



DECHEMA

Gesellschaft für Chemische Technik
und Biotechnologie e.V.

DieChemiker

Unser Protokoll zum Wettbewerb DechemaX

Lukas K.

Florian N.

Friedrich B.

Gymnasium-Essen-Werden



Inhaltsverzeichnis

1. Experimente

1. Teil: Schöpfrahmen bauen	4
2. Teil: Herstellung der Pulpe	5
3. Teil: Papierschöpfen	7
4. Teil: Färben	10

2. Aufgaben

Aufgabe 1: Wie lange gibt es Papier schon?	14
Aufgabe 2: Was ist unbedingt notwendig, damit Papierrecycling funktioniert? Wie könnt ihr dabei mithelfen?	14
Aufgabe 3: Welche Farbe hat das Papier vor dem Einfärben? Warum ist es nicht weiß?	14
Aufgabe 4: Warum solltet ihr die Zeitung kochen und das Wasser austauschen?	14
Aufgabe 5: Wie funktioniert das Papierschöpfen? Was passiert beim Herausheben des Schöpfrahmens aus der Wanne?	15
Aufgabe 6: Warum zerfällt das Papier nicht sofort wieder, sondern hält zusammen?	15
Aufgabe 7: Warum zerreißt nasses Klopapier sehr leicht, während nasse Küchenrolle reißfest ist? Worin liegt der Unterschied?	16
Aufgabe 8: Warum gibt man dem Papier Füllstoffe hinzu?	16
Aufgabe 9: Was sind Farbstoffe? Was sind Pigmente? Worum handelt es sich bei den von euch verwendeten Farben?	16
Aufgabe 10: Was versteht man unter natürlichen Farbstoffen?	17
Aufgabe 11: Was ist der grüne Farbstoff im Möhrengrün? Wofür wird dieser von der Pflanze produziert?	17
Aufgabe 12: Wie heißt der orangene Farbstoff in der Möhre?	18
Aufgabe 13: Wodurch wird die rote Farbe in Roter Bete verursacht?	19
Aufgabe 14: Wie funktionieren Farbstoffe und warum erscheint nachts alles grau?	20
Aufgabe 15: Welche Gemeinsamkeit haben alle Farbstoffe im chemischen Sinne?	21
Aufgabe 16: Hat das Einfärben des Papiers bei euch funktioniert? Warum? Warum nicht?	21

Aufgabe 17: Was passiert mit dem Papier beim Bügeln? Warum ist es wichtig, dass das Bügeleisen warm ist?	22
Aufgabe 18: Schreibt etwas über euer Papier! Was für Eigenschaften hat es? Lässt es sich gut mit einem Stift beschreiben? Wie reißfest ist es? Hat es eine gleichmäßige Farbe?	22
Aufgabe 19: Wie ist euer Papier im Vergleich zum Zeitungspapier?	27
Aufgabe 20: Habt ihr eurem Papier weitere Füllstoffe hinzugefügt oder andere Farben ausprobiert? Was hatte das für einen Effekt? Schickt uns eure Fotos!	22/28
3. Quellen	29

1. Teil: Schöpfrahmen bauen

Materialien:

- 150cm Holzlatte
- 8 kleine Winkel
- Kleine Schrauben
- Metallgitter
- Schraubendreher
- Seitenschneider
- Zollstock
- Stichsäge
- Schleifpapier

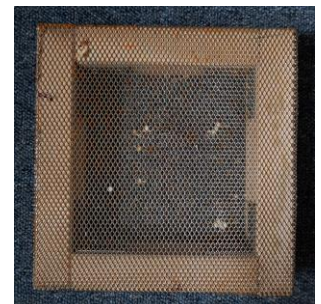


Durchführung:

Mit einem Zollstock werden einmal zwanzig und einmal zwölf Zentimeter abgemessen. Diese Holzstücke werden anschließend abgesägt. Für die jeweils drei weiteren Stücke wird das erste als Vorlage genommen, damit alle Stücke gleich lang werden. Die Kanten werden mit etwas Schleifpapier abgeschliffen, damit man sich nicht verletzt. Daraufhin werden vier Stücke Holz zu einem Rahmen zusammengelegt und mit vier Winkeln von innen verschraubt, da die Winkel für außen zu kurz waren. Mit einem Seitenschneider wird aus einem Metallgitter ein 25 mal 25cm großes Quadrat herausgetrennt. Mit drei bzw. zwei Schrauben wird dieses Gitter über die Kanten gewölbt und an den Balken befestigt. Der zweite Rahmen wird daran orientiert gebaut, nur ohne das Gitter.

Beobachtung und Auswertung:

Bis auf, dass die Winkel aufgrund ihrer Länge von innen verschraubt werden mussten, was komplizierter war als von außen, hat der Zusammenbau gut funktioniert. Wir erhielten zwei gleich große Rahmen mit denen im dritten Teil das Papier geschöpft werden konnte.



2. Teil: Herstellung der Pulpe

Materialien:

- 3 WAZ Tageszeitungen
- Großer Kochtopf
- Kochlöffel
- Sieb
- Mixer der Küchenmaschine/Pürierstab
- Wasser



Durchführung:

Zuerst wird die Zeitung in kleine Stücke zerteilt. Die Stücke werden dann in einen großen Topf gegeben und der Topf mit mehreren Litern Wasser aufgefüllt. Auf dem Herd wird anschließend das Wasser aufgeköcht. Sobald es aufgeköcht ist, wird die Herdplatte auf die mittlere Stufe zurückgestellt. Die Suspension lässt man für eine Stunde kochen. Nach dieser einen Stunde wird das Wasser abgeschüttet und neues hinzugegeben.

Nachdem die Mischung insgesamt zwei Stunden gekocht hat, nimmt man sie vom Herd und schüttet sie in einem Sieb ab. In vier Portionen wird die Zeitung zusammen mit frischem Wasser zu einem Brei, der Pulpe püriert.

Beobachtung und Auswertung:

Bei der Planung des Versuches dachten wir, dass sehr viel Zeitung benötigt werden wird. Deshalb haben wir, wie oben auf dem Bild zu sehen ist, einen ganzen Korb voll Zeitung gesammelt. Während wir die Zeitung in kleine Stücke gerissen haben, merkten wir, dass sich der Topf doch schneller füllte als erwartet. Nachdem wir daraufhin das Wasser in den Topf gaben, sackte die Zeitung allerdings stark zusammen, da das Wasser die Luft zwischen den Zeitungsschnipseln verdrängte, und wir mussten wieder Zeitung hinzugeben. Insgesamt haben wir auf diese Weise drei Tageszeitungen benutzt.



Den vollen Topf haben wir auf den Herd gestellt. Bei höchster Stufe, in unserem Fall Stufe 9, warteten wir, bis das Wasser gesiedet, also geblubbert, hat. Da wir einen großen Topf verwendet haben, hat es circa 10 bis 15 Minuten gedauert, bis die Masse aufgeköcht ist. Mit aufgesetztem Deckel ließen wir es nun für 60 Minuten kochen. Nach Ablauf dieser Stunde wechselten wir das Wasser, welches sich auch deutlich sichtbar verfärbt hatte. Anschließend köchelte die Suspension erneut für eine Stunde.

Nachdem die Lösung nun also insgesamt für zwei Stunden auf dem Herd stand, haben wir die Zeitung mit einem Sieb mit von dem Wasser getrennt. Einen Teil der Zeitung haben wir wieder in den Topf getan, um ihn zusammen mit frischem Wasser mit Hilfe eines Pürierstabes zur Pulpe zu verarbeiten. Das Problem dabei war allerdings, dass der Pürierstab zu kleine Messer hatte. Folglich wechselten wir zu dem Mixer der Küchenmaschine (siehe Bild oben). Auch hier füllten wir etwas der Zeitung zusammen mit frischem Wasser hinein. Die Messer schafften es ohne Probleme, sodass wir feine Pulpe erhielten. Trotzdem nahmen wir beim zweiten Durchgang weniger, da es effektiver, vor allem schneller, war. Nach vier Portionen hatten wir eine volle Schüssel Pulpe.

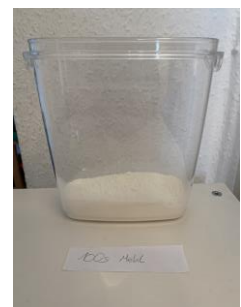


Während der gesamten Herstellung konnte man einen unangenehmen Geruch wahrnehmen. Die Pulpe hatte eine ähnliche Konsistenz und Aussehen wie Zement. Trotz des Pürierens waren teilweise noch größere Zeitungsschnipsel zu erkennen.

