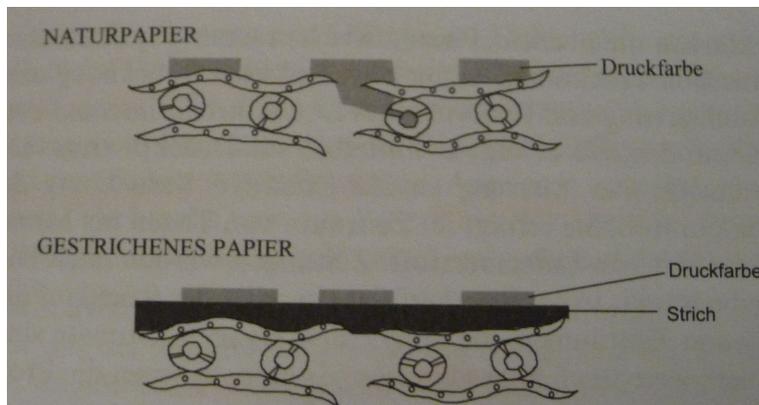
Abbildung 4: Spektren von der blau gefärbten Lösung und Patentblau

## Ergebnis

Die beiden Spektren weisen eine enorme Ähnlichkeit auf. Trotz der Abweichung der Maxima um 10 nm kann man davon ausgehen, dass die Vergleichssubstanz Patentblau (V) im Papier enthalten ist. Möglicherweise wurden in geringen Mengen noch andere Farbstoffe zugegeben, um das Farbergebnis zu optimieren.

## 6 Bedruckte Papiere

Die Druckfarbe wird auf das fertige Papier oberflächlich aufgebracht; der Papiergrund bleibt weiß. Dabei ist zu beachten, dass die Farbe nicht immer gleich auf dem Papier haftet. Die Wechselwirkung zwischen Druckfarbe und Papier wird von der Struktur des Papiers beeinflusst. Zwischen ungestrichenen Naturpapieren (Fasern+Füllstoff), wie z.B. Zeitungsdruckpapier und gestrichenen Papieren, wie z.B. LWC-Papier für Kataloge und Zeitschriften kann man klare Unterschiede erkennen.



**Abbildung 5: Farbhafteung auf dem Papier**

Bei *ungestrichenen Papieren* setzt sich die Druckfarbe adsorptiv an der Faseroberfläche fest und dringt dabei in die interfibrillären Zwischenräume. Unter Umständen kann es auch zu einem Eindringen der Farbe in das Lumen<sup>1</sup> kommen. Dies geschieht vor allem dann, wenn die Viskosität der Druckfarbe ausreichend niedrig ist (z.B. Tiefdruck) und führt zum Verlaufen längs der Faser.

Bei *gestrichenen Papieren* dagegen bleibt die Druckfarbe größtenteils auf der Papieroberfläche/Strichschicht haften, wodurch es zu keinem Faserkontakt kommen kann, sondern lediglich zu einem leichten Eindringen in die Strichschicht.

Die Entfernung der Druckfarbe spielt bei der Altpapierwiederverwertung eine große Rolle. [8]

<sup>1</sup> Faserhohlraum

## 6.1 Deinking- Entfernung der Druckfarbe

### 6.1.1 Allgemeines

Deinking ist das englische Wort für Druckfarbenentfernung (von engl.: ink = Tinte, Druckfarbe; de = entfernen). [9] Das Deinking ist einer der Hauptprozesse bei der Altpapieraufbereitung um Druckfarbe vom gebrauchten Papier zu entfernen. Das Ziel bei diesem Verfahren besteht darin, dass man aus farbig bedruckten Zeitschriften, Illustrierten, Magazine usw. wieder einen vollwertigen Papierstoff (= Sekundärstoff), mit hohem Weißgrad, herstellen möchte. Wird die Druckfarbe bei der Regeneration nicht entfernt, erhält man nur eine schmutziggraue Masse, die auch durch Bleiche nicht weiß werden würde. Man erhält graues bis grünstichiges Papier, aus dem man Umweltpapier für Fotokopierer, Verpackungspapiere oder Papierhandtücher herstellt. [10] Das Deinking hat durch die heute vielfach farbig bedruckten Zeitschriften, Illustrierten, Magazine an Bedeutung gewonnen. Bekannt war es aber bereits 1918. Der Ursprung des Deinking-Verfahrens ist auf eine Entdeckung von Justus Claproth im Jahr 1774 zurückzuführen, bei der die Druckfarbe aus gedrucktem Papier (mit Terpentinöl und Wascherde) heraus gewaschen wurde. Jedoch eignete sich das Recycling Papier lediglich zur Produktion von minderwertigem Karton. Mit dem Einsatz der Flotation<sup>2</sup> für die Druckfarbenentfernung von Papier in den 1950er Jahren erzielte man einen Papierstoff, der sich zur Produktion von Zeitungs- und Hygienepapieren eignete. [11][12]

### 6.1.2 Deinking-Prozess

Dabei handelt es sich um eine „Wäsche“ der Fasern. Beim Deinking laufen mehrere Prozesse ab. Allein mit chemischen Mitteln lässt sich die Druckerschwärze (Ruß) nicht aus dem Papier entfernen, da der Farbkörper Ruß als reiner Kohlenstoff der Auflösung mit Chemikalien widerstrebt. Die Technik der

---

<sup>2</sup> ist ein physikalisch-chemisches Trennverfahren für feinkörnige Feststoffe aufgrund der unterschiedlichen Oberflächenbenetzbarkeit der Partikel

---

„Untersuchungen zu Papierhilfs- und -zusatzstoffen“

---

Altpapierregeneration läuft deshalb meist darauf hinaus, den durch Weglösen des Bindemittels von den Fasern gelockerten Ruß mechanisch zu entfernen. [13] *Als erster Schritt* erfolgt beim Deinking das Ablösen der Druckfarbe von den Fasern. Es gilt die Bindungen zwischen beiden Stoffen so weit wie möglich aufzubrechen. *Als zweiter Schritt* das Abtrennen der Druckfarbe. Die Ablösung der Druckfarbenteilchen gelingt durch alkalische Quellung in Kombination mit wirkenden mechanischen Kräften im Stofflöser (Pulper<sup>3</sup>). Durch die Quellung kommt es zu einer Oberflächenerweiterung; die Druckfarbenbindemittel können der Dickenänderung der Faser in der Regel nicht folgen, so dass es zum Platzen des Druckfarbenfilms kommt. Der Kontakt zur Faseroberfläche wird geschwächt. Andererseits werden noch Chemikalien (u.a. Tenside) hinzugegeben, welche dann die abgetrennten Farbteilchen umhüllen, so dass diese frei in der Suspension neben den Fasern schwimmen können.

