



DECHEMA

Gesellschaft für Chemische Technik
und Biotechnologie e.V.

DieChemiker_officially

Unser Protokoll zum Wettbewerb DechemaX

Lukas K.

Florian N.

Friedrich B.

Gymnasium-Essen-Werden



Inhaltsverzeichnis

1. Experiment: Eingefärbte Teelichter	4
Materialien	4
Durchführung	5
Beobachtung & Auswertung	7
2. Experiment: Wachsuhr	9
Materialien	9
Durchführung	10
Beobachtung & Auswertung	12
Fragen	14
1. Was macht eine Uhr aus und wofür wird sie benutzt? Wie sahen die ersten Uhren aus, die vom Menschen verwendet wurden?	14
2. Welchen Vorteil bietet eine Wachsuhr (oder Sanduhr) gegenüber herkömmlichen Uhren?	16
3. Wieso teilen wir Zeit eigentlich nicht in 10er oder 100er Schritten ein, wie wir es z.B. beim Meter machen? 60 Sekunden für 1 Minute, 60 Minuten für 1 Stunde, 24 Stunden für 1 Tag. Das ist doch komisch, oder?	16
4. Wie ließe sich mit einer Kerze ein Wecker bauen? Skizziert eure Ideen!	17
5. Was ist Wachs, woraus besteht es?	18
6. Bienen und Pflanzen benutzen Wachs - aber wofür?	19
7. Woher bekommt Kurkuma seine charakteristische gelbliche Farbe? Wie sieht der Farbstoff chemisch aus? Und was ist mit einer roten Paprika?	20
8. Was passiert physikalisch, wenn ihr das Kurkumapulver mit dem heißen Wachs in Kontakt bringt und die gelbe Farbe in das Wachs übergeht? Wie nennt sich der physikalische Prozess dahinter und was ist die Voraussetzung, damit sich das Wachs überhaupt mit der Farbe einfärben lässt?	21
9. Wieso mischt sich das flüssige Wachs nicht mit dem Wasser?	22
10. Was passiert in der Mischung, wenn das Wachs abkühlt und „wie Schaum“ aussieht? Warum bilden sich bei weiterem Schütteln daraus kleine Kügelchen?	25
11. Mischt ihr eine größere Menge Wachs mit dem Wasser, habt also einen höheren Gewichtsanteil an Wachs in eurem Einmachglas, so bilden sich größere Wachsbröckchen. Woran liegt das?	26
12. Wieso steigen die Wachskugeln in der Wachsuhr auf und nicht ab? Was wäre passiert, wenn ihr statt Wasser Sonnenblumenöl verwendet hättet? Erklärt, welche physikalischen Größen hier von Bedeutung sind und fertigt eine kleine Skizze an, welche das Prinzip veranschaulicht!	27
13. Welchen Effekt hat das Glycerin? Wie nennt sich die Eigenschaft, die das Glycerin beeinflusst? ...	29
14. Wie funktioniert ein Teelicht?	30
15. Bei unserer orangenen Kerze haben wir viel Paprikapulver verwendet. Leider brennt diese Kerze jetzt nicht mehr so stark wie die anderen. Habt ihr eine Idee, woran das liegen könnte?	32

16. Welchen Nachteil bringt die Verwendung von natürlichen Farbgebern wie Kurkuma oder Paprika gegenüber mit chemischen Verfahren gewonnenen Farben mit sich? Bedeutet die Verwendung von chemischen Verfahren automatisch, dass es sich nicht mehr um natürliche Farbstoffe handeln kann?33

Quellen.....34

1. Experiment: Eingefärbte Teelichter

Materialien

- 🕯️ Weiße Teelichter
- 🕯️ Mehrere Gläser/Uhrgläser
- 🕯️ Wasser
- 🕯️ Topf/große Kristallisierschale
- 🕯️ Heizplatten
- 🕯️ Thermometer
- 🕯️ Spatel
- 🕯️ Holzspieße
- 🕯️ Papier
- 🕯️ Waage
- 🕯️ Mörser mit Pistill
- 🕯️ Schere
- 🕯️ Curry
- 🕯️ Kurkuma
- 🕯️ Paprikagewürz
- 🕯️ Gelbe Straßenkreide
- 🕯️ Blaue Tafelkreide
- 🕯️ Kohlebrikett
- 🕯️ Grüner Wachsmalstift