3. Teil: Papierschöpfen

Materialien:

- Schöpfwanne
- Schöpfrahmen
- Pulpe
- Warmes Wasser
- Geschirrtücher
- Wäscheständer
- Füllstoffe/Verzierungen
- Abtropfwanne
- Entsorgungseimer
- Bügeleisen



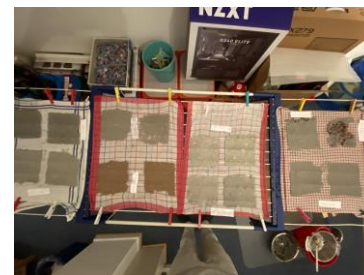
Durchführung:

In der Schöpfwanne wird zu dem warmem Wasser Pulpe untergemischt, bis die Suspension nicht mehr durchsichtig ist. Bei dem Eintauchen muss darauf geachtet werden, dass der Rahmen ohne Gitter auf dem anderen liegt. Die beiden Rahmen werden aneinander gepresst senkrecht untergetaucht und dann in die Waagerechte gebracht, sodass sich die Pulpe gut innerhalb des Rahmens verteilen kann. Anschließend wird der Rahmen aus dem Wasser gehoben. Nachdem das Wasser abgetropft ist, wird der Rahmen auf ein Geschirrtuch gestürzt. Der Rahmen wird daraufhin entfernt und das Geschirrtuch zum Trocknen auf einen Wäscheständer gelegt. Zum Schluss werden die Papiere noch gebügelt.

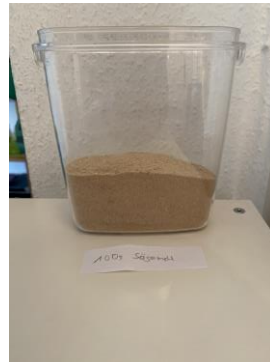
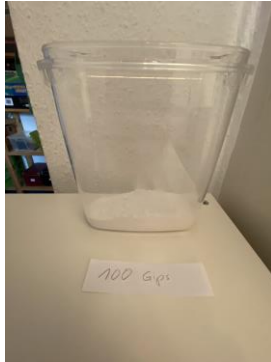
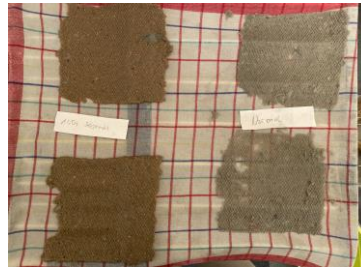
Beobachtung und Auswertung:

Wir wollten zuerst mit beiden Rahmen aufeinanderliegend schöpfen, dies gelang uns jedoch nicht, weil unsere Wanne nicht tief genug war. Die Pulpe konnte sich nicht auf der ganzen Fläche verteilen. Deshalb haben wir den Rahmen mit Gitter, an den Seiten angefasst, untergetaucht und dann kurz gewartet bis sich die Pulpe wieder überall verteilt hat. Der andere hat dann den zweiten Rahmen passend senkrecht von oben ebenfalls untergetaucht, um möglichst wenig Pulpe zu verdrängen.

Beim Untermischen der Pulpe im Wasser, hatten wir zuerst so viel Pulpe genommen, dass unser Papier viel zu dick wurde. Diese Papiere haben wir deshalb nicht genommen, da sie vermutlich nicht rechtzeitig getrocknet wären. Die Pulpe haben wir einfach wieder zurück ins Wasser gemischt. Bei den nachfolgenden Papieren nahmen wir aus eben diesem Grund weniger Pulpe und haben, wenn es zu wenig war, langsam mehr hinzugegeben. Sobald wir die richtige Menge Pulpe gefunden hatten, haben wir den Rahmen zum Abtropfen auf zwei Stäbe gestellt, die an den Seiten einer Box befestigt waren (siehe Foto oben; Box mit Schöpfrahmen). Nach einigen Minuten haben wir den Rahmen auf ein Geschirrtuch gestürzt. Sobald vier Papiere auf einem Tuch waren, haben wir jenes auf einen Wäscheständer zum Trocknen gelegt. Damit es zwischen den einzelnen Streben nicht durchhängt und sich keine Falten auf den Papieren bilden, haben wir sie mit Wäscheklammern auf Spannung gebracht. Leichte Wellen sind jedoch trotzdem zu erkennen. Um die Papiere nachher unterscheiden zu können, haben wir sie zudem beschriftet.



Um noch mögliche Veränderungen in der Konsistenz, Reißfestigkeit, Stabilität oder ähnlichem zu finden, haben wir noch einige Füllstoffe zu der Pulpe gegeben. Dies waren Mehl, Stärke, Sägemehl, Gips und Zucker. Um die Papiere nachher vergleichen zu können, haben wir von jedem Füllstoff dieselbe Masse, nämlich 100g verwendet. Da Sägemehl allerdings eine viel geringere Dichte hat, war es verhältnismäßig viel. Wir haben sie jeweils zu der Pulpe gemischt und anschließend zwei Papiere von jedem geschöpft. Alle Füllstoffe ließen sich einfach durch Rühren untermischen; das Sägemehl hingegen schwamm zum Großteil an der Oberfläche und ließ sich auch nicht durch längeres Umrühren untermischen, was dazu führte, dass die beiden Papiere zum Großteil aus Sägemehl und nur wenig Pulpe bestehen. Im Nachhinein hätte man deshalb nicht auf die Masse, sondern das Volumen achten sollen. Da wir für den nächsten Durchgang nicht das vorher verwendete Gemisch nehmen konnten, musste die Wanne ausleeren. Damit die Pulpe nicht die Rohre verstopft, haben wir sie mit einem Sieb vom Wasser getrennt (roter Eimer auf dem Bild). Um bei den kreativen Verzierungen, Gras, Früchtetee und Blüten, nicht ebenfalls jedes Mal neue Pulpe nehmen zu müssen, haben wir sie immer nur innerhalb des Schöpfrahmens verteilt. Da der Früchtetee sehr grob und schwer war, sorgte er für Löcher in der Pulpe, was zum Reißen des Papiers beim Stürzen führte.



Während des Trocknungsprozesses konnte man beobachten, dass das Papier immer heller wurde. Dies ist damit zu erklären, dass die Flüssigkeit verdunstet. Außerdem ließ sich nach einem Tag bereits ein leichter Farbunterschied feststellen. Das Sägemehlpapier ist deutlich bräunlich; das Stärkepapier heller als der Rest. Die Verzierung mit Früchtetee mussten wir nach zwei Tagen entsorgen, da sie nicht trocken wurde und zerfiel. Nach vier Tagen waren die Papiere komplett getrocknet. Einige hatten sich extrem gewellt und sich so bereits vom Geschirrtuch gelöst. Andere konnte man mit der flachen Hand sehr leicht abtrennen. Sie ließen sich nahezu rückstandslos entfernen. Die vier Papiere auf einem Geschirrtuch ließen sich merkbar schwieriger ablösen als die anderen. Dies lag vermutlich daran, dass es grobmaschiger war.



Nach dem Trocknen haben wir die Papiere gebügelt. Dadurch sind die Falten verschwunden, die zum Beispiel durch die Leinen des Wäscheständers entstanden sind. Insgesamt wurden die Papiere dünner und glatter. Erst nach dem Bügeln konnte man sie beschreiben.

4. Teil: Färben

Materialien:

- Thermomix™
- Warmes Wasser
- Filterpapiere
- Sieb
- Wäscheklammern
- Gläser
- Einweghandschuhe
- Schäler und Messer
- Pinsel
- Rote Bete
- Möhren
- Möhrengrün
- Heidenbeeren
- Orangene Paprika
- Aprikosen
- Kaffee

Durchführung:

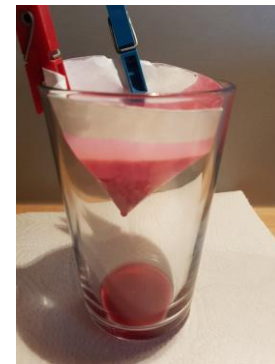
Zuerst schälen und schneiden wir das Gemüse und die Früchte in kleine Stücke. Bei dem Möhrengrün trennen wir die Blätter vom Stängel. Danach werden sie mit jeweils 100ml Wasser im Thermomix püriert. Nach jedem Püriervorgang wird der Thermomix mit etwas Wasser gesäubert. Mit einem Sieb filtern wir grobe Feststoffe aus den Lösungen. Anschließend werden die Flüssigkeiten noch einmal mit Hilfe eines Filterpapiers über einer Tasse filtriert. Für braune Färbung kochen wir einen Kaffee. Mit einem Pinsel tragen wir die Farben nun auf die Blätter auf und stellen sie zum Trocknen in den Keller.

Beobachtung und Auswertung:

Um die Farbstoffe herzustellen, haben wir zuerst das Obst und Gemüse in kleine Würfel geschnitten. Diese haben wir zusammen mit 100ml Wasser im Thermomix zu einem Brei püriert. Nach dem Pürieren konnte man neben den kleinen Stückchen die gefärbte Flüssigkeit erkennen. Die Lösung haben wir erst mit einem Sieb, dann mit einem Filter, von den Feststoffen getrennt. Da wir sehr feine Filter aus der Chemiesammlung unserer Schule verwendet haben, hat das Filtrieren zum Teil sehr lange gedauert. Bei manchen Lösungen hat es länger gedauert, andere benötigten nur wenig Zeit. Dies könnte an der Viskosität der einzelnen Lösungen liegen. Nach 45 Minuten waren alle Filtrationen fertig.