Bei der *Flotation* wird der Suspension Luft zugeführt und die abgelösten Druckfarbenpartikel werden zum Flotieren gebracht. Die wasserabstoßenden, geflockten Druckfarbenpartikel lagern sich mit der Seife an die Luftbläschen an, steigen an die Wasseroberfläche und können dort als Schaum abgesaugt oder abgeschöpft werden. Diese Reinigungsmethode nutzt die unterschiedliche Benetzbarkeit von Druckfarbe und Papierfaser aus. Die meisten Anlagen arbeiten nach dem Flotationsprinzip.

Bei der Entfernung mittels *Wäsche* wird die Stoffsuspension über mehrstufige Wäscher geführt, wo die Druckfarbenpartikel mehr oder weniger ausgewaschen werden.

Das Deinking bereitet oftmals Probleme und ist nicht immer als einfach zu bezeichnen. [14] Die Farbstoffe in den modernen Papieren sind im Gegensatz zu

---

<sup>3</sup> großer Rührbottich, der in der Papierindustrie genutzt wird, um [Altpapier](#) oder Zellstoff aufzulösen

früher, als Papier nur mit Druckerschwärze(Ruß) bedruckt war, zum Teil auf hohe Stabilität und starke Haftung gezüchtet. Farben, die das Fasermaterial, Innere des Lumens, und das Wasser färben, sind nicht für den Deinkingprozess geeignet. Dies bereitet folglich erhebliche Probleme beim Recycling. Schon geringe Mengen von Zeitungen mit Flexodruck führen zu einem schlechten Weißgrad. Die Druckfarbenpartikel sind zu klein und nicht hydrophob, deshalb funktioniert bei ihnen der Flotationsprozess nicht. Ob ein Papier für das Recycling geeignet ist, wird oft von der Deinkbarkeit abhängig gemacht. [11] Natürlich gibt es auch Farbaufdrucke, die schon durch mechanische Behandlung und Kochen abtrennbar sind. Dabei haftet die Druckfarbe meist auf einer Strichschicht. Da diese im Vergleich zum Faservlies relativ spröde ist, platzt sie beim Zerfasern des Altpapiers gemeinsam mit der Druckfarbe ab. Die Fasern sind praktisch nicht mit Druckfarbe verunreinigt.

„Unter Laborbedingungen liefert die Flotation gestrichener Papiere ohne Bleiche (...) so Weißgradsteigerungen zwischen 10% und 14% absolut, während beim Deinken von Zeitungsdruckpapieren nur Differenzen von 4 ... 6% erreicht werden.“<sup>4</sup>[15]

Durch die moderne Technologie kann es sogar vorkommen, dass das Papier beim De-Inken so hell wird, dass es nicht mehr als Umweltpapier durchgeht und von den Herstellern daher wieder grau eingefärbt wird. [10]

### 6.1.3 Papierchemikalien

Die klassische Deinking-Rezeptur eignet sich zur Entfernung von Offset- und Tiefdruckfarben. Deinking-Rezepturen enthalten Natronlauge, Natronwasserglas, Wasserstoffperoxid und ein Tensid (waschaktive Substanzen). Diese Chemikalien unterstützen das Auflösen des Altpapiers und bewirken zusammen mit der mechanischen Beanspruchung, dass sich die Druckfarbe von den Fasern löst. Die nötigen Chemikalien werden üblicherweise schon bei der Zerfaserung des Altpapiers, im Pulper oder in der Trommel zugegeben. Der aufgelöste Altpapierstoff lagert nach der Zerfaserung meist einige Zeit in großen Bütten um die Wirkung der Chemikalien voll auszunutzen, bevor er gereinigt und deinkt

---

<sup>4</sup> BLECHSCHMIDT (2013), S.183

---

„Untersuchungen zu Papierhilfs- und -zusatzstoffen“

---

wird. Das enthaltene Alkali begünstigt die Faserquellung. Die Faseroberfläche vergrößert sich dabei um bis zu 30%. Die Druckfarbenbindemittel können dieser Formänderung nicht folgen, so dass der Druckfarbenfilm aufbricht und der Kontakt zum Papier gelockert wird. [8] Gerade holzhaltiges Altpapier vergilbt unter der Einwirkung der Natronlauge leicht, deshalb wird hier auch schon Wasserstoffperoxid zugesetzt. Dieses Bleichmittel wirkt einer Vergilbung der Fasern entgegen, unterstützt die Ablösung der Druckfarben und kann zusätzlich einen Bleicheffekt bewirken (= oxidative Farbzerstörung). Da Peroxid leicht von Schwermetallionen zersetzt wird benötigt man zusätzlich ein Peroxid-Stabilisator. Dazu dient Wasserglas (Natriumsilikat). Es unterstützt außerdem die Druckfarbenablösung und die Druckfarbenentfernung bei der Flotation. Die Aufgabe der Tenside (waschaktiven Sammler) ist es, die Druckfarbe von der Faser zu lösen, anschließend die Druckfarbenteilchen an sich zu binden und bei der Flotation für die Anlagerung an die Luftblasen zu sorgen, so dass sie an der Oberfläche abgeschöpft werden können. Dadurch wird eine Rückfällung der Druckfarbe auf die Faseroberfläche verhindert. Tenside beim Deinking benötigen hartes Wasser, mindestens 10 °dH. Gegebenenfalls werden Calciumionen zugesetzt. Um höhere Weißgrade zu erzielen, wird an den eigentlichen Deinking-Prozess noch eine Nachbleiche angeschlossen. Dabei können sowohl reduzierende (Natriumdithionit) als auch oxidierende (Wasserstoffperoxid) Bleichmittel angewendet werden. [16] [11]

## 6.2 Versuche

### 6.2.1 Versuchsreihen

#### Materialien (gilt für alle Versuche dieser Reihe)

Bechergläser oder sonstige Glasbehälter, Wasser, Oxidierender Reiniger (Vanish Oxi Action), Chlorreiniger (DanKlorix), Dithionithaltiger Reiniger (Heitmanns Power Entfärber), Soda (Heitmanns Reine Soda), Citronensäure (Heitmanns Reine Citronensäure) und das zu prüfende Papier.

#### Durchführung

##### 1. Vorbereitung

Das Papier wird in Schnipsel geschnitten (ungefähre Größe: 4x4 cm) und je einer auf ein Becherglas verteilt.

##### 2. Versetzen des Papiers mit der Lösung

Je eine Probe davon wird mit ca. 25 mL Wasser versetzt. Es wird von den Feststoffen (Citronensäure, Soda und Dithionithaltiger Reiniger) je zwei Spatelspitzen zum Papier gegeben. Von den flüssigen Reinigern (Chlorreiniger und Oxidierender Reiniger) wird jeweils 5mL zum Wasser hinzugegeben.

