

### **Vorwort zur Musterlösung:**

Unsere Musterlösung soll nur zeigen, wie es auf jeden Fall richtig gewesen wäre. Natürlich haben wir auch abweichende Lösungen gelten lassen, sofern diese richtig waren bzw. begründet wurden.

Wir können auf keinen Fall korrigierte Protokolle zurücksenden oder sonst irgendwie näher auf die Einsendungen eingehen.

## **DECHEMAX-Schülerwettbewerb 2008/2009**

### **„Von Tinten und ihren Geheimnissen“**

„Nun hören Sie mal, Herr Schulz, Sie selbst haben diesen Kreditvertrag unterschrieben“, belehrt ihn der Mitarbeiter des Kreditinstituts A.S. Geier & Co. KG., „das wird Ihnen jedes Gericht bestätigen, verfügen wir doch über ein graphologisches Gutachten“.

Solche Telefongespräche sind selten willkommen, doch beginnen wir von vorn: Karl Schulze hat für den Kauf eines neuen Autos einen Kredit aufgenommen, mit drei Prozent Zinsen ist er zufrieden und hat auch das berühmte „Kleingedruckte“ aufmerksam gelesen. Nun ruft die Bank bei ihm an und mahnt, er habe seine erste Rate nicht vollständig bezahlt. Schließlich habe er den Kreditvertrag mit 13 % Zinsen selbst unterschrieben, sogar ein zweifelsfreies graphologisches Gutachten hat die Bank erstellen lassen. Karl Schulze ist ratlos. Sein Freund Max, der Chemiker ist, wird sofort misstrauisch. Zusammen gehen Karl und Max zur Bank und nehmen den Vertrag unter die Lupe, der den beiden auf Nachfrage mit einem breiten Grinsen des Bankiers gezeigt wird . . .

### **Teil 1: Untersuchung von Schreibfarben / Chromatographie**

*was ihr braucht:*

Wasserglas

Wasser

Benzin (Feuerzeugbenzin, Waschbenzin)

Ethanol (Brennspiritus)

weißes Filterpapier, am besten rundes (z. B. bei Media-Markt für 99 ct )

Farbstifte (schwarz, braun, grün, rot, gelb, blau)

Kreide (Tafelkreide, Schulkreide)



### *Arbeitsanweisung*

Schneidet aus dem Filterpapier runde Scheiben, die so groß sind, dass man sie auf das Getränkglas legen kann und sie deutlich (ca. 2-3 cm) zu den Seiten überstehen oder besorgt euch rundes Filterpapier. Pro untersuchter Schreibfarbe braucht ihr eine von diesen Scheiben. In die Mitte dieser stecht ein Loch mit einem Durchmesser von etwa einem halben Zentimeter. Um das Loch herum mit einem Abstand von etwa 2 mm malt ihr mit der zu untersuchenden Farbe einen Ring. Weiterhin fertigt ihr aus Filterpapier eine Rolle an, die etwa so dick wie ein Strohalm und etwas länger als das Wasserglas hoch ist. Diese Rolle wird in das Loch gesteckt. Füllt nun etwa 1-2 cm Wasser in das Glas und legt eine Scheibe darauf. Ein Ende der Rolle sollte im Wasser liegen. Wenn das Wasser die Außenränder der Scheibe erreicht hat (bzw. kurz davor) müsst ihr die Filterpapiere aus dem Wasser nehmen.

Ein schöneres Ergebnis erhaltet ihr, wenn ihr statt der Filterpapierkonstruktion Kreide in die Flüssigkeit stellt, auf die ihr zuvor in ca 1 cm Abstand vom einen Ende einen Strich mit der zu untersuchenden Farbe gemacht habt. Wichtig ist, dass der Farbstrich so weit vom Ende entfernt ist, dass er nicht im Wasser steht. Erfreulicherweise hat die Kreide vier (lange) Flächen, die ihr verwenden könnt. Nutzt diese Möglichkeit, um die Farbe auf den einzelnen Fläche mit unterschiedlicher Stärke (dünner Strich – dicker Strich – mehrere Striche übereinander) aufzutragen.