Danach haben wir kleine Stücke unseres Papiers mit den Farb-Lösungen eingestrichen. Die Papiere haben sich mit der Flüssigkeit vollgesogen, sodass sie wieder ganz weich waren und leicht gerissen sind. Bei manchen war die gewünschte Farbe bereits gut zu erkennen, wie zum Beispiel rote Bete (rot). Zum Trocknen haben wir sie auf einen Teller gelegt.

Fotos im Folgenden am Beispiel der roten Bete:









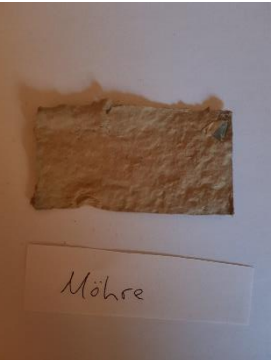




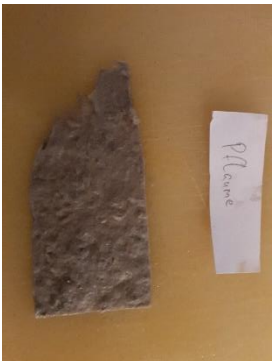
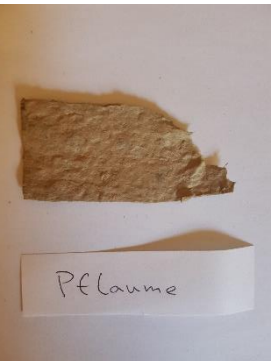


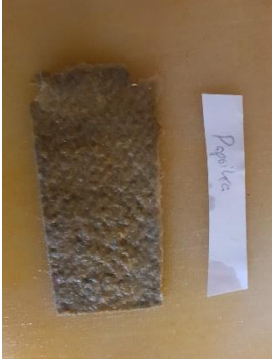



Alle Farb-Lösungen vor und nach dem Filtrieren:



Einfärben der Papiere:



Obst/Gemüse	Farb-Lösung	nass	trocken
<p>Rote Bete (Betanin)</p>			
<p>Möhrengrün (Chlorophyll)</p>			
<p>Möhren (Carotine)</p>			
<p>Heidelbeeren (Anthocyane)</p>			
<p>Pflaume (Anthocyane, Flavonoiden)</p>			

<p>orangene Paprika (Carotine)</p>			
<p>Kaffee (Melanoidine)</p>			

Einigen Farben, wie zum Beispiel Rote Bete oder Möhrengrün, verbleichen über den Trocknungszeitraum. Andere, wie Paprika, Kaffee oder auch Pflaume, entwickeln erst mit dem Trocknungsprozess ihre Farbe. An den Rändern ist die Farbausprägung höher als in der Mitte.

Alle eingefärbten Papiere sind nach dem Trocknen deutlich spröder als vorher. Bei leichtem Biegen brechen sie sofort. Zudem sind sie an den Rändern durch das erneute Anfeuchten und Trocknen aufgequollen.

Aufgaben

Nr. 1 Wie lange gibt es schon Papier? ^{[1][2][3]}

Erste Aufzeichnungen der Menschheit sind bereits vor 15.000 Jahren entstanden. Damals malte man auf Stein oder ritzte in Holz, Muscheln oder ähnliches.

Seit dem 3. Jahrtausend vor Christus nutzten die Menschen Papyrus. Ähnlich wie bei Papier wurde hierbei das Pflanzenmark aus den Stängeln der Papyruspflanze in Streifen übereinandergelegt. Durch Klopfen haben sich diese verbunden und waren nach dem Trocknen beschreibbar. In dieser Zeit nutzte man ebenso Pergament. Dies war die getrocknete Haut von Tieren.

Die erste dokumentierte Papierherstellung geht auf Cai-Lun in China zurück, obwohl Funde auf frühere Verwendung von Papier hinwiesen. Jener beschrieb ca. 105 v. Chr., wie man Papier aus den Fasern des Maulbeerbaums, Hanfabfällen und Fischernetzen herstellte. Das Verfahren gleicht dem unseren.

Nr. 2 Was ist unbedingt notwendig, damit Papierrecycling funktioniert? Wie könnt ihr dabei mithelfen? ^{[4][5]}

Damit das Recycling von Altpapier funktioniert, muss die richtige Trennung von Müll beachtet werden. Nur Papier aus Altpapier-Containern und Papiermülltonnen (blaue Tonne) wird der Wiederverwertung zugeführt. Das ganze Papier, welches in der Restmülltonne landet, wird in Müllverbrennungsanlagen verbrannt. Zum Vereinfachen des Prozesses dürfen sich möglichst wenig Fremdstoffe in dem Altpapier befinden, da diese ansonsten erst aussortiert werden müssen. Außerdem dürfen keine beschichteten oder foliierten Prospekte, Kartons etc. im Altpapier landen.

Unser Job ist es also, das Altpapier, getrennt von jeglichen Fremdstoffen, in den dafür vorgesehenen Behältnissen zu entsorgen, sodass es dem Recycling-Kreislauf zugeführt wird.

Nr. 3/Nr. 4 Welche Farbe hat das Papier vor dem Einfärben? Warum ist es nicht weiß? Warum solltet ihr die Zeitung kochen und das Wasser austauschen? ^[6]

Vor dem Einfärben ist das normale Papier leicht gräulich. Aufgrund von den Füllstoffen kann die Farbe variieren (siehe Nr. 18), bleibt aber im gräulichen Bereich. Das Papier hat diese Farbe, da wir mit unseren Möglichkeiten nicht die gesamte Druckerschwärze der ehemaligen Zeitung herauswaschen konnten. Durch das Kochen hat sich die Druckerschwärze bereits besser aus dem Papier gelöst als bei kaltem Wasser. In den Fabriken wird jedoch zusätzlich noch Seife hinzugegeben, um die komplette Druckerschwärze auszuwaschen. Die gelöste Druckerschwärze löste sich im Wasser, weshalb dieses nach einer Stunde gewechselt wurde. In dem frischen Wasser konnte sich wieder mehr Druckerschwärze lösen.



Zu Beginn



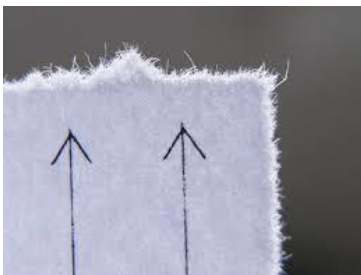
Nach 1 Stunde



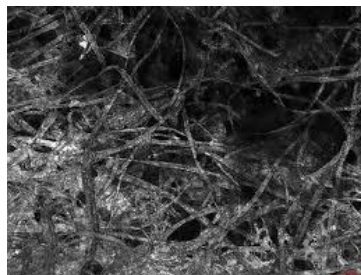
Gräuliche Farbe

Nr. 5 Wie funktioniert das Papierschöpfen? Was passiert beim Herausheben des Schöpfrahmens aus der Wanne? ^{[7][8][9]}

Papier besteht aus unzähligen Papierfasern. Dies sind meistens Cellulosefasern. Im Zeitungspapier, beziehungsweise in dem Papier, welches recycelt werden soll, haben sich diese Fasern ineinander verhakt, wodurch sie zusammenhalten und ein stabiles Blatt Papier bilden. Gibt man kleine Papierstücke nun in Wasser, so lösen sich die einzelnen Fasern wieder voneinander. Der Mixer verstärkt diesen Vorgang. Man erhält die Pulpe, einen Brei aus Pflanzenfasern. Diese Pulpe gibt man nun in eine mit Wasser gefüllte Wanne. In dem Wasser verteilen sich die Cellulosefasern. Taucht man nun den Schöpfrahmen unter, so verteilen sich die Fasern über dem Sieb. Beim anschließenden Herausheben des Rahmens tropft das Wasser durch das Sieb hindurch; jegliche Luft wird ebenfalls verdrängt. Zurück bleiben die Fasern, welche sich wieder ineinander verhakt haben und so ein Papier bilden. Jenes gewinnt allerdings erst mit dem Trocknen an Stabilität.



Erkennbare Fasern am Papier

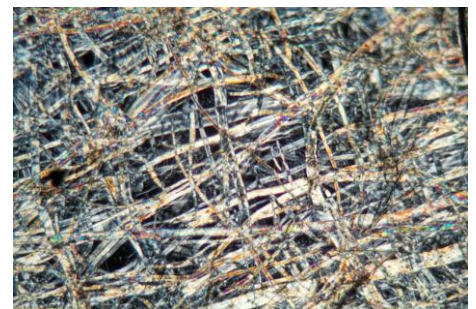


Papierfasern unter dem Mikroskop



Nr. 6 Warum zerfällt das Papier nicht sofort wieder, sondern hält zusammen? ^[10]

Das Papier zerfällt nicht direkt nach dem Schöpfen, da sich die einzelnen Cellulosefasern durch den oben beschriebenen Schöpfvorgang wieder ineinander verhaken. Durch den Trocknungsvorgang wird dies noch verstärkt.