Dithionithaltiger Reiniger (Heitmanns Power Entfärber)  Festes Pulver	Es werden 2 Spatelspitzen des Reinigers in ca. 25 mL Wasser aufgelöst und zum Papier gegeben.
Chlorreiniger (DanKlorix)  Flüssigreiniger	Es wird eine 1:1 verdünnte Lösung des flüssigen Chlorreinigers auf das Papier gegeben. Hier wurde jeweils mit ca. 25 mL Lösung gearbeitet.
Oxidierender Reiniger (Vanish Oxi Action)  Flüssigreiniger	Es wird eine 1:1 verdünnte Lösung des flüssigen Oxi-Reinigers auf das Papier gegeben. Hier wurde jeweils mit ca. 25 mL Lösung gearbeitet.

---

 „Untersuchungen zu Papierhilfs- und -zusatzstoffen“
 

---

Citronensäure * (Heitmanns Reine Citronensäure)  Festes Pulver	Es werden 2 Spatelspitzen Citronensäure und ca. 25 mL Wasser zum Papier gegeben.	Es werden 2 Spatelspitzen Citronensäure in 100 mL der farbigen Lösung gegeben.
Soda * (Heitmanns Reine Soda)  Festes Pulver	Es werden 2 Spatelspitzen Soda und ca. 25 mL Wasser zum Papier gegeben.	Es werden 2 Spatelspitzen Soda in 100 mL der farbigen Lösung gegeben.

**Blau bedrucktes Papier****Beobachtungen**

Wasser	Löst sich im Wasser gut
Soda	Kein Unterschied zum Wasser
Citronensäure	Kein Unterschied zum Wasser
Chlorreiniger	Kein Unterschied zum Wasser
Dithionit	Verfärbung nach Lila
Oxireiniger	Kein Unterschied zum Wasser

**Ergebnis**

Die Farbe löst sich im Wasser gut, was sich im sauren oder basischen Milieu sich auch nicht ändert. Auch mit oxidierenden und reduzierenden Bleichmitteln ist kein Unterschied erkennbar.

---

 „Untersuchungen zu Papierhilfs- und -zusatzstoffen“
 

---

**Ikeakatalog****Beobachtungen**

Wasser	Löst sich nicht
Soda	Löst sich nicht
Citronensäure	Löst sich nicht
Chlorreiniger	Löst sich nicht
Dithionit	Löst sich nicht
Oxireiniger	Löst sich nicht

**Ergebnis**

Die Farbe löst sich weder im Wasser noch im sauren oder alkalischen Milieu.

Auch mit oxidierenden und reduzierenden Bleichmitteln ist kein Unterschied erkennbar.

**Zeitungspapier****Beobachtungen**

Wasser	Löst sich nicht
Soda	Löst sich nicht
Citronensäure	Löst sich nicht
Oxireiniger	Löst sich nicht
Chlorreiniger	Löst sich nicht
Dithionit	Löst sich nicht

**Ergebnis**

Die Tinte löst sich weder im Wasser noch im sauren oder alkalischen Milieu. Mit oxidierenden und reduzierenden Stoffen löst sich die Farbe auch nicht.

## 6.2.2 Versuche zum Deinking

### Versuch 1: Deinking von Altpapier [17]

#### Materialien

Wasserstoffperoxid (w = 30 %), Natronlauge (c = 0,5 mol/L), Becherglas, Glasstab, Nutsche oder Trichter mit Filterpapier, Brenner, Dreifuß

#### Durchführung

Eine Zeitung (z.B. Bildzeitung) wird in kleine Stücke gerissen, in ein Becherglas gegeben und mit etwa 100-200 mL NaOH (c=0,5 mol/L) versetzt. Man rührt den „Brei“ um und kocht es für einige Minuten. Es empfiehlt sich das Einweichen über Nacht, da es den Vorgang des Deinking beschleunigt. Anschließend teilt man die Probe und versetzt die eine Hälfte mit etwa 10 mL Wasserstoffperoxid (w= 30%) und erwärmt. Die Mischung kann dabei stark aufschäumen! Schließlich wird die Papiermasse abfiltriert, mit Wasser neutral gespült und getrocknet.

#### Beobachtung

Nach der Zugabe von Wasserstoffperoxid-Lösung zum braun/grauen Altpapierbrei ist eine deutliche Aufhellung nach ca. 10 Minuten zu beobachten. Es sind deutliche Unterschiede der beiden Proben zu erkennen: Die Hälfte mit Wasserstoffperoxid-Zusatz wandelt sich dabei zu einer gräulichen Papiermasse um und erinnert im trockenen Zustand an die grauen Einmal-Handtücher auf Toiletten.



**Abbildung 6: vorher/ nachher**

### **Erklärung**

Durch die Zugabe von Wasserstoffperoxidlösung (Oxidationsmittel) zu alkalischem Milieu wird ein Bleicheffekt bewirkt. Es entsteht dabei aktiver Sauerstoff:



Dieser Bleichvorgang ist lediglich ein Teilschritt des klassischen Deinking; das Ergebnis ist daher noch nicht zufriedenstellend und kann optimiert werden.

Bemerkung: Dieser Versuch kann außerdem mit farbigem Druckerpapier durchgeführt werden. Dabei ist jedoch keine Veränderung/Aufhellung zu beobachten. Das liegt an der „Einarbeitung der Farbe *in* das Papier“.

Im nächsten Versuch soll das „klassische Deinking“ mit der chemisch-mechanischen Reinigung veranschaulicht werden.

## **Versuch 2: Versuch Deinking von Zeitungspapier [18]**

### **Materialien**

Natriumhydroxid, Ölsäure, Wasserglaslösung (Natriumsilikatlösung), Wasserstoffperoxid(w= 30 %), Calciumhydroxid, Magnetrührer mit großem Rührfisch, Becherglas/Erlenmeyerkolben, Uhrglas, Büchnertrichter mit Saugflasche

### **Durchführung**

Zunächst muss eine a) Seifenlösung, b) Bleichlösung, c) Wasser für den Deinking-Prozess hergestellt werden

a) Seifenlösung: Es werden 10 g Natriumhydroxid-Plätzchen in Wasser gelöst, dazu werden anschließend 5 g Ölsäure und nach 10 Minuten 15 g Wasserglaslösung gegeben. Anschließend wird die Seifenlösung auf 1 L aufgefüllt.

b) Bleichlösung: 10 mL Wasserstoffperoxid-Lösung (w=30%)

c) Wasser: Es werden 175 mg Calciumhydroxid auf 1 L mit demineralisiertem Wasser aufgefüllt. Härte von 2,5 mmol/L.