Wiederholt den Versuch und ersetzt Wasser durch Waschbenzin und Spiritus

### Fragen zum Versuch:

- i. Beschreibt die Vorgänge und begründet, warum sich bestimmte Schreibfarben in verschiedene Substanzen auftrennen.
- ii. Warum trennen sich nur bestimmte Farben und nicht alle? (sprecht ggf. mit eurem Kunstlehrer darüber)
- iii. Das Verfahren, das wir für unsere Versuche anwenden, heißt in der Fachsprache Chromatographie. Es ist nicht nur dafür geeignet, schöne AHA-Effekte zu erzielen, sondern ist in der Analytischen Chemie zur Trennung von Stoffen unverzichtbar (z.B. in der Dopinganalytik, wie ihr aus unseren Fragen der ersten Runde wisst.)

Um anschaulich zu machen, was in diesen Versuchen passiert, kann man das folgende Bild verwenden:

An einer Bootsfahrt auf einem Fluss nehmen mehrere Boote teil. Sie starten alle an der selben Stelle, im Laufe der Zeit legen die Boote immer mal wieder am Ufer an, die einen häufiger, die anderen seltener. Nach einiger Zeit sind die Boote weit auseinandergezogen.

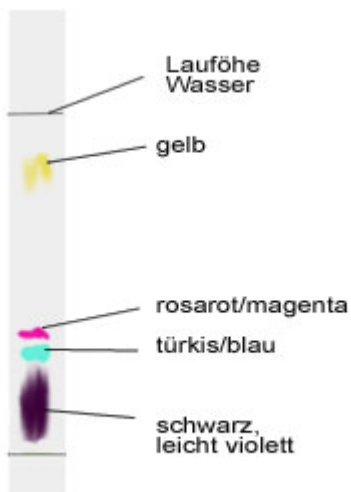
Ordnet einander zu: was ist in dem Versuch das Boot, was der Fluss....

- iv. Warum bewirken unterschiedliche Laufmittel (Wasser, Spiritus, Benzin) ein unterschiedliches Trennverhalten?
- v. Was kann ich demnach tun, um die „Auflösung“ meine Analyse zu verbessern?

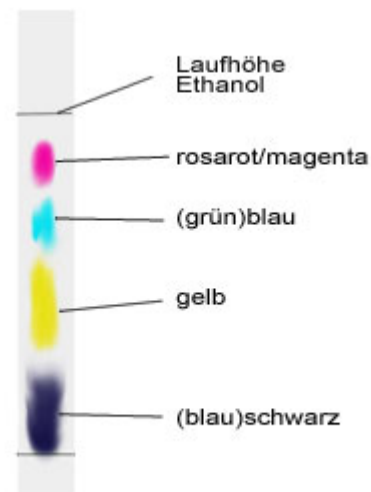
Antworten zum Versuch:

- i. Beschreibt die Vorgänge und begründet, warum sich bestimmte Schreibfarben in verschiedene Substanzen auftrennen.

**Das Laufmittel (Wasser, Ethanol, Benzin) steigt durch Kapillarkräfte zuerst an der Filterpapierrolle hoch und breitet sich dann kreisförmig auf dem horizontal liegenden Filterpapier aus. Die meisten Farben sind Gemische von Stoffen, die mit der Flüssigkeit unterschiedlich weit transportiert und so entmischt werden.**



Edding 1200 mit Wasser

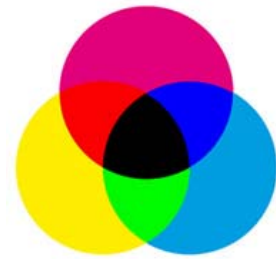


Edding 1200 mit Spiritus

- ii. Warum trennen sich nur bestimmte Farben und nicht alle, (Sprecht ggf. mit eurem Kunstlehrer darüber)

**Nicht alle Farben sind Mischungen. Aus dem Kunstunterricht wisst ihr, dass es die Grundfarben gibt, die restlichen Farben könnt ihr aus ihnen mischen. Möglicherweise gibt es auch bei Schreibfarben „Grundfarben“ die aus Stoffgemischen bestehen und sich deswegen entmischen, oder zumindest die Farbnuance ändern.**