Papierfasern

Nr. 7 Warum zerreißt nasses Klopapier sehr leicht, während nasse Küchenrolle reißfest ist? Worin liegt der Unterschied? ^{[11][12][13]}

Der Unterschied in der Reißfestigkeit von Klopapier und Küchenrolle ist vor allem durch die unterschiedlichen Anwendungsbereiche bedingt. Beide sollen möglichst reißfest sein. Während die Blätter der Küchenrollen allerdings im Mülleimer entsorgt werden, wird das Klopapier in die Kanalisation gespült. Damit die Rohrleitungen nicht verstopfen, muss es im besten Fall auch wasserlöslich sein. Dafür werden ihm kationische, wasserlösliche Polymere hinzugefügt. Im festen Zustand ist es also noch reißfest, im nassen allerdings nicht mehr. Die Küchenrolle hingegen wird im Hausmüll entsorgt. Es besteht also keine Notwendigkeit, dass sie sich wieder auflösen soll. Deshalb werden für sie besonders lange, also keine recycelten, Papierfasern verwendet. Zudem werden ihr noch einige chemische Additive zugesetzt, die die Reißfestigkeit nochmals erhöhen.

Nr. 8 Warum gibt man dem Papier Füllstoffe hinzu? ^[14]

Füllstoffe sind die Stoffe, die sich zwischen den Fasern ablagern (siehe Abbildung). In unserem Fall haben wir dem Papier Füllstoffe hinzugegeben, um die Eigenschaften des Endproduktes zu verändern. Darauf nehmen wir in Aufgabe 18 Bezug. Allgemein möchte man aber die optischen, also Weißgrad und Opazität, die verarbeitungstechnischen, also Gewicht und Steifigkeit, und die drucktechnischen Eigenschaften, also Glätte, Porosität und Farbaufnahme, verändern, verbessern oder auf die jeweiligen Bedingungen anpassen.

Die Industrie gibt dem Papier bis zu 30% Füllstoffe hinzu, da diese billiger sind als Papierfasern. Beim Schöpfen nehmen sie kein Wasser auf, weshalb die Papiere nicht so lange trocknen müssen und durch jede Zeiteinsparung spart die Industrie ebenfalls. Natürlich möchte auch sie bestmögliche Eigenschaften für ihr Produkt erzielen.



Nr. 9 Was sind Farbstoffe? Was sind Pigmente? Worum handelt es sich bei den von euch verwendeten Farben? ^{[15][16][17][18][19][20]}

Sowohl bei Farbstoffen, als auch Pigmenten, handelt es sich um sogenannte Farbmittel. Beide färben Produkte ein: Farbstoffe lassen das Licht noch durchscheinen, Pigmente reflektieren es. Folglich sorgen Farbstoffe für eine transparente Farbgebung, Pigmente für eine durchgefärbte.

Farbstoffe sind Farbmittel, die sich im Anwendungsmedium, wie zum Beispiel Wasser oder Öl, lösen. Sie lassen sich zudem in Klassen einteilen: natürlich oder synthetisch, organisch oder anorganisch. Ohne weiteren Aufwand sind sie sofort nutzbar, im Gegensatz zu Pigmenten.

Pigmente sind ebenfalls Farbmittel, die allerdings im Anwendungsmedium praktisch unlöslich sind. Es sind kleinste Teilchen mit einem Durchmesser von $1/500$ bis $1/2000$ mm, die in einem sehr feinen Zerteilungsgrad vorliegen. Bevor man sie verwendet, mischt man sie zuerst unter ein Anwendungsmedium. Auch die Pigmente lassen sich in dieselben Klassen einteilen.



Transparent wegen
Farbstoff



Durchgefärbt
wegen Pigmenten

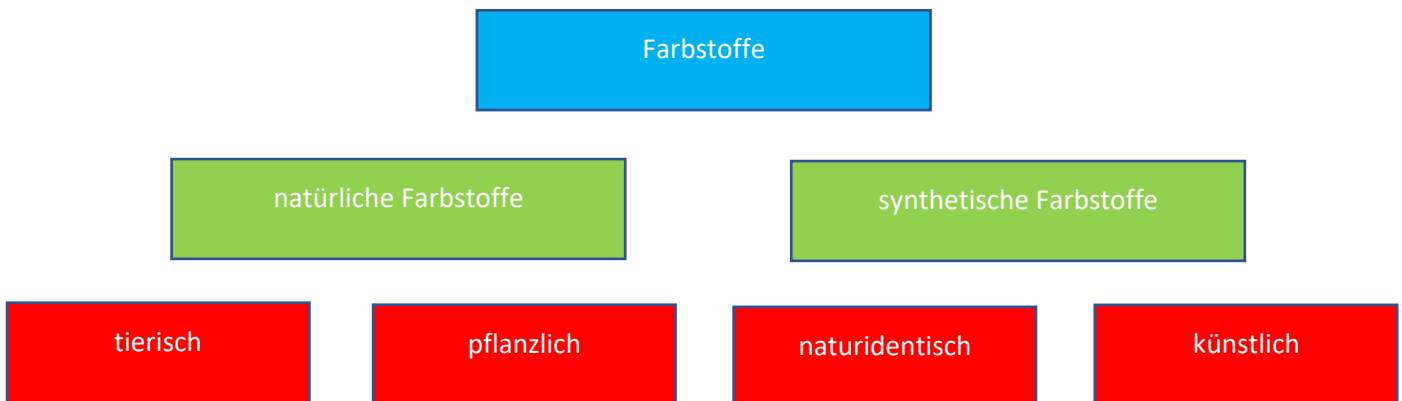


Farbstoffe



Pigmente

Nr. 10 Was versteht man unter natürlichen Farbstoffen? ^{[15][21][22]}



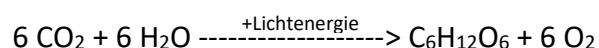
Wie unserer Grafik zu entnehmen ist, sind die natürlichen Farbstoffe alle Farbstoffe, die entweder tierischen oder pflanzlichen Ursprungs sind. Sie kommen also in der „Natur“ vor, daher auch der Name. Alle Farbstoffe, die nicht in der Natur vorkommen, sondern im Labor erzeugt werden, werden synthetische Farbstoffe genannt. Hier unterscheidet man zwischen naturidentischen, die zwar denen der Natur nachempfunden sind, aber im Labor hergestellt werden, und den künstlichen, welche in dieser Form nicht in der Natur vorkommen.

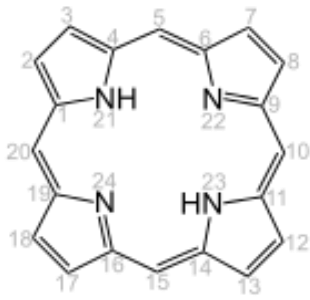
Die Unterteilung ähnelt sich mit der der Aromen (DechemaX, Runde 1, Woche 7).

Nr. 11 Was ist der grüne Farbstoff im Möhrengrün? Wofür wird dieser von der Pflanze produziert? ^{[23][24][25][26]}

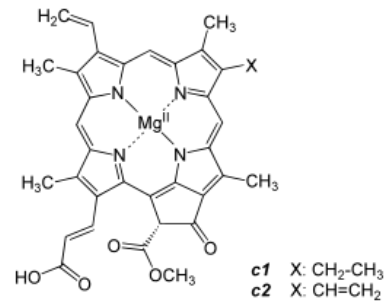
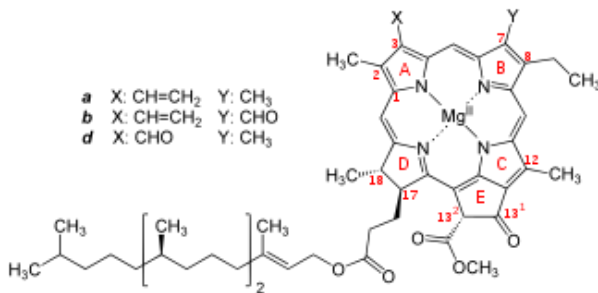
Der grüne Farbstoff im Möhrengrün heißt Chlorophyll. Er ist in allen Blättern enthalten und sorgt für die grünliche Färbung, deshalb wird er auch „Blattfarbstoff“ genannt. Allgemein gesehen gibt es viele Arten von Chlorophyll. Man unterscheidet zwischen a, b, c₁, c₂, d und f. Chemisch gesehen sind sie alle ähnlich aufgebaut. Zentral ist immer ein Porphyrin-Ring mit einem zentral gebundenem Magnesium-Kation (Mg²⁺). Lediglich an den Seitenketten unterscheiden sie sich (siehe Abb.).