2 g Zeitungspapier (z.B. Bildzeitung) werden in kleine Stücke gerissen, in ein Becherglas gegeben und mit 80 mL Wasser, 10 mL Bleichlösung und 70 mL Seifenlösung versetzt. Das Gemisch wird für 90 Minuten bei 40° C belassen und auf dem Magnetrührer gerührt. Es kann dabei immer wieder etwas Wasser zur Suspension dazugegeben werden. Anschließend kann der sich bildende Schaum mit einem Gummiwischer oder einem Spatel abgefangen und entfernt werden. Nach bestmöglicher Abnahme der Farbstoffpartikel am Schaum durch den Gummiwischer wird „der Brei“ abgenutscht und getrocknet. Um den Weißgrad nochmals zu steigern kann im Nachhinein noch etwas an Wasserstoffperoxid-Lösung zugegeben werden.

### Beobachtung

Zunächst kann man beim Herstellen der Seifenlösung eine Klumpenbildung erkennen, die sich erst durch längeres Stehen lassen vollständig auflösen lassen. Beim Rühren des Zeitungspapiers bildet sich langsam ein grauer, faseriger Altpapierbrei. Außerdem ist ein starkes Aufschäumen zu beobachten.

Mit der Zeit ist eine deutliche Trennung zu erkennen; der untere Teil der Suspension wird zunehmend heller und an der Oberfläche sammeln sich die grauen/schwarzen Druckfarbenpartikel; zunächst als kleine Partikel, die immer größere Agglomerate bilden. Durch die erneute Zugabe von Wasserstoffperoxid-Lösung wird der Weißgrad gesteigert. Die Druckfarbenpartikel konnten auf diese Weise fast vollständig entfernt werden.



Abbildung 7: Ansammlung der Druckfarbenpartikel an der Oberfläche



**Abbildung 8: Abnutschen des „gewaschenen“ Faserbreis**

### **Erklärung**

Es findet eine Trennung von hydrophoben Druckfarbenpartikeln und der hydrophilen Umgebung statt. Die unterschiedliche Benetzbarkeit der einzelnen Bestandteile ist für die Trennung verantwortlich. Durch die Zugabe von Natronlauge kommt es zu einer Quellung der Fasern mit einer Oberflächenerweiterung zur Folge. Dabei bricht der Druckfarbenfilm Stück für Stück auf und die Bindungen der beiden Stoffe werden weitestgehend aufgebrochen. Unterstützt wird das Ganze durch die mechanisch wirkenden Kräfte (Rühren). Tenside verhindern dabei die Rückfällung der abgelösten Druckfarbe auf die Faseroberfläche. Das Calcium bildet eine Brücke zwischen Druckfarbenoberfläche und Tensid.

## **7      Gegenüberstellung von ungeleimten und geleimten Papieren**

---

„Untersuchungen zu Papierhilfs- und -zusatzstoffen“

---

Ein *ungeleimtes* Papier besteht aus hydrophilen, von Wasser gut zu benetzenden Faserstoffen, Füllstoffen und feinsten Hohlräumen. Solche Papiere saugen die Tinte wie ein Schwamm auf; sie sind schlecht beschreibbar und nur schwer zu bedrucken. Wasser/Tinte kann ungehindert eindringen. [19] Die Hydroxylgruppen der Cellulose bilden Wasserstoffbrückenbindungen mit dem Wasser aus. Außerdem bilden die Fasern ein Kapillarsystem mit vielen Hohlräumen, so dass das Papier sehr saugfähig ist. Bei Löschpapieren und Hygienepapieren, wie Küchenkrepp oder Toilettenpapier, ist dieser Effekt oft erwünscht (=ungeleimte Papiere).

Die Leimung von Papieren ist ein altbekanntes Verfahren, um die Saugfähigkeit der Papiere zu steuern. Sie dient der Hydrophobierung der Fasern, d.h. sie verhindert oder bremst das Eindringen von Wasser in den Faservlies. Außerdem werden die vorhandenen Hohlräume zwischen den Fasern soweit wie möglich ausgefüllt. Das Papier erhält dadurch die gewünschten Eigenschaften Beschreibbarkeit und Bedruckbarkeit. [20] Dabei ist es wichtig, dass das Papier einen Teil der Saugfähigkeit beibehält. Sonst wäre es vollständig hydrophobiert und nicht beschreibbar; die Tinte würde abperlen und verwischen. (= Effekt einer Überleimung). [18]

Die Moleküle des Leimungsmittels enthalten dabei sowohl einen hydrophilen als auch einen hydrophoben Molekülabschnitt. Der hydrophile Teil (Carboxylgruppen) bindet sich an die Fasern, der Hydrophobe bildet eine neue Oberfläche aus. Eine Angabe über das Ausmaß der Leimung gibt der Leimungsgrad. Dieser muss je nach Verwendungszweck des Papiers unterschiedlich gewählt werden. Falls nicht direkt eine chemische Verknüpfung erfolgen kann, muss ein Fixiermittel zugegeben werden, welches die Bindung der Leimstoffe an die Fasern ermöglicht. Dazu müssen sie Gruppen besitzen, die unter den Bedingungen der Papierherstellung mit OH-Gruppen reagieren können. [2]

Um zu testen ob und wie gut das Papier geleimt ist kann man ein Wassertropfen oder ein Tintenstrich auf das Blatt auftragen. Umso größer der Kontaktwinkel des

Tropfens auf dem Papier ist, desto wasserabstoßender ist das Papier. Bei einer optimalen Papierleimung beträgt der Kontaktwinkel etwa  $90^\circ$ . [21]