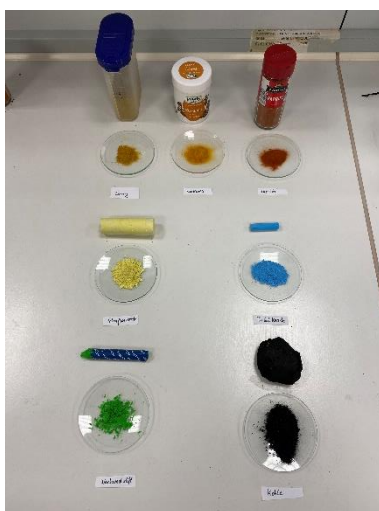


Abbildung 1: Bereitgestellte Farbstoffe



Abbildung 2: Arbeitsfläche



Abbildung 3: Links die Gussformen, rechts Waage und Schmelzstation

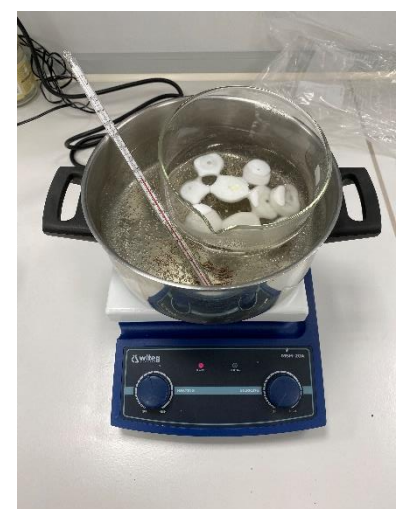


Abbildung 4: Eine Schmelzstation

Durchführung

1. Zu Beginn wurden von dem Wachsmalstift mit einer Schere kleine Stücke abgeschabt, die Kreide und Kohle wurde im Mörser mit einem Pistill zerkleinert. Durch eine identische Menge Wachs und Farbstoff konnte später zwischen den einzelnen Farbstoffen verglichen werden:
 - Von dem Curry und dem Paprikapulver wurden 1.5g und 2.0g abgewogen.
 - Von Kurkuma wurden fünfmal 1.0g bereitgelegt.
 - Von dem grünen Wachsmalstift wurden 1.0g abgeschabt.
 - Von den restlichen drei Farbstoffen wurden jeweils 0.5g und 1.0g abgewogen.
2. Anschließend wurden einige Teelichter vorbereitet, sprich aus ihrer Metallfassung genommen und vom Docht getrennt. Diese wurden für den späteren Gussprozess beiseitegelegt. Die Wachsklumpen wurden daraufhin in kleinere Stücke zerteilt und die Ersten in einer Kristallisierschale über einem Wasserbad eingeschmolzen. Mithilfe eines Thermometers wurde die Temperatur konstant unter dem Siedepunkt des Wassers bei etwa 90°C gehalten.
3. Als die ersten Klumpen geschmolzen waren, wurden immer wieder neue hinzugegeben, wenn sich die Wachsmenge durch das Abfüllen einiger Kerzen verringert hat. Die Methode des separaten Einschmelzens hat den Vorteil, dass aufgrund der kleineren Wachsklumpen, die somit eine größere Gesamtoberfläche haben und dauerhaft von heißem, flüssigem Wachs umgeben sind, der Schmelzprozess beschleunigt wird.
4. Von dem flüssigen Wachs wurde dann die für die gewünschte Anzahl benötigte Menge und etwas Puffer in ein Glas abgefüllt. Dieses wurde über einem weiteren Wasserbad flüssig gehalten, sodass das Wachs nicht wieder in den festen Aggregatzustand übergeht.
5. Im Anschluss wurde zunächst die niedrigste Stufe des jeweiligen Farbstoffes, zum Beispiel 1.5g Curry, hinzugegeben und untergerührt.
6. Sobald sich dieser gut verteilt hatte, wurde eine dünne Schicht in eine leere Fassung gegossen, um den Docht mittig zu fixieren. Nach wenigen Minuten, sobald diese ausgehärtet war, wurde das Teelicht aufgefüllt und nach kurzem Abkühlen in den Kühlschrank gestellt.
7. Daraufhin wurde die nächste Stufe des Farbstoffes der restlichen Wachsmenge der vorherigen Stufe beigefügt, in diesem Fall 2.0g Curry. Anschließend wurde wie bei Punkt 6 vorgegangen und eine weitere Kerze gegossen.
8. Dieses Prozedere wurde mit allen Farbstoffen wiederholt.
9. Mit drei Resten der Farben Blau, durch die Tafelkreide, Gelb, durch die Straßenkreide und Rot durch das Paprikapulver wurde zudem eine dreischichtige Regenbogenkerze gegossen.

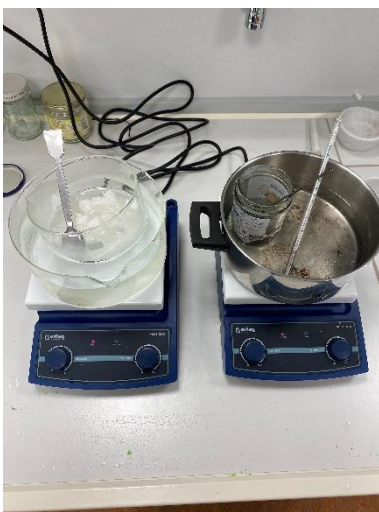


Abbildung 5: Zwei Schmelzstationen



Abbildung 6: Hinzugeben des Farbstoffes



Abbildung 7: Unterrühren des Farbstoffes



Abbildung 6: Weiteres Unterrühren im Wasserbad



Abbildung 97: Vorbereitetes Gießen



Abbildung 10: Gießen der ersten Schicht



Abbildung 11: Glänzende, noch flüssige Schicht



Abbildung 12: Matte, ausgehärtete Schicht



Abbildung 8: Gießen der zweiten Schicht



Abbildung 14: Vollständig gegossene Kerze



Abbildung 15: Glänzende, noch flüssige Kerze



Abbildung 9: Matte, ausgehärtete Kerze

Beobachtung & Auswertung

Wie in den Punkten 2 und 3 bei der Durchführung beschrieben, ist das Wachs sehr schnell geschmolzen und durch ständiges Nachlegen stand zu jedem Zeitpunkt ausreichend Wachs zur Verfügung.

Von der grünen, mit Wachsmalstift eingefärbten Kerze, wurde nur eine Stufe hergestellt, da die Farbe direkt sehr intensiv war.

Die restlichen Farbstoffe, die allesamt pulverförmig vorlagen, lösten sich ab einer gewissen Menge nicht mehr im geschmolzenen Wachs, sondern setzten sich am Boden ab. Es wurden trotzdem alle Stufen durchgeführt und vor dem Gießen kräftig umgerührt, um dennoch eine möglichst gute Farbgebung zu erzielen. Trotz alledem hat sich auch in den gegossenen Teelichtern im flüssigen Zustand noch ein Bodensatz gebildet.

Hier einige weitere Bilder:



Abbildung 17: Ungelöste Kohlereste



Abbildung 18: Bodenabsatz aus Curry



Abbildung 19: Auch bei der Tafelkreide Bodensatz



Abbildung 20: Ausgehärtete Kerzen außer Kurkuma

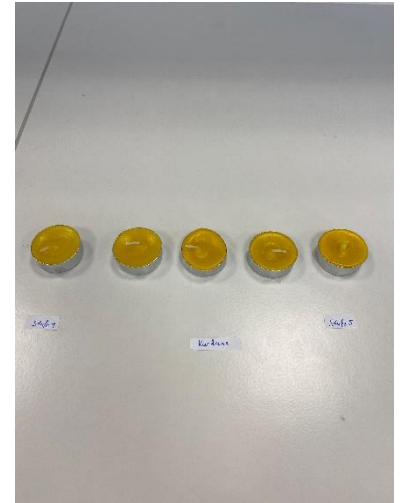


Abbildung 21: Kurkuma Kerzen

Wie in Abbildung 20 sehr schön zu erkennen ist, haben trotz allen Bodensätzen im flüssigen Zustand alle Kerzen am Ende eine intensive Färbung. Besonders bei den mit Kohle, blauer Tafelkreide und mit Paprika-Gewürz gefärbten Kerzen ist der Unterschied zwischen der ersten und zweiten Stufe deutlich erkennbar. Bei den anderen ist er weniger prägnant.