**Man unterscheidet zwischen dem additiven Farbsystem mit den Grundfarben Blau, Rot und Grün (RGB) und dem subtraktiven Farbsystem mit den Grundfarben Magenta, Cyan und Gelb. Die Farben des subtraktiven Farbsystem kennt ihr vielleicht von eurem Farbdrucker.**



**Die Mischung der Farben Magenta, Cyan und Gelb ergibt schwarz. Auch Filzstifte werden aus diesen Farben gemischt, wie ihr vielleicht an eurem Chromatogrammen erkennen konntet (wie auch bei den Kreide-Chromatogrammen im Bild oben).**

**Im Gegenteil dazu ergibt die Mischung der Farben Rot, Grün und Blau im additiven Farbsystem die Farbe Weiß. Wenn ihr noch einen alten Röhrenfernseher habt, könnt ihr diese Farben gut erkennen, indem ihr ganz nahe herangeht: ihr seht dann lauter kleine rote, grüne und blaue Punkte, die sich bei ausreichend Abstand vom Fernseher „vermischen“ und so alle Farben produzieren.**

- iii. Das Verfahren, das wir für unsere Versuche anwenden, heißt in der Fachsprache Chromatographie. Es ist nicht nur dafür geeignet, schöne AHA-Effekte zu erzielen, sondern ist in der Analytischen Chemie zur Trennung von Stoffen unverzichtbar (z.B. in der Dopinganalytik, wie ihr aus unseren Fragen der ersten Runde wisst.)

Um anschaulich zu machen, was in diesen Versuchen passiert, kann man das folgende Bild verwenden:

An einer Bootsfahrt auf einem Fluss nehmen mehrere Boote teil. Sie starten alle an der selben Stelle, im Laufe der Zeit legen die Boote immer mal wieder am Ufer an, die einen häufiger, die anderen seltener. Nach einiger Zeit sind die Boote weit auseinandergezogen.

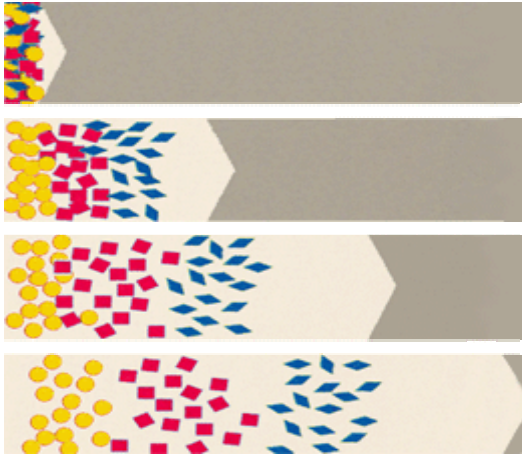
Ordnet einander zu: was ist in dem Versuch das Boot, was der Fluss....

**Der Fluss ist die Flüssigkeit, die ich für die Chromatographie verwende, man nennt diese Flüssigkeit in der Fachsprache Laufmittel. Die Boote sind die Farbstoffteilchen. Man kann sich vorstellen, dass mehrere Boote gemeinsam losfahren. Wenn jetzt manche Boote häufiger anlegen und deswegen langsamer sind, wird sich das Feld auseinanderziehen. Das Ufer mit seinen Anlegestellen stellt das Filterpapier dar. In der Fachsprache nennt man das „stationäre Phase“ im Gegensatz zur „mobilen Phase“ der Flüssigkeit. Stationäre Phasen werden aus verschiedensten Materialien hergestellt, z.B. Aluminiumoxid**

oder Siliciumoxid, aber wie ihr sehen konntet, taugen auch Filterpapier und Kreide als mobile Phasen.

- iv. Warum bewirken unterschiedliche Laufmittel (Wasser, Spiritus, Benzin) ein unterschiedliches Trennverhalten?

Eine Farbe läuft um so schneller mit dem Laufmittel mit, je besser die sich in ihm löst. Es gilt die Regel „Gleiches löst sich in Gleichen“, z.B. Öl kann mit einem anderen Öl vermischt werden, nicht jedoch mit Wasser. Ersetze ich Wasser durch Benzin als Laufmittel, wandern die gut wasserlöslichen Farben nicht mehr so schnell oder gar nicht voran.