Die Pflanze produziert diesen Farbstoff, da er die Voraussetzung für die Photosynthese ist (vor allem Chlorophyll a; die restlichen sind Hilfsfarbstoffe). Bei der Photosynthese wird durch den lichtabsorbierenden Farbstoff die Lichtenergie der Sonne in chemische Energie umgewandelt. Aus dem CO₂ der Luft und Wasser, welches über die Wurzeln aufgenommen wird, entsteht so Glucose, die Energie für die Pflanze, und Sauerstoff. Die chemische Reaktionsgleichung der Photosynthese:

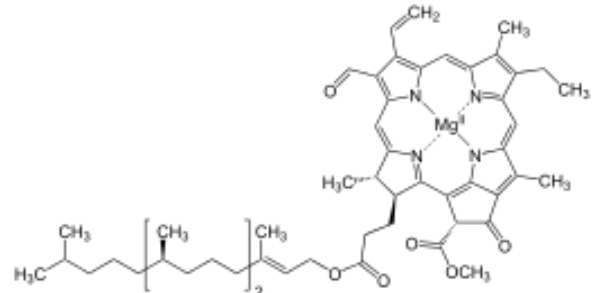




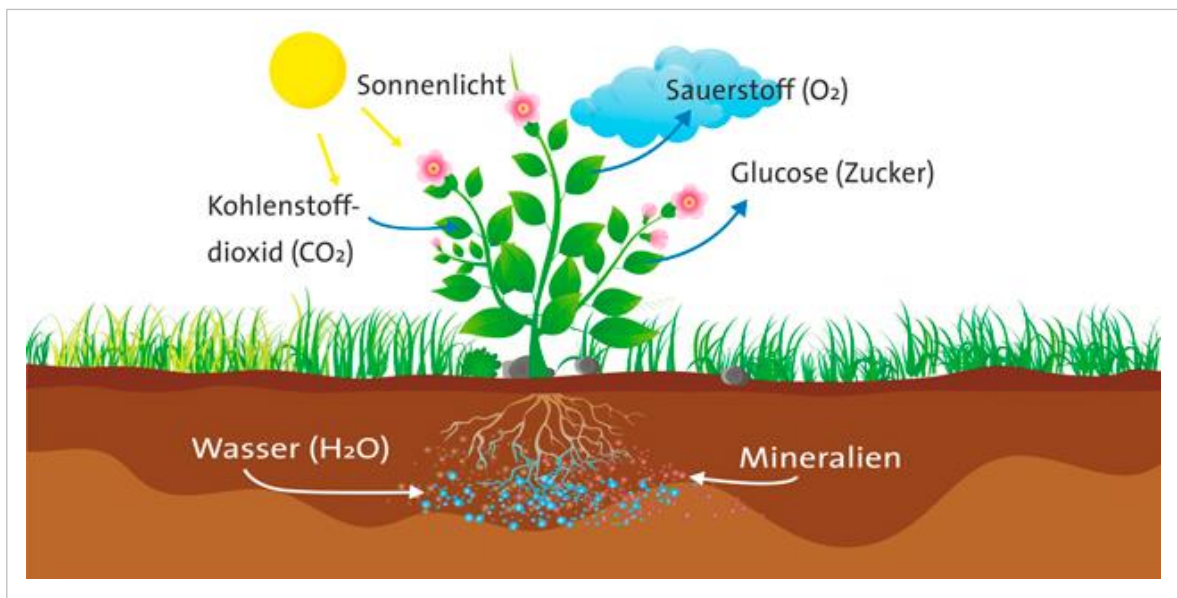
Porphyrin-Ring

Chlorophyll c_1 und c_2 

Chlorophyll a, b und d



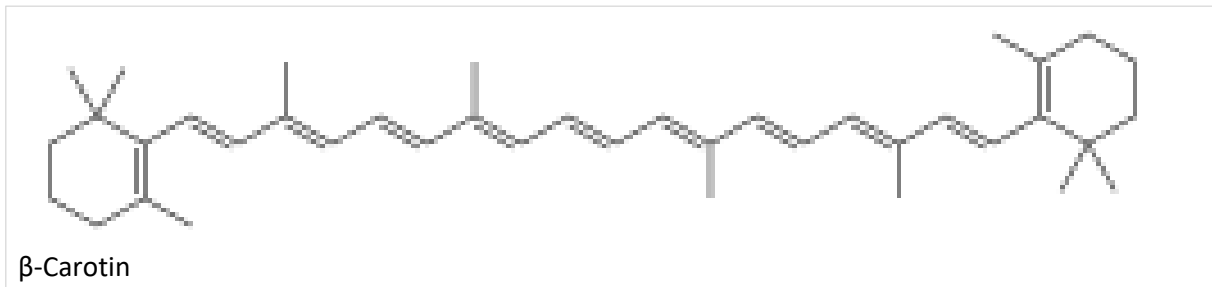
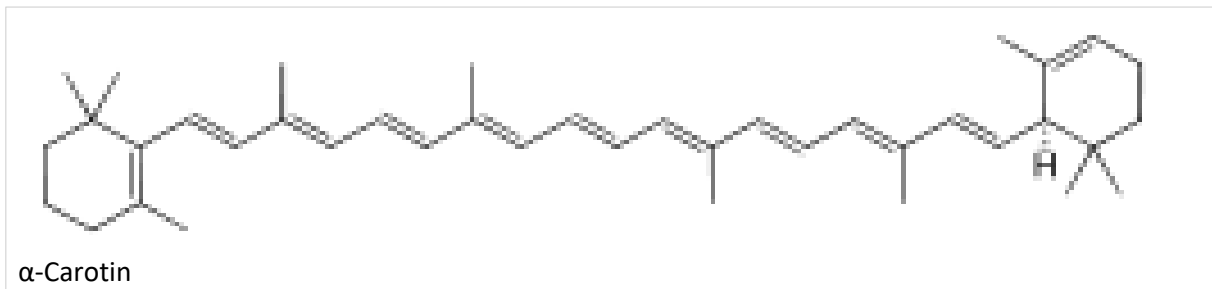
Chlorophyll f



Photosynthese

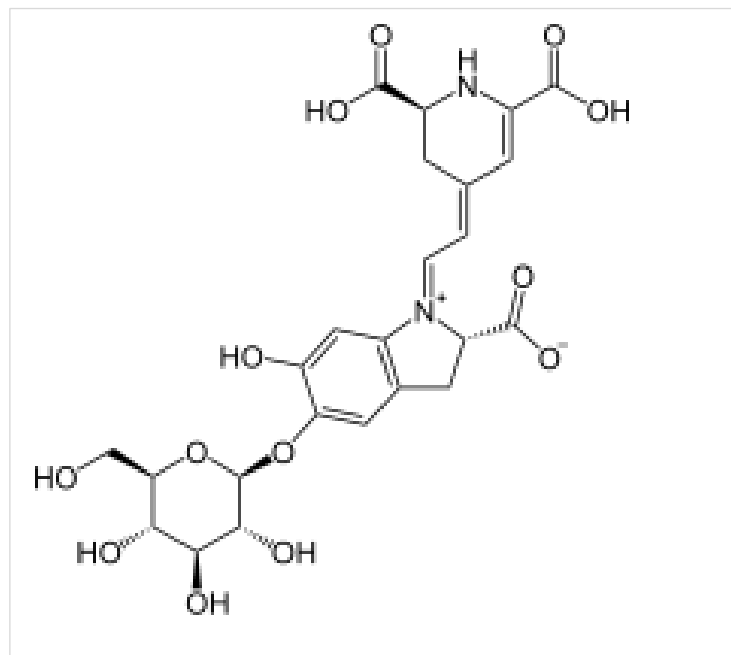
Nr. 12 Wie heißt der orangene Farbstoff in der Möhre? ^{[27][28]}

Möhren sind aufgrund von Carotinen orange. Insgesamt gibt es mehr als 600 bekannte Arten von Carotinen, alle sorgen für eine gelbliche bis orangene Färbung. Sie gehören zu den Carotinoiden mit der allgemeinen Summenformel $\text{C}_{40}\text{H}_{56}$. In der Möhre sind α - und β -Carotin vorhanden. In anderen Pflanzen, die nicht unter der Erde wachsen, ist Carotin ebenfalls bei der Photosynthese wichtig, da es ein lichtabsorbierender Farbstoff ist. Zudem schützt es vor UV-Strahlung und Infektionen.



Nr. 13 Wodurch wird die rote Farbe in Roter Bete verursacht?

Die rote Färbung der Roten Bete wird durch den natürlichen Pflanzenfarbstoff Betanin (chemische Summenformel: $C_{24}H_{26}N_2O_{13}$) verursacht. Dieser Farbstoff ist auf Zutatenlisten häufig auch als Betanoin oder Betenrot deklariert. Die bekannteste Pflanze in der er vorkommt ist die rote Bete, er kommt aber auch in Blüten und Früchten anderer Pflanzen, wie Rhabarber, vor. In den meisten Fällen liegt er rot vor, die Farbe hängt aber vom pH-Wert der Lösung ab. Im sauren Bereich bis pH-Wert 2 ist er violett; ab dem pH-Wert 4 schlägt er zu einer rötlichen Färbung um; im stark alkalischen Bereich erscheint er gelblich-braun.