Bei den Kerzen, die mit Kurkuma gefärbt wurden, ist leider kein deutlicher Farbunterschied zu erkennen, wie es erhofft war. Dies liegt sehr wahrscheinlich an der zu hohen Einstiegsmenge. Bei der zweiten Stufe hat sich bereits ein Absatz im Glas gebildet, es wurde sich trotzdem dafür entschieden, die vorbereiteten Stufen zu gießen. Hätte man hier mit einer kleineren Stufe begonnen und die folgenden auch nur geringer erhöht, beispielsweise mit 0.2g und dann in 0.2g-Schritten bis 1.0g hoch, so hätte man vermutlich eine differenziertere Farbpalette erhalten.

Auch die Regenbogenkerze mit den drei nacheinander gegossenen Schichten ist gelungen. Alle Schichten heben sich deutlich voneinander ab und haben sich nicht vermischt. Es wirkt jedoch so, als würde sie leicht auseinanderbrechen, da die einzelnen Schichten nicht genug aneinanderhaften. Aus diesem Grund sollte bei mehrfarbigen Kerzen so gegossen werden, dass die Schichten kurz abkühlen, aber noch nicht vollständig ausgehärtet sind, wenn die Folgeschicht hinzukommt.



Abbildung 22: Regenbogenkerze frontal



Abbildung 23: Regenbogenkerze seitlich

2. Experiment: Wachsuhr

Materialien

- 🕯️ Wachs
- 🕯️ Gläser mit Deckel
- 🕯️ Spatel
- 🕯️ Heißes Wasser
- 🕯️ Destilliertes Wasser
- 🕯️ Messzylinder
- 🕯️ Erlenmeyerkolben
- 🕯️ Handschuhe
- 🕯️ 2 Reiseflaschen aus Plastik, 100ml
- 🕯️ Taschenmesser mit Säge
- 🕯️ Heißklebepistole
- 🕯️ Klebeband
- 🕯️ Glycerin



Abbildung 24: Materialien allgemein

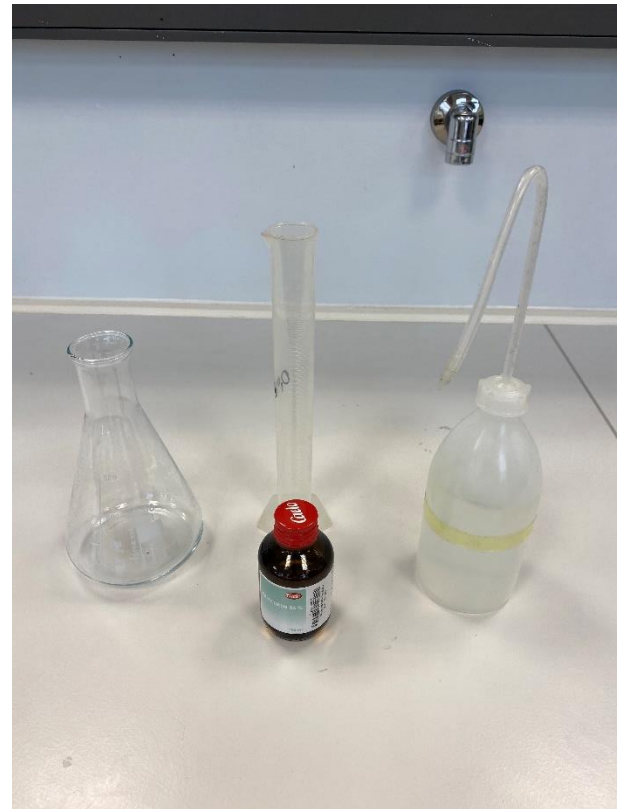


Abbildung 25: Materialien für die Glycerin/Wasser-Mischung

Durchführung

1. Als erstes wurde mit der Säge des Taschenmessers der Boden einer Flasche abgesägt, sodass die Uhr später befüllt werden konnte. An den Flaschenhälsen wurde das Gewinde nicht abgesägt, da es bei unseren Fläschchen nicht sinnvoll gewesen wäre, weil der Flaschenhals eine optimale Durchlassgröße vorzuweisen hatte.
2. Nachdem die Flaschen nun vorbereitet waren, wurden sie an den Flaschenöffnung mit Heißkleber zusammengeklebt und im Anschluss wurde diese Stelle noch mit Klebeband verstärkt. Um zu testen, ob das System dicht ist, wurde es vollständig mit Wasser gefüllt, um auch den späteren Wasserdruck zu simulieren.
3. Nachdem das Gehäuse für die Wachsuhr fertiggestellt worden war, wurden die Wachskügelchen hergestellt. Es wurden drei verschiedene Kugelfarben hergestellt: Gelbe mit Kurkuma, Rote mit Paprikapulver und Blaue mit Tafelkreide.
4. Wie in Experiment 1 wurde zunächst das Wachs eingeschmolzen und eingefärbt. Im Anschluss wurde dieses Wachs in ein Glas gegeben und heißes Wasser hinzugegeben. Dabei wurde auch mit dem Verhältnis von Wasser und Wachs experimentiert.
5. Das Glas wurde daraufhin verschlossen und gleichmäßig bis zum Auskühlen geschüttelt. Die dadurch entstandenen Kügelchen wurden mit einem Spatel abgeschöpft und zum Trocknen in eine Kristallisierschale ausgelegt.
6. Eine Woche später, als in der Schule weiter experimentiert wurde, waren die Kügelchen getrocknet. Einige wenige mussten noch auseinandergebrochen werden.
7. Durch die verbliebene Öffnung in dem Gehäuse wurde die untere Flasche etwa zur Hälfte mit den Kügelchen der unterschiedlichen Farben gefüllt.
8. Zum Schluss wurde eine Wasser-Glycerin Mischung hergestellt. Dafür haben wir 75ml destilliertes Wasser und 75ml Glycerin abgemessen und in einem Erlenmeyerkolben durch Schwenken gemischt. So konnte sichergestellt werden, dass wirklich ein 1:1-Verhältnis vorliegt. Mit dieser homogenen Lösung wurde die Wachsuhr aufgefüllt.
9. In einem letzten Schritt wurde dann noch der Boden wieder auf das Gehäuse geklebt, sodass die Uhr ein geschlossenes System war.