Schematische Darstellung der Chromatographie

- v. Was kann ich demnach tun, um die „Auflösung“ meine Analyse zu verbessern?  
**Man kann Laufmittel mischen, selbstverständlich ist eine Mischung aus Öl und Wasser nicht möglich, aber durchaus Wasser mit Alkoholen, oder Benzin mit Ether. Im Labor mischen sich Chemiker aus verschiedenen Lösungsmitteln ganz bestimmte, für die jeweilige Anwendung zugeschnittene Laufmittel. Da probieren sie erst, mit welchen Flüssigkeiten das am besten geht und danach, in welchem Mischungsverhältnis man sie einsetzen muss.**  
**An den Bildern mit der Kreide könnt ihr sehr gut den Einfluss verschiedener Laufmittel (hier Spiritus und Wasser) auf die Probestrennung erkennen. Die Farbreihenfolge in der Trennung kehrt sich je nach Laufmittel um. Die gelbe Farbe hat offensichtlich eine besonders hohe Affinität zu Wasser, mit Spiritus „kann sie nicht so gut“, weshalb sie von Wasser über die Laufstrecke sehr viel weiter mitgenommen wird, als vom Spiritus. Wollte man also aus so einem Gemisch gezielt gelbe Farbe abtrennen, würde man sicher eher Wasser als Laufmittel verwenden als Spiritus.**

Am nächsten Tag kommen Karl und Max zurück zur Bank, diesmal in Begleitung der Polizei. Einer der Beamten geht in das Büro des Filialleiters und sagt: „Dies ist ein Durchsuchungsbefehl“: Unterdessen macht sich der Kriminaltechniker (und im Privatleben Hobbychemiker) an scheinbar harmlos wirkenden weißen Blankoblättern zu schaffen . . .

## Teil 2: Geheimtinten selbst herstellen

### ACHTUNG Brandgefahr!!

Bei diesem Versuchsteil müsst ihr mit großer Hitze oder mit offenem Feuer arbeiten. Stellt deshalb auf jeden Fall zunächst sicher, dass der Spiritus und das Benzin aus dem ersten Versuchsteil außer Reichweite sind und keine Reste oder Pfützen irgendwo zurückgeblieben sind!

*was ihr braucht:*

- Papier / Karton
- Pürierstab oder Mörser und Sand
- Messer
- Filter und Trichter
- Wattestäbchen / Pinsel
- Zerstäuber, z.B. für Nasenspray
- Bügeleisen oder Kerze
- optional: UV-Lampe
- Rotkohl (frisch, nicht aus der Dose)
- Zitrone
- Natron oder Backpulver

*Arbeitsanweisung:*

### Geheimtinte 1

Herstellen einer Rotkohllösung:



Nehmt einige Blätter eines Kopfes Rotkohl und schneidet sie zunächst klein. Den kleingeschnittenen, rohen Kohl könnt ihr entweder mit einem Mörser unter Zugabe von etwas Sand oder mit dem Pürierstab (hier natürlich ohne Sand!) zerkleinern. Gebt wenig Wasser (nicht zu viel, sonst wird die Lösung zu dünn) zum zerkleinerten Kohl und vermischt alles noch einmal ordentlich (evtl.) noch ein wenig stehen lassen. Filtriert dann die Flüssigkeit ab, und

füllt einen Teil des Filtrats in den Zerstäuber/die Sprühflasche. Gebt noch Zitronensaft dazu (1 bis 2 Tropfen auf 20 ml Lösung sollten genügen).

Stellt eine (möglichst) gesättigte Lösung von Natron oder Backpulver in Wasser her und benutzt diese als Schreibfarbe. Ihr könnt auch filtrierte Holzasche als Schreibfarbe benutzen. Am besten lässt sich die Lösung mit einem Wattestäbchen oder einem feinen Pinsel

auf das Papier auftragen. Diese Geheimschrift wird mir Rotkohllösung sichtbar gemacht, indem diese mit einem Zerstäuber vorsichtig über den „Geheimtext“ gesprayed wird.

Den ganzen Vorgang kann man auch umkehren, indem man als Schrift Zitronensaft verwendet und die Sprühlösung ein wenig alkalisch macht, z.B. mit ein wenig Seife oder Natron. Versucht es auch einmal mit neutraler Rotkohllösung.