## 7.1 Geschichtliches

Leimungsmittel gehören zu den Hilfsstoffen, die schon sehr früh in der Entwicklung der Papierindustrie eingesetzt wurden, um Papier beschreibbar zu machen. Die älteste Art der Papierleimung war das Eintauchen von Papieren in Lösungen von möglichst ungefärbtem Tierleim. Tierische Leime (in Form von Gelatine und Stärkemehl/Eiweißen) stellte man aus Abfällen von Gerbereien und Schlachthöfen her (Häute, Knochen, Knorpel usw.) Aus dieser historischen Praxis leitet sich auch die Bezeichnung „Leimung“ her, welche nichts mit „Kleben“ zu tun hat und somit nicht missverstanden werden darf. [22] Die geleimten Papierbögen mussten anschließend zum Trocknen aufgehängt werden. Geleimt werden konnte nur im Frühjahr oder Herbst. Im Sommer trocknete Papier zu rasch und die Leimhaut wurde rissig, im Winter trocknete es zu langsam und wurde modrig. Weil man dabei das bereits fertige Papier in eine Tierleimlösung tauchte und sich oberflächlich mit einer dünnen tierischen Leimschicht überzog, bezeichnete man dieses Verfahren als *Oberflächenleimung*. In der Zeit der Maschinenfabrikation wurde die umständliche Oberflächenleimung durch die vorteilhaftere Leimung im Stoff bzw. Masse verdrängt und wird heute nur noch in Sonderfällen angewendet. Eine alleinige Oberflächenleimung kommt heute deshalb nicht mehr in Frage, weil bei dieser lediglich die beiden Papierseiten mit einer Leimhaut überzogen werden. Würde man darauf radieren oder das Papier knittern käme es recht schnell zu einer Verletzung der Papieroberfläche, was zur Folge hat, dass das Papier nicht mehr tintenfest ist. Sofern man die Oberflächenleimung anwendet, arbeitet man deshalb fast ausschließlich mit doppelter Leimung, d.h. in der Masse vorgeleimte Papiere werden dann zusätzlich noch mit einer nachträglichen Oberflächenleimung versehen. Da sich die Oberflächenleimung teurer stellt, als die Leimung im Stoff, bringt man eine doppelte Leimung nur bei besonders wertvollen Papieren wie Dokumentenpapieren, Banknotenpapieren zur Anwendung. Sie verleiht dem

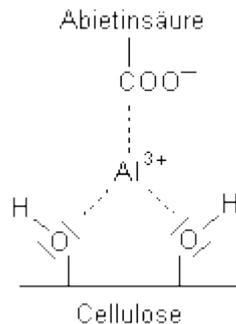
---

**„Untersuchungen zu Papierhilfs- und -zusatzstoffen“**

---

Papier erhöhte Festigkeit, vermehrte Radierfähigkeit, besseren Klang und gute Oberflächenbeschaffenheit und muss als eine besondere Art der Veredelung angesehen werden. Die neuzeitliche Papierfabrikation wäre ohne die Leimung im Stoff schwer denkbar. Zu verdanken hat man dies dem Erfinder Illig, der die Harzleimung um 1807 in die Papierindustrie einführte. Mit der bisherigen tierischen Oberflächenleimung wäre man bei der Maschinenfabrikation nicht erfolgreich. Versuche zeigten, dass die dem Papierstoff zugesetzte tierische Lösung sich mit dem Siebwasser entfernt, ohne an den Fasern zu haften. Die Wirkungsweise bei der Leimung im Stoff ist eine andere, als bei der Oberflächenleimung, bei der man durch ein Verschließen der Poren das Papier beschreibbar machte. Bei der Leimung im Stoff wird jede Einzelfaser mit einer Schicht feiner wasserabstoßender Leimungsteilchen bedeckt und dadurch tintenabweisend.

Bei der Harzleimung gibt man modifizierte (durch Kochen mit Lauge verseifte) Baumharze zur Fasersuspension hinzu. Hauptvertreter sind die Abietinsäure aus Kolophonium und Levopimarinsäure. Die Säure selbst haftet zu wenig auf dem Papier und wird deshalb in Harzseifen überführt (Salze der Harzsäuren). Die Harzsäuren bzw. deren Salze sind überwiegend hydrophob, haben aber mit ihren Carboxylgruppen auch hydrophile Anker. [23] Diese Harzseifen bilden mit Aluminiumionen Komplexe und werden auf der Cellulosefaser fixiert. Dazu eignet sich Alaun, welches schon zuvor in der Textilfärberei und Ledergerbung als Fixiermittel diente. Im Laufe der Zeit ersetzte man Alaun- das Kaliumaluminiumsulfat- durch das billigere und wirksamere Aluminiumsulfat. Der Papiermacher heutzutage spricht jedoch auch bei dieser Verbindung aus Tradition von Alaun. [20]



**Abbildung 9: Wirkung von Al<sup>3+</sup>-Ionen**

Das Problem bei diesem Verfahren ist, dass es nur bei einem sauren pH-Wert angewendet werden kann, da das Aluminiumsulfat nur dann mit positiver Ladung vorliegt und sich somit sowohl an die Hydroxylgruppen der Celluloseketten als auch an die Säuregruppen der Abietinsäure anlagern und diese miteinander verbinden kann. Dies hatte zur Folge, dass die Papiere nicht alterungsbeständig sind und mit der Zeit braune Stockflecken und einen säuerlichen Geruch bekommen. Unter Zutritt von Luftfeuchte (Hydrolyse) bilden die Aluminiumsalze Schwefelsäure, welche das Papier von innen heraus schädigt. Die dabei ablaufende Reaktion lautet folgendermaßen:



Die niedrigsten pH-Werte wurden zwischen 1850 und 1920 angewendet. [24][25] Es wurden seit Mitte des 20. Jahrhunderts neue Verfahren zur Leimung entwickelt, die sogenannte Neutralleimungsverfahren. Bei diesen Verfahren kann im neutralen Bereich gearbeitet werden; die Naturharze werden dabei gezielt modifiziert. Die häufigsten Mittel zur Neutralleimung sind ASA (Alkenylbernsteinsäureanhydrid) und AKD (Alkylketendimer). Die Wirkung des ASA-Mittels beruht auf der Veresterung der Bernsteinsäureanhydrid-Gruppe mit den OH-Gruppen der Cellulose. Dabei handelt es sich um kovalente Bindungen, wofür man kein Fixiermittel benötigt. Benötigt werden kann dagegen ein Schutzkolloid, meistens in Form von Stärke, da das ASA-Mittel zur Hydrolyse mit Wasser neigt. [25][2][22] Stärke wird gerne in Kombination mit Leimungsmitteln eingesetzt und dient zur Erreichung einer höheren Festigkeit im Blattgefüge.

## 7.2 Versuche

### 7.2.1 Prüfung auf Leimungsmittel

Vergleich eines ungeleimten und geleimten Papiers.