Abbildung 26: Absägen des Bodens einer Flasche



Abbildung 27: Vorbereitete erste Flasche



Abbildung 28: Zusammenkleben mit Heißklebe



Abbildung 29: Erste Verklebung

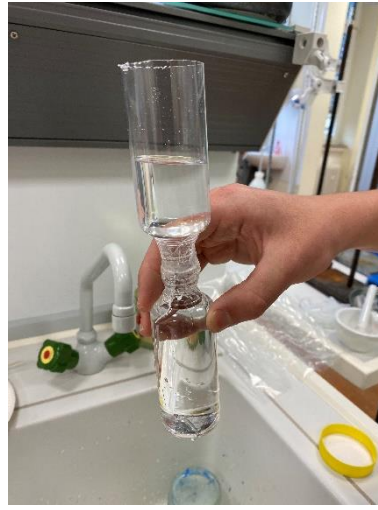


Abbildung 30: Test auf Dichtheit



Abbildung 31: Verklebtes Gehäuse



Abbildung 32: Schütteln der Wasser/Wachs-Mischung



Abbildung 33: Schaum, der sich nach einigen Minuten bildet



Abbildung 34: Fertige Kügelchen

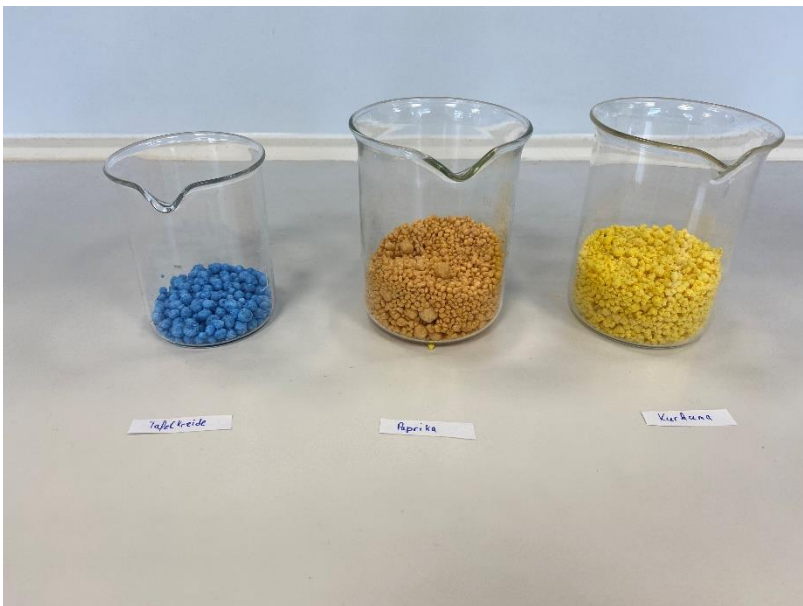


Abbildung 35: Alle drei Farben; blaue Kügelchen sind aufgrund höheren Wasser- zu Wachs Verhältnisses größer

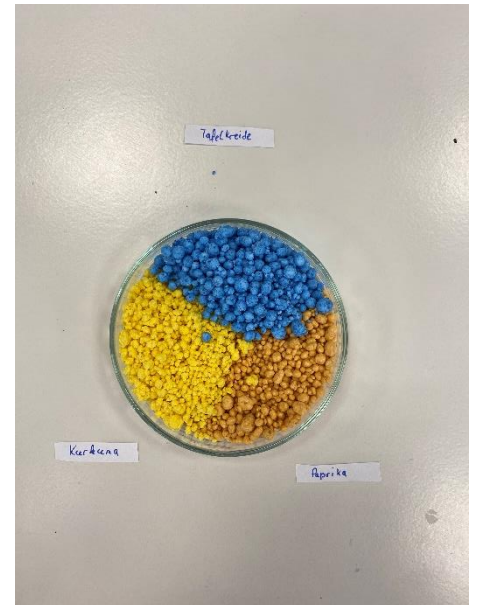


Abbildung 36: Mischung der Kügelchen

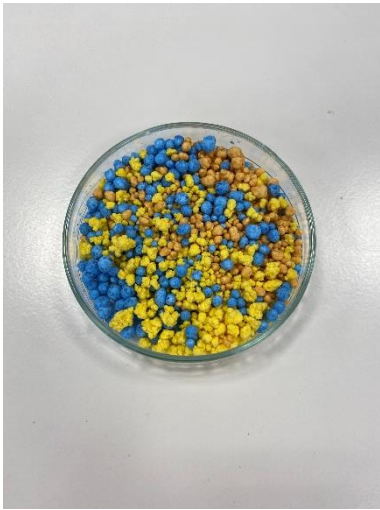


Abbildung 37: Gemischte Kügelchen



Abbildung 38: Einfüllen in das Uhrgehäuse



Abbildung 39: Gefülltes Gehäuse



Abbildung 40: Auffüllen mit der Wasser/Glycerin-Mischung



Abbildung 41: Verschließen des Gehäuses



Abbildung 42: Fertige Wachsuhr

Beobachtung & Auswertung

Nachdem das Gehäuse hergestellt worden war, wurde wie in Punkt 2 beschrieben der Test auf Dichtheit durchgeführt. Dabei stellte sich heraus, dass das System an der Verbindungsstelle undicht war. Diese Stelle wurde neu geklebt, diesmal einfach mit einer dickeren Schicht Heißkleber, dafür aber ohne Klebeband. Ein erneuter Test bestätigte daraufhin, dass es nun wasserdicht war.