### **Geheimtinte 2**

Dies ist bestimmt die bekannteste aller Geheimtinten:

Presst eine Zitrone aus und filtriert den Saft. Schreibt mit dem Saft (z.B. mit Wattestäbchen oder mit einem feinen Pinsel) eure „Geheimbotschaft“ auf ein Stück Papier. Nach dem Trocknen legt ihr ein Löschpapier auf das beschriebene Papier und geht mit einem heißen Bügeleisen darüber bis die Schrift sichtbar wird. Optional könnt ihr das Papier auch über eine Kerzenflamme halten. Dabei solltet ihr natürlich aufpassen, dass das Papier nicht zu heiß wird und zu brennen beginnt.

### **Geheimtinte 3**

(für alle, die Zugang zu einer UV-Lampe haben)

Gewinnt aus einem Apfel oder einer Orange den Saft und verwendet diesen als Tinte. Unter einer UV Lampe kann die Schrift sichtbar gemacht werden.

#### Fragen zum Versuch:

- i. Warum kann man mit Rotkohlsaft die „Natron- und Zitronensafttinte“ sichtbar machen?
  - ii. Warum funktioniert diese Entschlüsselungsmethode auch bei Holzasche?
  - iii. Welche anderen „Geheimtinten“ könnte man mit Rotkohlsaft sichtbar machen?
  - iv. Was passiert beim Erhitzen der Zitronensafttinte?
  - v. Warum sieht man die „Obstsaft - Geheimtinte“ bei UV Licht aber nicht bei sichtbarem Licht?
  - vi. Wo wird UV-Licht verwendet? Welche Möglichkeiten habt ihr demnach, an eine UV-Lichtquelle heranzukommen?
  - vii. Bei der Untersuchung von Häusern auf Wärmedämmung wird ein Verfahren mit „nicht sichtbarem Licht“ angewandt. Beschreibt es.
  - viii. Welche anderen Geheimtinten kennt ihr?
- Fragen zum Versuch:
    - i. Warum kann man mit Rotkohlsaft die „Natron- und Zitronensafttinte“ sichtbar machen?

Rotkohlsaft ändert seine Farbe, je nach dem ob man ihn mit Säure oder Lauge mischt. (Deswegen nennt man Rotkohl in bestimmten Gegenden Deutschlands auch Blaukraut, je nachdem, ob regional das Kraut eher sauer oder neutral zubereitet wird). Da Natronlösung eine Lauge und Zitronensaft eine Säure ist, verfärbt sich Rotkohlsaft, wenn er mit einer dieser Substanzen versetzt wird. Rotkohlsaft ist also ein Indikator. Chemiker verwenden im Labor eine Reihe von Indikatoren, die durch Farbänderungen anzeigen, wie sauer oder alkalisch eine Lösung ist

- ii. Warum funktioniert diese Entschlüsselungsmethode auch bei Holzasche?  
**Beim Verbrennen von Holzasche entstehen Oxide und die meisten Oxide reagieren mit Wasser alkalisch. So zeigt auch eine Lösung mit Holzasche eine Farbänderung bei dem Rotkohlindikator.**
- iii. Welche anderen „Geheimtinten“ könnte man mit Rotkohlsaft sichtbar machen?  
**Eigentlich alle Säuren und Laugen. Dabei muss man allerdings aufpassen, da der Rotkohlindikator durch eine sehr starke Lauge (pH-Wert über 12) seine Indikatoreigenschaft verlieren kann. Dies zeigt er auch über seine, in diesem Fall gelbe Farbe an, welche sich nicht mehr durch Säuren in blau, rot etc. überführen lässt.**
- iv. Was passiert beim Erhitzen der Zitronensafttinte  
**Wenn organische Substanzen erhitzt werden, verändern sie oft die Farbe, da sie leichter oxidieren, (oder in sonst einer Form reagieren). Ein Beispiel ist Pommesfett. Wenn es zu lange benutzt wird / zu heiß gemacht wird, wird es immer dunkler und im Extremfall schwarz. Das liegt daran, dass die Fettmoleküle sehr lang sind und bei Wärme leicht an allen möglichen Stellen brechen. Es entsteht eine Mischung aus kleineren Molekülen, unter anderem Kohlenstoff, die für die Schwarzfärbung verantwortlich sind.**



- v. Warum sieht man die „Obstsft - Geheimtinte“ bei UV Licht aber nicht bei sichtbarem Licht?