#### Materialien

Ungeleimtes Papier (Küchenrolle/Toilettenpapier), geleimtes Papier (weißes Druckerpapier), Iodlösung, Kaliumpermanganat-Lösung, Soda, Essigsäure, Filter, 8 Bechergläser oder sonstige Glasbehälter, Brenner, Dreifuß, Glasstab, Pipette

#### Durchführung

Es wird jeweils von einem ungeleimten Papier (Küchenrolle/Zewa) und einem geleimten Papier (weißes Druckerpapier) ein Kaltextrakt und ein Warmextrakt (bei etwa 30 -40 °C) hergestellt. Das Papier(1x ungeleimt, 1x geleimt) wird in kleine Stücke geschnitten, in ein Becherglas gegeben und mit jeweils 200 mL Wasser versetzt, eine halbe Stunde lang extrahiert und filtriert. Anschließend teilt man die Extrakte jeweils auf 4 Bechergläser auf, sodass in jedem Becherglas etwa 50 mL Extrakt sind und versetzt diese wie folgt:

- Extrakt + Iodlösung (tropfenweise mit Pipette)
- Extrakt + Kaliumpermanganat-Lösung\* (sauer: Essigsäure) (tropfenweise mit Pipette)
- Extrakt + Kaliumpermanganat-Lösung\* (alkalisch: Soda) (tropfenweise mit Pipette)
- Extrakt + Kaliumpermanganat- Lösung\* (tropfenweise mit Pipette)

\*Anmerkung: Kaliumpermanganat-Lösung,  $c(1/5 \text{ KMnO}_4) = 0,01 \text{ mol/L}$

Die Extrakte wurden auf insgesamt 8 Bechergläser verteilt.

#### Beobachtung

#### Kaltextrakt

---

 „Untersuchungen zu Papierhilfs- und -zusatzstoffen“
 

---

	<b>Ungeleimtes Papier</b>	<b>Geleimtes Papier</b>
<b>+ Iodlösung</b>	Keine Violettfärbung	Entsteht Violettfärbung, welche aber sofort wieder verschwindet
<b>+ Kaliumpermanganat (sauer)</b>	Entfärbung durch Erwärmen	Rosafärbung, die in der Hitze wieder verschwindet
<b>+ Kaliumpermanganat-Lösung (alkalisch)</b>	Keine Entfärbung; Braunstein ( $MnO_4$ ) bildet sich	Entfärbung
<b>+ Kaliumpermanganat-Lösung</b>	Keine Entfärbung	Entfärbung

**Warmextrakt**

	<b>Ungeleimtes Papier</b>	<b>Geleimtes Papier</b>
<b>+ Iodlösung*</b>	Keine Violettfärbung	Entsteht Violettfärbung, welche aber sofort wieder verschwindet
<b>+ Kaliumpermanganat (sauer)</b>	Rosafärbung	Rosafärbung, durch Erhitzen Entfärbung
<b>+ Kaliumpermanganat-Lösung (alkalisch)</b>	Zunächst Rosafärbung, dann Entfärbung	Braunstein bildet sich
<b>+ Kaliumpermanganat-Lösung</b>	Farbverringering: Leicht bräunliche Lösung	Farbverringering: Leicht orangene Lösung

\* Anmerkung: Die Iodlösung darf erst zugeben wenn der Extrakt abgekühlt ist.

**Erklärung**

Sowohl bei Iodlösung als auch bei Kaliumpermanganat handelt es sich um Oxidationsmittel. Bei diesen Versuchen wurde das Papier also auf oxidierende Stoffe getestet. Dabei ist ein mehr oder weniger klarer Unterschied zwischen ungeleimtem und geleimtem Papier erkennbar. Eindeutig erkennbar ist dieser nach Zugabe von Iodlösung zum Extrakt; die Violettfärbung verschwindet beim geleimten Papier wieder; beim ungeleimten Papier kommt es zu keiner Violettfärbung. Iod-Lösung dient zum Stärkenachweis und als Oxidationsmittel. Bei Kaliumpermanganat fallen die Versuchsergebnisse nicht immer ganz

eindeutig aus. Im alkalischen Medium werden Permanganat-Ionen durch Reduktionsmittel zum Braunstein reduziert; im Säuren tritt dagegen eine Entfärbung des Kaliumpermanganats auf. Ein weiteres Indiz ist die unterschiedliche Farbe der Lösung nach Zugabe von Kaliumpermanganat im „neutralen Medium“ (Warmextrakt).

### **Bemerkung**

Wenn man mit einem Füller oder einem anderen „flüssigen“ Stift auf Druckerpapier, Zewa und Toilettenpapier schreibt, erkennt man relativ schnell am Verlaufen der Tinte, welches der drei Papiere wirklich zum Beschreiben und Bedrucken geeignet ist. Auf diese Weise lässt sich die Leimung bzw. fehlende Leimung eines Papierses simpel nachweisen.

## **7.2.2 Stärkenachweis am ungeleimten/geleimten Papier**

### **Spot-Test**

#### **Materialien**

Pasteurpipette, Druckerpapier/Filterpapier, Iodlösung, Betaisodona<sup>®</sup>-Lösung, Betaisodona<sup>®</sup>-Salbe (erhältlich in der Apotheke)

#### **Durchführung**

*Iodlösung/ Betaisodona<sup>®</sup>-Lösung:*

---

 „Untersuchungen zu Papierhilfs- und -zusatzstoffen“
 

---

Zunächst verdünnt man wenige Tropfen der Lösungen, da diese etwas zu konzentriert sind (im Verhältnis etwa 1:10, eventuell noch weiter verdünnen). Anschließend gibt man mit der Pasteurpipette ein Tropfen von der jeweiligen Lösung auf das Papier (weiße Druckerpapier/ Filterpapier).

**Betaisodona®-Salbe:**

Eine Spatelspitze an *Betaisodona®-Salbe* wird zunächst in Wasser gelöst, anschließend gibt man mit einer Pasteurpipette ein Tropfen davon auf das jeweilige Papier.

**Beobachtung**

	<b>Ungeleimtes Papier (Filterpapier)</b>	<b>Geleimtes Papier (weißes Druckerpapier)</b>
<b>+ Iodlösung/ Betaisodona®-Lösung Betaisodona®-Salbe</b>	Keine Violettfärbung	Violettfärbung

**Abbildung 10: Stärkenachweis****Erklärung**

Da sich der Bereich, auf dem die Iodlösung aufgetragen wurde, violett gefärbt hat, ist der Stärkenachweis positiv. Dies trifft bei dem weißen Druckerpapier zu. Der Stärkenachweis war beim Filterpapier negativ, weil keine Farbänderung nach Violett erkennbar war.

Die Form der Stärke ist räumlich gesehen die einer Spirale. Das Iod diffundiert in die Zwischenräume und bildet so eine „Kette“. Diese kettenartige Anordnung des Iods ist für die violette Farbe verantwortlich. Der Versuch funktioniert auch einwandfrei mit Betaisodona®-Lösung und Betaisodona®-Salbe, da diese den Wirkstoff Povidon-Iod enthalten.