Beim Herstellen der Wachskügelchen wurde mit einer niedrigen Menge an gelb eingefärbtem Wachs begonnen. Nach einer Schüttelzeit von 25-30 Minuten erhielt man somit kleine Wachskügelchen. Danach wurde das rot eingefärbte Wachs, diesmal eine größere Menge Wachs im Verhältnis zum Wasser, gewählt und ebenfalls geschüttelt. Die roten Kügelchen sind durchschnittlich bereits deutlich größer im Durchmesser als die Gelben. Abschließend wurden die blauen Kugeln mit der größten Menge Wachs hergestellt, folglich waren die Kügelchen auch die größten von allen.

Nach dem Verkleben funktionierte die Wachsuhr wunderbar, allerdings verklemmten die Kügelchen häufiger den Durchlass in der Mitte; dies ließ sich durch leichtes Klopfen an die Seite jedoch direkt beheben. Das Problem war die Verengung der Fläschchen, welche zu schnell zu flach wurde, wodurch sich die Kügelchen dort manchmal gestaut haben. Besser wären Flaschen, die langsamer zulaufen.

Um zu überprüfen, ob die Wachsuhr zur zuverlässigen Zeitmessung dienen kann, wurde zudem eine Messreihe durchgeführt. Dabei wurde zehn Mal die Zeit gemessen, die die Wachskügelchen benötigen, um von der unteren Flasche in die obere zu gelangen.

1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
25,19s	21,82s	25,60s	18,37s	24,86s	24,62s	25,31s	25,84s	22,76s	23,13s

Mit Ausnahme des vierten Messwertes, der als ungültig zu betrachten ist, lässt sich ein Mittelwert bilden:

$$m = \frac{25,19s + 21,82s + 25,60s + 24,86s + 24,62s + 25,31s + 25,84s + 22,76s + 23,13s}{9} \approx 24,35s$$

Folglich ist die Uhr zum Zeit messen nur in Maßen zu gebrauchen, da sie zwar in den meisten Fällen etwa 25 Sekunden anzeigt, aber auch häufig verstopft, sodass man immer danebenstehen müsste, um direkt einmal dagegen zu klopfen, damit die Zeit nicht verfälscht wird.

Fragen

1. Was macht eine Uhr aus und wofür wird sie benutzt? Wie sahen die ersten Uhren aus, die vom Menschen verwendet wurden? [1], [2], [3], [4], [5], [6]

Eine Uhr ist ein Messgerät, welches den aktuellen Zeitpunkt anzeigt und zudem dazu dienen kann, Zeitspannen zu messen. Sie repräsentiert einen grundlegenden Parameter und ist in allen Lebensbereichen vertreten: Im Alltag, in Computern bis hin zur Wissenschaft und Raumfahrt.

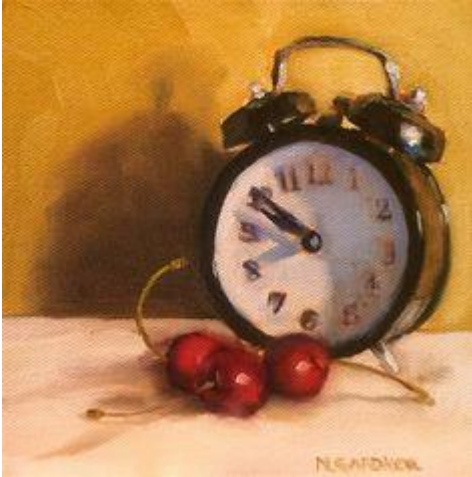


Abbildung 43: Vanitas-Stilleben mit Uhr

Ganz nach dem diesjährigen Wettbewerbsmotto „MINT trifft Muse – die Wissenschaft der Kunst“ steht sie in der Kunst als Vanitas-Motiv für Vergänglichkeit und die eigene Sterblichkeit. Des Weiteren steht sie auch für Reichtum und Mäßigung.

Im Altertum wurde die Zeit durch Sonne und Mond bestimmt. Daraus entwickelten die alten Ägypter die Sonnenuhr, welche je nach Sonnenstand einen Schatten wirft und somit die Tageszeit anzeigt. Dabei gibt es jedoch das Problem, dass sich der Stand der Sonne im Verlauf der Jahreszeiten ändert und die Uhr somit über das Jahr keine konstante Zeit anzeigen kann. Die Anzeige von 12 Uhr wäre demnach im Sommer und Winter unterschiedlich.

Circa 1500 vor Christus wurde dann die erste Uhr erfunden, die unabhängig von der Sonne und dem Wetter allgemein war. Der Beamte Amenemhet erfand die sogenannte Wasseruhr, welche die Zeitmessung maßgeblich verbessert hat, da es gleichmäßige Zeiteinheiten gab. Bei diesen handelte es sich um ein Gefäß, welches mit Wasser gefüllt war, und auf dem auf der Innenseite eine Skala aufgezeichnet ist. Das Wasser fließt durch ein kleines Loch am Boden ab, wodurch der Wasserspiegel sinkt und die Uhrzeit anhand der Skala abgelesen werden kann. Daher kommt auch das Sprichwort „Die Zeit ist abgelaufen“. Durch Zahnräder, welche an der Uhr angebracht wurden, konnten auch die ersten Uhrzeiger und Ziffernblätter ermöglicht werden, welche das Ablesen der Uhrzeit vereinfachten.

Heutzutage finden wir Uhren überall: Als Wanduhr im Raum, als kleine Armbanduhr am Arm oder im Handy in der Hosentasche oder jeglichen elektronischen Geräten als Digitaluhr.