Nr. 14 Wie funktionieren Farbstoffe und warum erscheint nachts alles grau? ^{[32][33][34][35]}

Das menschliche Auge nimmt Farben über die Zäpfchen wahr, welche sich auf unserer Netzhaut befinden. Diese erkennen die physikalisch unterschiedlichen Wellenlängen. Man kann jeder Farbe einen Wellenlängenintervall zuordnen: Wellen der Länge 573 würden wir also gelb wahrnehmen.

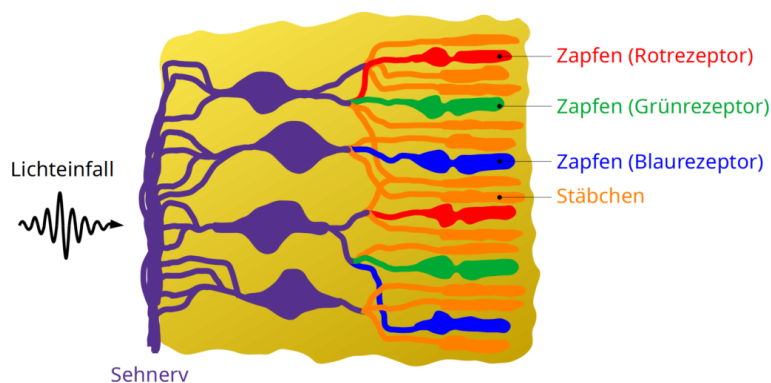
Farbe	Wellenlänge [nm]
Rot	~ 635-770
Orange	~ 590-635
Gelb	~ 565-590
Grün	~ 520-565
Cyan	~ 500-520
Blau	~ 450-500
Violett	~ 380-450

Damit ein Gegenstand für uns farbig wirkt, müssen drei Bedingungen erfüllt werden:

1. Es wird Licht benötigt.
2. Licht muss auf einen Gegenstand fallen und reflektiert werden.
3. Gegenstand darf nur einen Teil der Wellen reflektieren, Rest wird absorbiert.

Strahlt das Licht nun also auf einen Gegenstand, so absorbieren die Farbstoffe dieses Gegenstandes einen Teil der Wellen und reflektieren den Rest. Diesen „Rest“ nehmen unsere Zäpfchen als Farben wahr.

In der Nacht wird die erste Bedingung nicht erfüllt. Daraus resultiert, dass die zweite Bedingung ebenfalls nicht erfüllt werden kann, was für die Dritte auch gilt. In der Nacht hingegen werden die Stäbchen auf unserer Netzhaut aktiv. Sie können keine Farben unterscheiden, allerdings bei geringsten Lichtverhältnissen schon helles von dunklem unterscheiden. Dadurch erhalten wir nachts ein gräuliches Bild unserer Umgebung.



Nr. 15 Welche Gemeinsamkeit haben alle Farbstoffe im chemischen Sinne? [36][37][38]

Ein chemischer Zusammenhang besteht im Molekülaufbau der Farbstoffe. Farbstoffe sind im Gegensatz zu Pigmenten, wie bereits erwähnt, wasserlöslich. Pigmente bestehen meistens aus Metallsalzen. Diese sind Salze, bei denen ein Ion von einem Metall stammt, das nicht zu den Alkali- oder Erdalkalimetallen gehört. Dementsprechend sind Pigmente häufig anorganisch und wasserunlöslich.

Daraus lässt sich schließen, dass Farbstoffe immer organisch sind, also Kohlenstoff enthalten. Sobald ein „Farbstoff“ eine anorganische Verbindung eingehen würde, wäre er wasserunlöslich, was wiederum hieße, dass es sich nicht um einen Farbstoff, sondern ein Pigment handelt.

Nr. 16 Hat das Einfärben des Papiers bei euch funktioniert? Warum? Warum nicht?

Bei uns hat das Einfärben im Großen und Ganzen sehr gut funktioniert. Direkt nach dem Einfärben dachten wir allerdings, dass die Papiere gar keine Farbe annehmen oder eine komplett andere Farbe als erwünscht. Rote Bete und Möhregrün sahen sehr gut aus.

Nach dem Trocknen waren Rote Bete und Möhregrün leicht verblasst. Andere Farben, wie Paprika, hatten eine deutlich stärkere Ausprägung als erwartet. Nach dem Einfärben war es zunächst braun, erst später entwickelte sich ein kräftiges Gelb. Bei dem Papier, das mit Möhre eingefärbt wurde, war zu Beginn noch das Grau des ursprünglichen Papiers zu sehen. Als das Papier vollständig getrocknet war, lies sich zwar ein Orange erkennen, welches wir uns aber kräftiger vorgestellt hatten. Die Farbe des Heidelbeer-Papiers entsprach gar nicht unseren Vorstellungen. Wir hatten mit einem Violett und nicht einem Braun-Orange gerechnet.

Dadurch, dass alle Papiere nach dem Einstreichen mit dem Farbstoff durchgeweicht waren, haben alle ihr Maximum an Farbe aufgenommen. Eine kräftigere Farbe wäre demnach nicht möglich. Eine andere Möglichkeit, warum die Papiere nicht allzu farbig sind, ist, dass unsere Farbstoff-Lösungen zu wässrig waren. Eventuell haben wir beim Pürieren zu wenig Obst oder Gemüse im Verhältnis zum Wasseranteil genommen.

Durch erneutes Einfärben könnte man die Farbwirkung eventuell verbessern.



Nr. 17 Was passiert mit dem Papier beim Bügeln? Warum ist es wichtig, dass das Bügeleisen warm ist?

Nach dem Bügeln wurden die Oberflächen der Papiere deutlich glatter. Die Falten, die von den Leinen des Wäscheständers verursacht wurden, sind größtenteils verschwunden. Insgesamt sind sie zudem komprimiert, also dünner, geworden.

Bei dem Erhitzen werden die Papierfasern wieder leicht gelockert, woraufhin sie komprimiert werden und in der neuen Position wieder verhaken. Unser Papier wird dementsprechend glatter. Etwas Wasserdampf oder generelle Nässe lockern die Fasern noch stärker. Aus diesem Grund ist nasses Papier viel flexibler als Trockenes.



ungebügelt



gebügelt

Nr. 18/ Nr. 20 Schreibt etwas über euer Papier! Was für Eigenschaften hat es? Lässt es sich gut mit einem Stift beschreiben? Wie reißfest ist es? Hat es eine gleichmäßige Farbe? Habt ihr eurem Papier weitere Füllstoffe hinzugefügt oder andere Farben ausprobiert? Was hatte das für einen Effekt? Schickt uns eure Fotos!

Alle Farben, die wir ausprobiert haben, sind unter dem Punkt „Teil 4 - Färben“ zu finden.

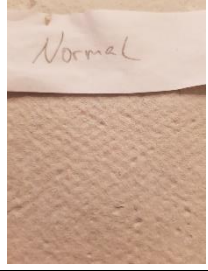
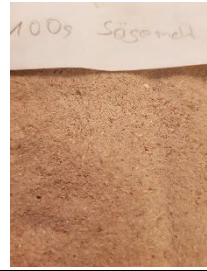
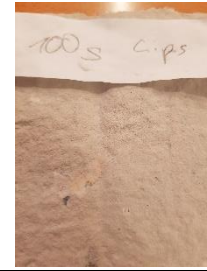
Um die Eigenschaften aller unserer Papiere zu testen und zu vergleichen, haben wir uns Testkategorien ausgedacht, in der wir die jeweilige Eigenschaft untersuchen. Zum Test standen unsere Papiere: Normal, +Stärke, +Sägemehl, +Mehl, +Gips und +Zucker.

1. Gewicht: Wie viel wiegen die Papiere bei gleichem Volumen? Da die Papiere alle recht leicht waren und wir aufgrund der Schulschließung nicht in der Schule experimentieren konnten, stand uns keine präzise Waage zur Verfügung, die genauer als in 1g Schritten misst. Deshalb konnten wir die Papiere nur grob nach Gefühl ordnen. Am Ende haben wir sie noch einmal geordnet: von leicht nach schwer.

Normal	Stärke	Sägemehl	Mehl	Gips	Zucker
Leicht	Deutlich schwerer als Zucker	Ähnlich wie Stärke	Am schwersten	Etwas leichter als Stärke	Etwas schwerer als normal
1	4	4	5	3	2

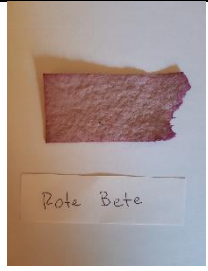





Es lässt sich zwar ein kleiner Gewichtsunterschied zwischen den Papieren feststellen. Unserer Meinung nach ist dieser allerdings so minimal, dass er nicht aussagekräftig ist.