## 8 Weitere Untersuchungen auf Zusatzstoffe

### 8.1 Füllstoffe

- **Kalk**

Carbonate wie Kalk ( $\text{CaCO}_3$ ) können schon mit verdünnter Salzsäure als Kohlenstoffdioxid ausgetrieben werden und als schwerlösliches Bariumcarbonat ( $\text{BaCO}_3$ ) qualitativ nachgewiesen werden.

#### **Geräte / Chemikalien**

Verdünnte Salzsäure, Barytwasser (Bariumhydroxidlösung), Gasprüfröhrchen und zu prüfendes Papier (hier wurde weißes Druckerpapier verwendet)

#### **Durchführung**

1. Herstellung eines Papierextraktes

---

„Untersuchungen zu Papierhilfs- und -zusatzstoffen“

---

Das zu analysierende Papier wird in kleine Stücke gerissen und in demin. Wasser gegeben. Dies wird dann ca. 10 Minuten lauwarm gehalten (ca. 30-40°C) und anschließend abfiltriert. Achtung: Der Extrakt sollte so konzentriert wie möglich sein, also sollte nicht zu viel Wasser verwendet werden. Einkochen sollte es aber auch nicht.

Alternativ kann auch direkt ein Stück Papier in das Gasprüfröhrchen gesteckt werden. (Wenn man Pech hat, macht das aber um einiges mehr Arbeit beim Spülen)

### 2. Vorbereitung

Es werden das Barytwasser und die Probe des Extraktes bzw. Papierees in das Gasprüfröhrchen gegeben.

### 3. Zugeben von HCl

Es wird eine verdünnte Salzsäurelösung zum Extrakt bzw. Papier gegeben und das Gasprüfröhrchen mit einem Finger verschlossen, dass das Kohlenstoffdioxid nicht entweicht.

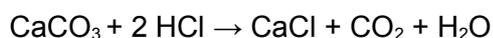
### Beobachtung

Es ist zwar eine Gasentwicklung erkennbar, aber es bildet sich kein schwerlöslicher Niederschlag.

### Ergebnis / Erklärung

Wäre (genug) Kreide im Papier enthalten gewesen, hätte sich ein schwerlöslicher Bariumcarbonat- Niederschlag gebildet. Da dies nicht der Fall ist, ist der Nachweis negativ. Die Gasentwicklung deutet zwar auf die Anwesenheit von Carbonat hin, aber da der Niederschlag nicht ausgefallen ist, kann man nicht sagen, dass Carbonat enthalten war.

Bei Anwesenheit von Carbonat wird dieses als Kohlenstoffdioxid (CO<sub>2</sub>) ausgetrieben:

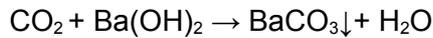


---

„Untersuchungen zu Papierhilfs- und -zusatzstoffen“

---

Wenn das ausgetriebene Kohlenstoffdioxid in Barytwasser geleitet wird, fällt der schwerlösliche Bariumcarbonatniederschlag aus.



- **Gips**

Gips ist nichts anderes als Calciumsulfat, das sich zwar in der Kälte nur schwer löst (2g pro L Wasser), was aber in der Wärme besser löslich ist. Deshalb wird hier wieder mit einem Warmextrakt gearbeitet. (Arbeitsanweisung zum Warmextrakt: siehe 3.1.1.) Calciumsulfat bildet mit Barium ( $\text{Ba}^{2+}$ ) einen weißen schwerlöslichen Niederschlag. Zum vollständigen Lösen von Calciumsulfat hätte man einen Soda-Pottasche-Aufschluss durchführen müssen, was aber mit dem Papier schlecht geht.

### **Geräte/ Chemikalien**

Reagenzglas, Extrakt des zu analysierenden Papiers, Bariumchloridlösung, verdünnte Salzsäure, demin. Wasser

### **Durchführung**

1. Herstellung eines Papierextraktes

Es wird wieder ein Extrakt im warmen verwendet. Zusätzlich werden ca. 5 mL verdünnte Salzsäure zugegeben, um die Löslichkeit von Calciumsulfat zu erhöhen.

2. Zugeben von Bariumchloridlösung und Salzsäure

Die Salzsäure dient nur zur Eliminierung möglicher störender Anionen, die mit Barium ebenfalls einen weißen Niederschlag bilden würden.

### **Beobachtung**

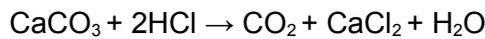
Es bildet sich ein leichter weißer Niederschlag, der gerade so erkennbar ist.

**Ergebnis / Erklärung**

Es bildet sich ein weißer Niederschlag, bei dem es sich um Bariumsulfat handelt. Der Nachweis ist positiv.



Da Calciumcarbonat auch einen weißen Niederschlag bildet, wird eine verdünnte Salzsäure zugegeben, die das Carbonat austreibt.

**9 Schlusswort**

Bei der Arbeit an diesem Thema wurde uns schnell klar, wie viel hinter – oder besser gesagt *in* – dem Papier steckt, welches wir täglich benutzen. Es wurde deutlich gemacht, dass die Papierhilfsstoffe das A und O bei der Papierherstellung sind. Diesen haben wir unter anderem die gewaltige Anzahl an unterschiedlichen Papiersorten zu verdanken. Nicht nur die Funktion und der Preis des Papiers werden verbessert, sondern auch Nachhaltigkeit hat einen immer höheren Stellenwert. So ersetzen die Füllstoffe beispielsweise so weit wie möglich den teuren Zellstoff. Deinking von Altpapier ermöglicht die Wiederverwertung von gebrauchtem Papier, was auch wieder der Natur zugute kommt. Bei der Arbeit an diesem Thema haben wir unter anderem festgestellt, dass es nicht unbedingt einfach ist Farbstoffe vom Papier herunterzulösen. Sowohl die Technologie dahinter als auch die wirkenden Kräfte zwischen Papier und Farbe sind entscheidend hierfür. Andere Hilfsstoffe wiederum sind auf einfache Art im Papier nachzuweisen so z.B. eine ganze Reihe von Füllstoffen, sowie Stärke mittels eines einfachen Spot-Tests. Hätten wir dieses Thema nicht bearbeitet, so wäre uns das wahrscheinlich nie in dieser Deutlichkeit aufgefallen

und Papier wäre für uns etwas Selbstverständliches geblieben. Es war für uns eine Herausforderung sich mit einem neuen Thema selbständig zu befassen und zu experimentieren. Unser Thema war für uns sehr interessant und wir haben beim Bearbeiten dieses Themas viel gelernt. Es ist schade, dass dem Papier nicht mehr Beachtung geschenkt wird, wo es uns doch täglich im Alltag begleitet. An dieser Stelle möchten wir uns nochmals dafür bedanken, das Papier von einer anderen Seite kennen gelernt haben zu dürfen. Außerdem möchten wir auch den Lesern und vor allem Chemieinteressierten Schülern nahelegen, einmal „ins Papier“ zu schauen und zu erkennen, was wirklich dahintersteckt.