**Voraussetzung ist natürlich (fast) farbloser Obstsaft.**

**Stoffe sind farbig, da sie bestimmte Anteile des Lichtes verschlucken, der Rest des Lichtes strahlt in der Komplementärfarbe zurück. (Fragt hierzu euren Kunstlehrer nach dem FARBKREIS). Dass Sonnenlicht eine Mischung aus mehreren Farben ist, lässt sich leicht mit einem Prisma herausfinden. UV-Licht ist auch Licht, der Mensch kann es nur nicht sehen. Viele Naturstoffe (die auch in Obstsaft drin sind) verschlucken UV Licht. Dabei strahlt ein Teil sichtbares Licht zurück. Diesen Effekt kann man nur mit speziellen Lampen sichtbar machen.**

- vi. **Wo wird UV-Licht verwendet? Welche Möglichkeiten habt ihr demnach, an eine UV-Lichtquelle heranzukommen?**

**Zum Beispiel als Geldscheinprüfer an einer Supermarktkasse. Ein Sicherheitsmerkmal der Euroscheine sind fluoreszierende Stoffe, die bei Aussetzung von Schwarzlicht leuchten (auch der Personalausweis hat ein solches Sicherheitsmerkmal, probiert es mal aus!). Weiterhin wird Schwarzlicht in Diskotheken als Effektbeleuchtung eingesetzt und auch in der Kriminalistik. Briefmarkensammler haben in der Regel auch kleine UV-Lampen, da viele Marken mit einem UV-Merkmal versehen sind...**

- vii. **Bei der Untersuchung von Häusern auf Wärmedämmung wird ein Verfahren mit „nicht sichtbarem Licht“ angewandt. Beschreibt es.**

**Analog zum UV-Licht, das kurzwelliger ist als sichtbares Licht, gibt es auch die langwelligere Infrarotstrahlung (Wärmestrahlung). Es gibt sogenannte Wärmebildkameras, die dieses Licht erkennen und in ein Bild aus sichtbarem Licht umwandeln. Fotografiert man damit ein geheiztes Haus erkennt man, an welchen Stellen wieviel Wärme nach außen dringt.**

- viii. **Welche anderen Geheimtinten kennt ihr?**

**Tintenkiller, anschließend mit Tinte überfärben.**

**An dieser Stelle ein Versuch, den wir euch leider nicht durchführen lassen konnten, da wir nicht sicherstellen konnten, dass jeder die Ausgangsstoffe zur Verfügung hat. Für diesen Versuch benötigt ihr einen Schuhkarton, Ammoniaklösung und als Indikator Phenolphthaleinlösung. Ihr schneidet in den Schuhkartondeckel einen Schlitz. Nun sollte der Karton mit Deckel so aussehen wie eine Box, bei der man bei Wahlen seinen Zettel reinstecken kann. Füllt nun 20 ml Ammoniak (dieser braucht nicht konzentriert sein, es reicht auch eine 8%-ige Lösung) in ein Becherglas und stellt dieses in den Schuhkarton. Jetzt schnell den Deckel drauf, da es ohnehin schon überall nach Ammoniak riechen sollte. Eure Identifikationsbox ist fertig. Nun könnt ihr mit der Phenolphthaleinlösung auf ein Blatt Papier eure Geheimnachricht schreiben. Wenn ihr den Zettel in den Schlitz der Box steckt, zeigt sich nach kurzer Zeit eure geheime Botschaft rosa. Der chemische Hintergrund ist wieder eine**

**typische Indikatorreaktion: Die Phenolphthaleinschrift wird durch die alkalischen (basischen) Ammoniakdämpfe rosa gefärbt.**

Schließlich gelingt es, die auf den ominösen Blättern verfassten geheimen Anweisungen für den Betrug von Kunden sowie die Manipulationen am Vertrag über Herrn Schulzes Kredit aufzudecken.



**Vielen Dank an die kjVIs - kreative junge  
Verfahrens-Ingenieure, die mit uns zusammen  
diesen Versuch erarbeitet haben.**

<http://www.kjvi.de>