2. Ausgangsfarbe: Welche Farbe hat das Papier nach dem Trocknen, aber vor dem Einfärben?

Normal	Stärke	Sägemehl	Mehl	Gips	Zucker
					
Gräulich	Gräulich-Weiß	Bräunlich	Gräulich	Gräulich	Gräulich


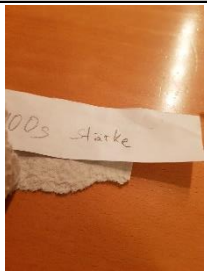


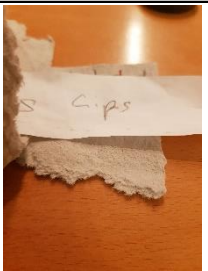
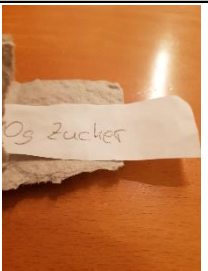
Für den Verbraucher ist vermutlich das Stärke-Papier am geeignetsten, da es dem „frischen“ Papier von der Farbe her am nächsten kommt. Die gräulichen Papiere sind ebenfalls gut für Notizen oder ähnliches nutzbar; das bräunliche Sägemehl-Papier wird aufgrund der Färbung wenig Verwendung finden.

3. Einfärben: Wie gut lässt sich das Papier einfärben?

Normal	Stärke	Sägemehl	Mehl	Gips	Zucker
					
Schwach gefärbt; blass; an den Rändern intensiver	Schwach gefärbt; an den Rändern intensiver	Sehr intensiv und gleichmäßig	Sehr blass; selbst an den Rändern nur bisschen ausgeprägter	Sehr gleichmäßige, blasse Farbe	Ungleichmäßig, blass gefärbt; an den Rändern sehr intensiv

Bei allen Farben ließ sich der Rot-Ton erkennen, besonders intensiv ist dies bei dem Sägemehl-Papier. Bei dem Papier mit Mehl ist es äußerst schwach ausgeprägt.

4. Reißen: Kann man das Papier einfach, gerade und sauber einreißen?

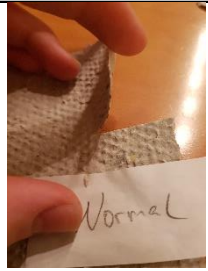




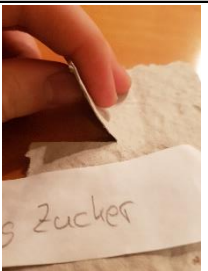
Normal	Stärke	Sägemehl	Mehl	Gips	Zucker
					
Kein gerader Riss; fleddert auf; einfach zu reißen	Kein gerader Riss; fleddert auf; einfach zu reißen	Recht sauberer Riss; sehr einfach zu reißen	Sehr unsauberer Riss; sehr schwierig zu reißen	Riss ist akzeptabel; kein großes Fleddern; sehr einfach zu reißen	Riss ist akzeptabel; innen Fleddern; einfach zu reißen

Da alle Papiere aus mehreren Schichten bestehen, die nicht so fest miteinander verbunden sind wie bei „frischem“ Papier, da die Fasern kürzer sind, erzielt man nicht sehr saubere, gerade Risse.



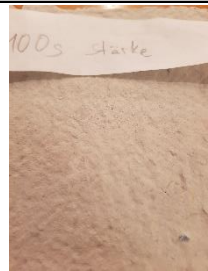
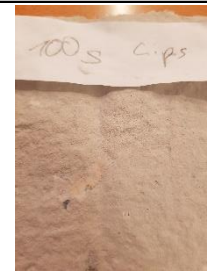
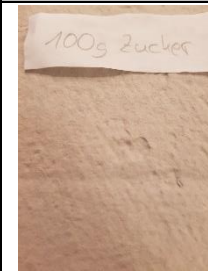
Fleddern

5. Schneiden: Kann man das Papier einfach und sauber schneiden?

Normal	Stärke	Sägemehl	Mehl	Gips	Zucker
					
Sauber; sehr einfach	Sauber; einfach	Sauber; einfach	Sauber; schwierig	Sauber; mittelschwierig	Sauber; einfach

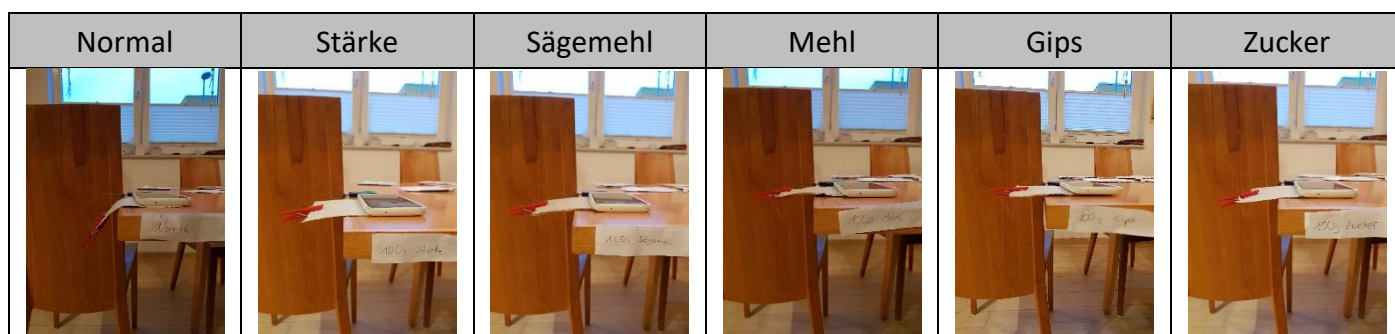
Alle Papiere bis auf das Mehl-Papier konnte man mit einer handelsüblichen Schere ohne großen Kraftaufwand schneiden. Die Schnitte waren allesamt sehr sauber. Das Papier ist nicht wie bei den Rissen gefleddert.

6. Oberflächenbeschaffenheit: Wie ist die Oberfläche beschaffen?

Normal	Stärke	Sägemehl	Mehl	Gips	Zucker
					
Kleinere Beulen durch das Gitter bedingt; sonst glatt	Etwas ausgeprägtere Beulen; sonst sehr glatt	Große Wölbungen; glatte Oberfläche	Sehr große Wölbungen; sonst recht glatt	Mittelgroße Wölbungen; sonst recht glatt	Vereinzelt größere Wölbungen; sonst glatt

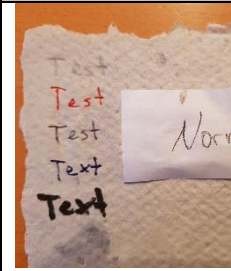
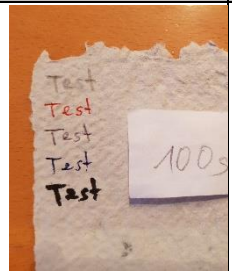


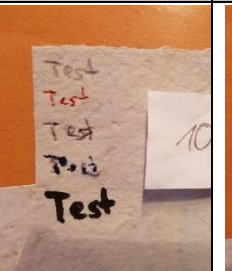

Das normale und das Stärke-Papier haben die glatteste Oberfläche, die „frischem“ Papier am nächsten kommt. Die anderen Papiere haben auch recht glatte Oberflächen, jedoch größere Wölbungen. Dies ist bei den Verbrauchern nicht erwünscht.

7. Stabilität: Wie flexibel und hart ist das Papier? Hierfür haben wir die Papiere auf einen Tisch gelegt, sodass sie immer 5cm überstehen. Die Tischseite haben wir mit einem Handy beschwert, an die andere Seite immer die gleiche Wäscheklammer gehangen. Dann haben wir geschaut, wie sehr sich das Papier krümmt.



Wie an den Bildern zu erkennen ist, gleicht das normale Papier dem uns bekannten „frischen“ Papier. Es biegt sich sehr leicht. Alle anderen Papiere bleiben eher in der Waagerechten, sie sind deutlich stabiler. Sie sind in der Hand auch alle, bis auf Stärke, nicht sehr biegsam. Das Stärke-Papier hingegen kombiniert beides. Es verhält sich in der Hand wie normales Papier, trotzdem erweist es hier eine hohe Stabilität.