## 10 Literaturverzeichnis

- [1][http://www.basf.com/group/corporate/de/function/conversions:/publish/content/about-basf/worldwide/europe/Ludwigshafen/Education/Lernen\\_mit\\_der\\_BASF/images/Experimentieret\\_Papierchemie\\_2012.pdf](http://www.basf.com/group/corporate/de/function/conversions:/publish/content/about-basf/worldwide/europe/Ludwigshafen/Education/Lernen_mit_der_BASF/images/Experimentieret_Papierchemie_2012.pdf) (14.09.13)
- [2] <https://eldorado.tu-dortmund.de/bitstream/2003/27437/2/Dissertation.pdf> (16.01.2014)
- [3]<http://www.zfamedien.de/ausbildung/tutorials/media/7388a1b610eea8a922135fee6bc8d361.pdf> (16.01.2014)
- [4] <http://de.wikipedia.org/wiki/Papier> (01.11.13)
- [5] <http://gws2.de/tonpapier-wissenswertes-zum-bastelmaterial/> (01.02.14)
- [6] [http://www.gruberscript.net/18Farbstoffe\\_Aufheller.pdf](http://www.gruberscript.net/18Farbstoffe_Aufheller.pdf) (01.02.14)
- [7] <http://picture-book.de/papiergeschichte.html> (16.01.2014)

---

„Untersuchungen zu Papierhilfs- und -zusatzstoffen“

---

[8]: BLECHSCHMIDT, Jürgen (2013): Taschenbuch der Papiertechnik, 2.Auflage, München, Carl Hanser Verlag GmbH & Co. KG, 7.6 Reaktivierung von Altpapierstoffen für Produkte mit hohen Anforderungen an Helligkeit und optische Homogenität („Weiße Linie“) S. 181-185

[9] [Deinking.doc - thomasbergenroth.homepage.t-online.de](http://Deinking.doc-thomasbergenroth.homepage.t-online.de) (16.01.14)

[10] [http://www.chemieunterricht.de/dc2/papier/dc2pt\\_6.htm](http://www.chemieunterricht.de/dc2/papier/dc2pt_6.htm) (16.01.14)

[11] <http://de.wikipedia.org/wiki/Deinking> (16.01.14)

[12] [http://de.wikipedia.org/wiki/Justus\\_Claproth](http://de.wikipedia.org/wiki/Justus_Claproth) (16.01.14)

[13] HENTSCHL, Hans (1959): Chemische Technologie der Zellstoff- und Papierherstellung, Berlin, VEB Verlag Technik, Deinking-Entfernung der Druckfarbe

[14] <http://www.papierundtechnik.de/pt/live/archiv/artikel/detail/33163527.html>  
(19.01.14)

[15] BLECHSCHMIDT, Jürgen (2013): Taschenbuch der Papiertechnik, 2.Auflage, München, Carl Hanser Verlag GmbH & Co. KG, 7.6.1 Wechselwirkung zwischen Druckfarbe und Papier S. 183

[16] BAUMANN/HERBERG-LIEDTKE (1994): Papierchemikalien- Daten und Fakten zum Umweltschutz, 1. Auflage, Berlin; Heidelberg; New York; London; Paris; Tokyo; Hong Kong; Barcelona; Budapest, Springer Verlag, 3.3.2 Chemikalien in der Altpapieraufbereitung S. 50-52

[17] [http://www.chemieunterricht.de/dc2/papier/dc2pv\\_12.htm](http://www.chemieunterricht.de/dc2/papier/dc2pv_12.htm) (27.12.2013)

[18] [http://www.chids.de/dachs/expvotr/743Papier\\_Schroeder.pdf](http://www.chids.de/dachs/expvotr/743Papier_Schroeder.pdf) (27.12.13)

[19] BAUMANN/HERBERG-LIEDTKE(1994): Papierchemikalien- Daten und Fakten zum Umweltschutz, 1. Auflage, Berlin; Heidelberg; New York; London; Paris; Tokyo; Hong Kong; Barcelona; Budapest, Springer Verlag, S.63

[20] BLECHSCHMIDT, Jürgen (2013): Taschenbuch der Papiertechnik, 2.Auflage, München, Carl Hanser Verlag GmbH & Co. KG, 8.2.3 Leimungsmittel S. 235-236

---

„Untersuchungen zu Papierhilfs- und -zusatzstoffen“

---

- [21]  
[http://www.basf.com/group/corporate/de/function/conversions:/publish/content/about-basf/worldwide/europe/Ludwigshafen/Education/Lernen\\_mit\\_der\\_BASF/images/Experimentierset\\_Papierchemie\\_2012.pdf](http://www.basf.com/group/corporate/de/function/conversions:/publish/content/about-basf/worldwide/europe/Ludwigshafen/Education/Lernen_mit_der_BASF/images/Experimentierset_Papierchemie_2012.pdf) (16.01.14)
- [22] <http://www.gruberscript.net/17Masseleimung.pdf> (16.01.14)
- [23] HENTSCHL, Hans (1959): Chemische Technologie der Zellstoff- und Papierherstellung, Berlin, VEB Verlag Technik, Leimen des Stoffs, S. 328 f.
- [24] [http://www.chemieunterricht.de/dc2/papier/dc2pt\\_8.htm](http://www.chemieunterricht.de/dc2/papier/dc2pt_8.htm) (19.01.14)
- [25] <http://de.wikipedia.org/wiki/Leimung> (16.01.14)

**11    Abbildungsverzeichnis**

Abbildung 1: Farbiges Papier.....	7
Abbildung 2: Gegenüberstellung von Tonpapier und Buntpapier.....	13
Abbildung 3: Krepppapier vor und nach Entfärbung mit Wasser.....	18
Abbildung 4: Spektren von der blau gefärbten Lösung und Patentblau.....	22
Abbildung 5: Farbhaftung auf dem Papier.....	23
Abbildung 6: vorher/ nachher.....	32
Abbildung 7: Ansammlung der Druckfarbenpartikel an der Oberfläche .....	34
Abbildung 8: Abnutschen des „gewaschenen“ Faserbreis.....	35
Abbildung 9: Wirkung von $Al^{3+}$ -Ionen .....	39
Abbildung 10: Stärkenachweis.....	43

**12    Anhang**

E-Mail Verkehr

Besprechungsprotokolle

„Untersuchungen zu Papierhilfs- und -zusatzstoffen“

---

Begleitblatt zur Projektarbeit

Stundennachweis

Laborjournale