Abbildung 44: Sonnenuhr



Abbildung 45: Atomuhr

Der folgende Zeitstrahl zeigt in Kurzform die Geschichte von Uhren:

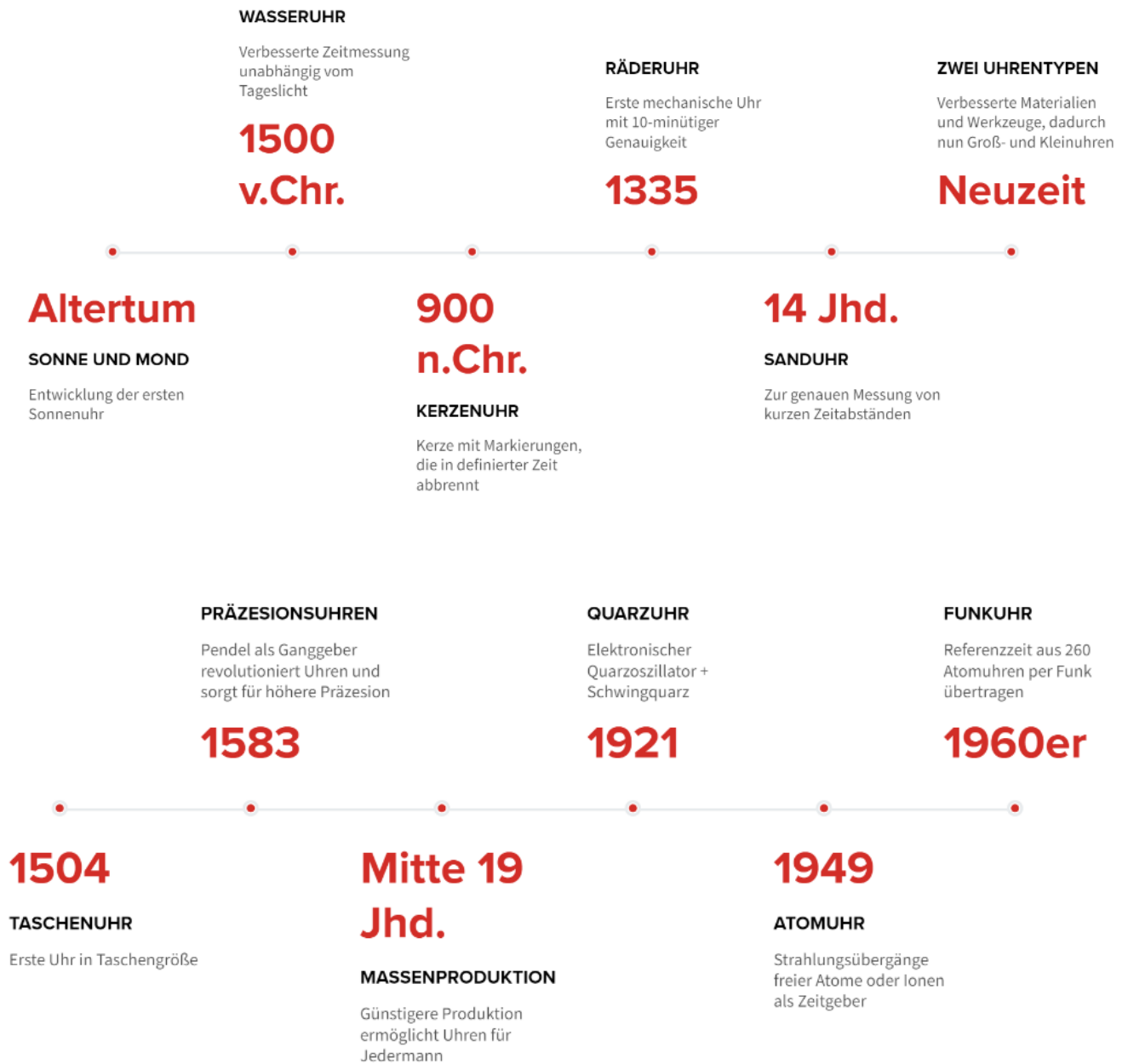


Abbildung 46: Zeitstrahl der Uhrengeschichte

2. Welchen Vorteil bietet eine Wachsuhr (oder Sanduhr) gegenüber herkömmlichen Uhren? [7], [8]

Im Gegensatz zu mechanischen Uhren bieten Sand- oder Wachsuhren den Vorteil, dass sie aufgrund ihres simplen Aufbaus kostengünstiger sind. Zudem benötigen sie keinen Taktgeber, geschweige denn Strom, sodass sie ortsunabhängig sind und meistens aufgrund ihrer Größe leicht mit auf die Reise genommen werden können. Da sie wie erwähnt keine komplexe Mechanik benötigen, sind sie nicht störanfällig. Somit wurden sie früher zur Bestimmung der Zeit einer Nachtschicht oder bei der Schifffahrt zur Bestimmung der Reisegeschwindigkeit genutzt.



Abbildung 47: Sanduhr

3. Wieso teilen wir Zeit eigentlich nicht in 10er oder 100er Schritten ein, wie wir es z.B. beim Meter machen? 60 Sekunden für 1 Minute, 60 Minuten für 1 Stunde, 24 Stunden für 1 Tag. Das ist doch komisch, oder? [9], [10], [11], [12], [13]

Dass eine Minute 60 Sekunden beziehungsweise 60 Minuten eine Stunde sind, geht auf die Babylonier, circa 1895 v.Chr., zurück, welche Berechnungen im Sexagesimalsystem durchführten, das auf der Basis 60 beruht. Eratosthenes hat deshalb später einen Kreis in 60 Teile unterteilt, wodurch sich auch eine volle Zeiteinheit in 60 Teilbereiche unterteilen ließ. Claudius Ptolemäus unterteilte eine Zeiteinheit, unsere heutige Stunde, schließlich in zwei Stufen auf jeweils 60 Teile auf, wodurch die sogenannten „partes minutae primae“ und die „partes minutae secundae“ entstanden, welche unseren Minuten beziehungsweise Sekunden entsprechen.