8. Beschreibbarkeit: Wie gut lässt sich das Papier mit unterschiedlichen Stiften beschreiben?

Normal	Stärke	Sägemehl	Mehl	Gips	Zucker
					
Nicht gut; Papier zu weich	Gutes Ergebnis	Keine Farbe; Papier reißt	Gutes Ergebnis	Farbe gut; Papier zu weich	Nicht gut; Papier zu weich
Farbe gut; Papier reißt leicht	Farbe gut; Papier reißt minimal	Wenig Farbe; Papier reißt	Gutes Ergebnis	Farbe gut; Papier reißt	Optimales Ergebnis
Gutes Ergebnis	Optimales Ergebnis	Farbe schwach	Gutes Ergebnis	Farbe gut; Papier reißt	Gutes Ergebnis
Muss fest drücken; Farbe mittelgut	Farbe mittelgut	Wenig Farbe; Papier reißt	Gutes Ergebnis	Papier reißt komplett	Gutes Ergebnis
Optimales Ergebnis	Optimales Ergebnis	Optimales Ergebnis	Optimales Ergebnis	Optimales Ergebnis	Optimales Ergebnis

1. Zeile: Bleistift

4. Zeile: Füller

2. Zeile: Fineliner

5. Zeile: Edding

3. Zeile: Kugelschreiber

Möchte man das normale Papier beschreiben, so darf man nicht zu fest aufdrücken, da das Papier recht weich ist. Ansonsten funktioniert es aber recht gut. Das Stärke-Papier schneidet schon deutlich besser ab. Mit allen Stiften kann man ohne zu großen Druck ein gutes Ergebnis erzielen. Auf dem Sägemehl-Papier kann man bis auf mit einem Edding gar nicht schreiben, da es so weich ist, dass man direkt in das Papier ritzt. Das Mehl-Papier ist sehr hart, weshalb es auf jeden Fall nicht einreißt. Durch die festen Hügel verrutscht man allerdings sehr leicht. Wie das Papier mit Sägemehl ist auch das Gips-Papier sehr weich, sodass es leicht reißt. Die Farbe verteilt sich hier jedoch deutlich besser. Das Zucker-Papier lässt sich in etwa mit dem normalen vergleichen. Drückt man auch hier nicht zu fest, so erzielt man ein insgesamt gutes Ergebnis, sogar ein noch etwas Besseres.

Bei allen Papieren gilt: Je größer die Auflagefläche der Stiftmine, desto weniger reißt das Papier und desto besser ist das Endresultat.

9. Saugfähigkeit: Saugt das Papier viel Wasser auf? Wie reißfest ist es im nassen Zustand?

Das normale Papier und das mit Zucker saugen sich leicht und sehr schnell mit Wasser voll. Vollgesaugt lassen sie sich sehr leicht ohne großen Widerstand zerreißen. Das Stärke-Papier saugt sich langsamer als das normale Papier voll, wirkt daraufhin allerdings noch stabiler. Es einzureißen ist aber dennoch kein Problem. Das Aufsaugen des Wassers läuft beim Sägemehl-Papier schnell ab, es nimmt sehr viel Wasser auf. Ebenso ist es beim Gips-Papier. Bei kleinster Berührung zerfällt es. Im Gegensatz dazu saugt das Papier mit Mehl nur äußerst wenig Wasser auf und lässt sich selbst nass nur mit etwas Kraftausübung zerreißen.



Normal



Sägemehl



Zerreißen



Zerreißen

10. Gesamtfazit: Welches Papier ist insgesamt am besten?

Aus unseren zum Teil subjektiven Tests geht hervor, dass das Papier mit dem Stärkezusatz die besten Eigenschaften hat. Die Hauptgründe dafür sind zum einen die ähnliche, weiße Farbe zum uns bekannten „frischen“ Papier und zum anderen die gute Beschreibbarkeit mit nahezu allen Stiften. Außerdem hat es eine sehr glatte Oberfläche und ist sowohl unter Belastung stabil, als auch in der Hand flexibel. Mit einer Schere erzielt man gerade, saubere Schnitte und selbst im nassen Zustand wirkt es noch stabil. Die einzigen negativen Aspekte sind, dass man es nicht gerade reißen kann und es sich nicht kräftig färben lässt. Diese Aspekte sind aber zu vernachlässigen, da sie auf alle Papiere zutreffen.

Nr. 19 Wie ist euer Papier im Vergleich zum Zeitungspapier?

Im Folgenden vergleichen wir unser Stärke-Papier mit dem Zeitungspapier, da es unser bestes Papier war.

Das Zeitungspapier ist im Vergleich zu unserem Papier bei gleicher Fläche deutlich leichter, da es auch deutlich dünner ist. Die Stabilität ist dadurch allerdings auch stark beeinträchtigt. In der Ausgangsfarbe unterscheiden sie sich nur minimal, beide Papiere sind gräulich-weiß. Beim Einfärben ist ein größerer Unterschied festzustellen. Während die Zeitung kräftig-farbige Bilder hat, ist unser Papier nur schwach gefärbt. Wir wissen aber natürlich nicht, wie man unser Papier mit Druckerschwärze, die die Zeitung nutzt, färben könnte. Zudem würde man bei dem Zeitungspapier einen saubereren und geraderen Riss hinkriegen, schneiden kann man beide aber gleich gut. Von der Oberfläche her ist die Zeitung spürbar glatter, während auf unserem Papier das Muster des Gitters vom Schöpfrahmen zu sehen und spüren ist. Beide Papiere sind recht gut zu beschreiben, auf dem Zeitungspapier muss man jedoch nicht so sehr auf den Druck achten. Im nassen Zustand lässt sich Zeitung zerreißen wie Klopapier, das Stärke-Papier wirkt hingegen, wie oben beschrieben, noch etwas stabiler.

Nr. 20 Habt ihr eurem Papier weitere Füllstoffe hinzugefügt oder andere Farben ausprobiert? Was hatte das für einen Effekt? Schickt uns eure Fotos!

Alle weiteren Füllstoffe – Stärke, Sägemehl, Mehl, Gips und Zucker - und die dadurch erzielten Veränderungen der Eigenschaften sind unserem gesamten Protokoll und den Aufgaben zu entnehmen (besonders Aufgabe 18). Ebenso sind alle von uns verwendeten Farbstoffe unter *Teil 4: Färben* inklusive Bilder zu finden.

Ebenfalls haben wir drei dekorative Papiere geschöpft, das Papier mit dem Früchtetee musste aber aus unter Teil 3 benannten Umständen entsorgt werden. Folglich erhielten wir zwei „kreative“ Papiere, einmal eins mit Gras und eins mit einer selbst gesammelten Blütenmischung:



Quellen

- [1] <https://www.helles-koepfchen.de/artikel/3026.html>
- [2] <https://de.wikipedia.org/wiki/Papier#Geschichte>
- [3] <https://de.wikipedia.org/wiki/Pergament>
- [4] <https://de.wikipedia.org/wiki/Papierrecycling>
- [5] <https://www.umweltbundesamt.de/umwelttipps-fuer-den-alltag/haushalt-wohnen/papier-recyclingpapier#gewusst-wie>
- [6] https://www.youtube.com/watch?v=irH3_ob8qRE
- [7] <https://mikroskopie-forum.at/gallery/index.php/Image/1194-Papierfasern/>
- [8] <https://www.zum.de/Faecher/Materialien/leupold/falten/falten01.html>
- [9] <https://de.wikipedia.org/wiki/Papier>
- [10] <https://de.dreamstime.com/stockfoto-papier-unter-dem-mikroskop-image82017697>
- [11] <https://de.wikipedia.org/wiki/Toilettenpapier>
- [12] <https://de.wikipedia.org/wiki/Tissue-Papier>
- [13] <https://data.epo.org/publication-server/pdf-document?pn=0416278&ki=A2&cc=EP>
- [14] http://www.gruberscript.net/09Fuellstoffe_Pigmente.pdf
- [15] <https://de.wikipedia.org/wiki/Farbstoffe>
- [16] <https://de.wikipedia.org/wiki/Pigmente>
- [17] <https://www.seilnacht.com/Lexikon/Pigmente.htm>
- [18] <https://www.chemie.de/lexikon/Pigment.html>
- [19] <https://www.chemie.de/lexikon/Farbstoff.html>
- [20] <https://www.chemie-schule.de/KnowHow/Farbstoff>
- [21] <https://www.duerholdt.de/index.php?id=284>
- [22] https://dechemax.de/Wettbewerbe/2019_2020+_++Alles+Bio%C3%B6konomie_+oder+was_/Runde+1/Frage+der+Woche-frage-7.html
- [23] <https://www.klassewasser.de/content/language1/html/6328.php>
- [24] <https://de.wikipedia.org/wiki/Chlorophylle>
- [25] <https://blog.lavita.de/gemueseblaetter/>
- [26] <https://www.chemie-schule.de/KnowHow/Chlorophyll>
- [27] <https://de.wikipedia.org/wiki/Carotine>

[28] <https://flexikon.doccheck.com/de/Carotin>

[29] <https://www.spektrum.de/lexikon/biologie/carotin/12329>

[30] <https://de.wikipedia.org/wiki/Betanin>

[31] <https://www.lebensmittellexikon.de/b0003830.php>

[32] <https://www.die-bloggerbande.de/grau/>

[33] <https://www.products.pcc.eu/de/blog/wie-entstehen-farben-und-wieso-sehen-wir-sie-farbmodelle-und-ihre-beschreibung/>

[34] <https://www.br.de/radio/bayern2/sendungen/radiowissen/mensch-natur-umwelt/farbensehen-reflexion-absorbtion100.html>

[35] <https://www.tec-science.com/de/optik/farbwahrnehmung/>

[36] <https://www.lernort-mint.de/chemie/farbstoffe/einteilung-von-farbstoffen-grob-einteilung/>

[37] <https://www.juliabigler.com/2016/03/22/anorganische-pigmente-organische-farbstoffe/>

[38] <https://www.salzwiki.de/index.php/Salzwiki:Metallsalze>