Die Unterteilung eines Tages auf 24 Stunden geht hingegen auf die alten Ägypter zurück, so jedenfalls die Vermutung der Wissenschaft. Sie konnten den Tag mithilfe ihrer Sonnenuhren in etwa gleiche Zeiteinheiten unterteilen, die Nacht stellte sie jedoch vor eine große Herausforderung. Ägyptische Astronomen entdeckten etwas später 36 Sterne, welche den Himmel in gleich große Teile aufteilten. Die Hälfte, also 18 dieser Sterne, wurde für die Unterteilung der Nacht genutzt. In der Zeit zwischen 1550 und 1070 v.Chr. hat man dieses System schließlich vereinfacht, indem man 24 Sterne festlegte, von denen 12 den Tag und 12 die Nacht unterteilten. Aufgrund dieser 24 Zeiteinheiten schlug Hipparchos vor, den Tag in 24 Stunden aufzuteilen, so wie wir es heute tun. Verbreitet hat sich dieses System jedoch erst im Zeitalter der mechanischen Uhren.

4. Wie ließe sich mit einer Kerze ein Wecker bauen? Skizziert eure Ideen!

Zuerst einmal muss für diese Aufgabe der Begriff des „Weckers“ genauer definiert werden. Es gibt zum einen die Küchenwecker, die wir bewusst für eine eher kürzere Zeitspanne stellen und wahrnehmen, wenn die von uns eingestellte Zeit abgelaufen ist. Der andere Fall sind Wecker, die wir uns stellen, um geweckt zu werden. Diese geben in der Regel ein akustisches Signal von sich, um uns zu wecken.

Möchte man nun mit einer Kerze einen Wecker der ersten Kategorie bauen, lässt sich dies nach einem ähnlichen Prinzip wie die alten Wasseruhren bauen. Man nimmt eine Kerze, welche in regelmäßigen Abständen Markierungen hat, die bestimmten Zeitabschnitten entsprechen. Selbstverständlich muss vorher experimentell bestimmt werden, wie lange es wirklich dauert, bis ein Abschnitt abgebrannt ist. Dieser Wecker funktioniert jedoch nur, wenn man in der Nähe bleibt und regelmäßig nachschaut, wie weit die Kerze abgebrannt ist.

Möchte man hingegen einen Wecker bauen, welcher durch ein akustisches Signal ein Weckzeichen von sich gibt, so muss auf eine Kettenreaktion zurückgegriffen werden, welche durch das Abbrennen der Kerze schließlich die Reaktion auslöst. Dafür stehen zwei Möglichkeiten zur Verfügung:

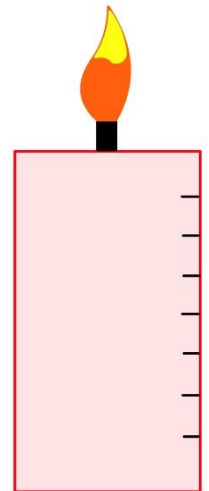


Abbildung 48: Simpler Wecker mit Zeitabschnitten

1. Die Flamme brennt beim Erreichen einer bestimmten Höhe etwas ab.
2. Das Gewicht der Kerze oder des abtropfenden Wachses bewegt etwas.

Für den ersten Fall (Abb. 49) wird durch eine Kerze ein Loch in der Nähe des Doctes gebohrt. Am besten nimmt man wie bei dem ersten Wecker eine mit Markierungen versehene Kerze, sodass man weiß, wie lange

es braucht, bis die Flamme auf der Höhe des Loches angelangt ist. Durch dieses Loch wird ein Faden gespannt, welcher auf beiden Seiten an einem Klotz oder jeglichem Gestell befestigt wird. Neben der Kerze wird an dem Faden eine Kugel befestigt, welche, wenn der Faden durchbrennt, wegen der Gravitation nach unten schwingt und auf die Glocke trifft, wodurch das erwähnte akustische Signal erzeugt wird.

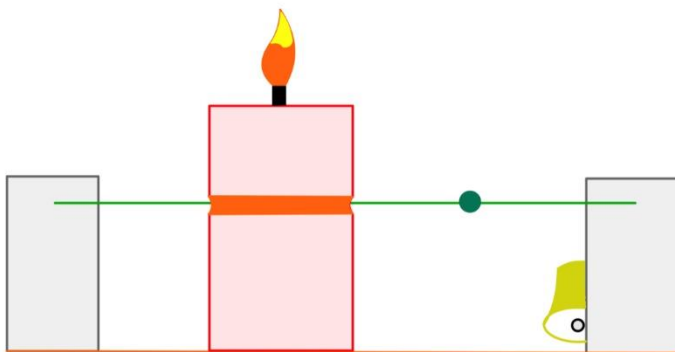


Abbildung 49: Wecker basierend auf dem Abbrennen eines Fadens

Der zweite Fall (Abb. 50) kann recht ähnlich abgedeckt werden, auch hier soll nach einem Ereignis ein Faden durchtrennt werden. Nur wird diese Reaktion diesmal durch eine Gewichtsänderung ausgelöst: Eine schräg montierte Kerze brennt mit der Zeit ab und ein Teil des flüssigen Wachses tropft auf eine Waage. Ist ein gewisses Gewicht überschritten, welches mit Gegengewichten auf der rechten Seite variiert werden kann, so hebt sich die rechte Seite der Waage an, und eine Rasierklinge durchtrennt den Faden. Dieser Wecker ist jedoch nicht so zuverlässig, da nicht genau vorhergesagt werden kann, wie viel Wachs wirklich hinuntertropft oder verdampft.

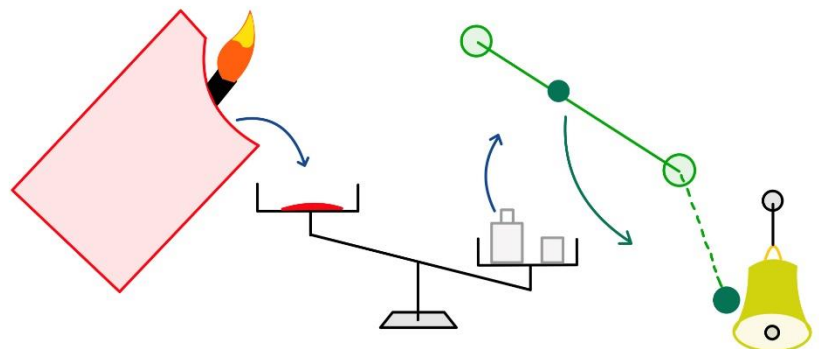


Abbildung 50: Wecker basierend auf der Gewichtsveränderung

5. Was ist Wachs, woraus besteht es? [14], [15], [16], [17], [18]

Bis heute gibt es keine eindeutige Definition von Wachs, da es zahlreiche Stoffgruppen gibt, die wachsartiges Verhalten aufzeigen. Die wohl bekannteste Definition ist folgende:

„Ein Stoff wird demnach als Wachs bezeichnet, wenn er bei 20 °C knetbar, fest bis brüchig-hart ist, eine grobe bis feinkristalline Struktur aufweist, farblich durchscheinend bis opak, aber nicht glasartig ist, über 40 °C ohne Zersetzung schmilzt, wenig oberhalb des Schmelzpunktes leicht flüssig (wenig viskos) ist, eine stark temperaturabhängige Konsistenz und Löslichkeit aufweist sowie unter leichtem Druck polierbar ist“ (Wikipedia, zitiert nach der Deutschen Gesellschaft für Fettwissenschaft)

Natürliche Wachse bestehen zum Großteil aus Estern von Fettsäuren (Carbonsäuren mit einer Kohlenstoffkette von mindestens 4 Kohlenstoffatomen) mit langkettigen Primäralkoholen, den sogenannten Fettalkoholen. Sie zählen somit zur Stoffgruppe der Lipide. Die bekannteste Form von natürlichen Wachsen ist das Bienenwachs, welches bereits vor etwa 5000 Jahren entdeckt worden ist. Die Hauptmasse des Waxes wird von Bienen produziert; um 100g Wachs herzustellen werden 1000g Honig benötigt. Die gelbliche Färbung trotz ursprünglich weißer Farbe ergibt sich durch den Kontakt mit Honig.

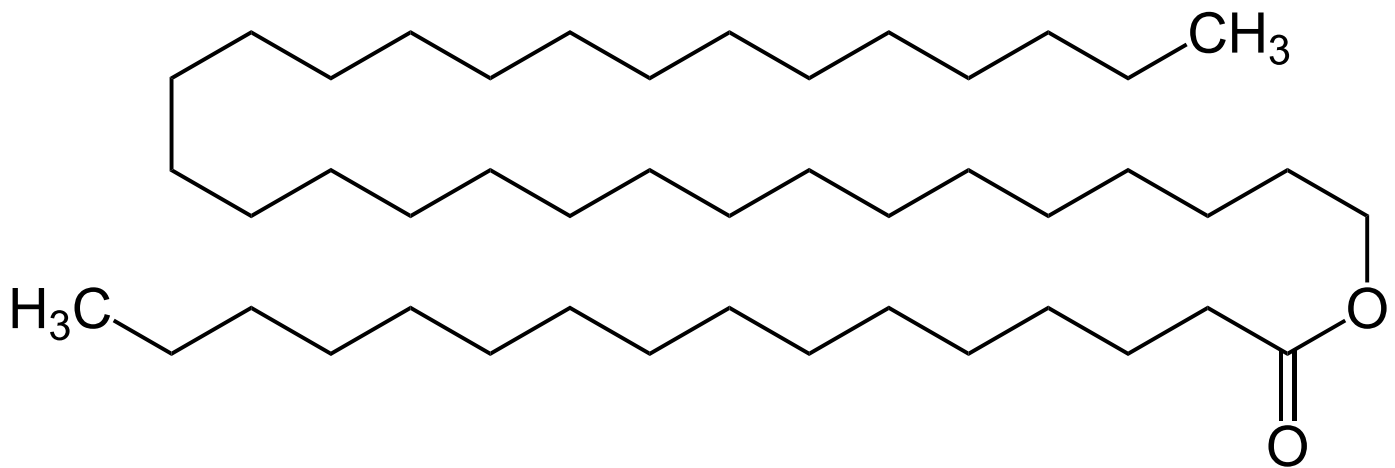


Abbildung 51: Palmitinsäuremyricylester, ein Bestandteil von Bienenwachs

Synthetisch hergestellte Wachse bestehen größtenteils aus Paraffin und/oder Stearin. Paraffin ist ein Nebenprodukt der Erdölproduktion und ist die am meisten verwendete Grundsubstanz für Kerzen, da es ungiftig, preiswert und leicht zu verarbeiten ist. Stearin besteht aus diversen Säuren und Fetten, welche aus Kokosnüssen und dem Talg von Tieren gewonnen werden. Auch dieses ist biologisch abbaubar, wodurch die Reste der Kerzen ohne Umweltbelastung entsorgt werden können. Zur kostengünstigen Herstellung werden häufig beide Werkstoffe miteinander vermischt.

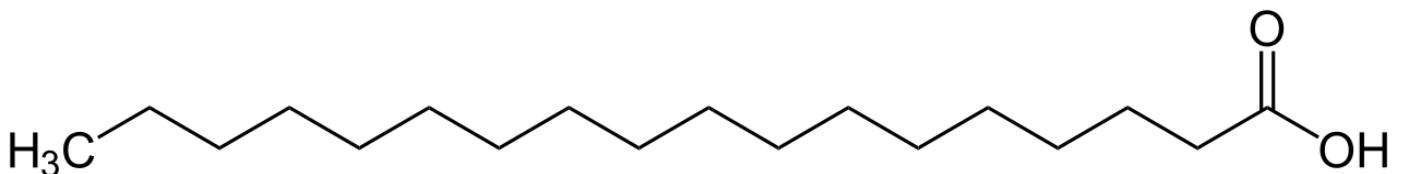


Abbildung 52: Stearinsäure

6. Bienen und Pflanzen benutzen Wachs - aber wofür? [14], [19], [20], [21]

Bienen nutzen das eigens produzierte Wachs als Baumaterial. Zusammen mit gesammelten Holzstücken verkleben sie es zu Waben, die einen Bienenstock bilden. Die einzelnen Waben dienen dann unterschiedlichen Zwecken: einige werden als Schlafplatz der Bienen verwendet, andere als Vorratskammer oder als Legeplatz für die Eier. Nachdem die Eier in die Waben gelegt wurden, verschließt die Königin sie mit Wachs, damit die Eier ins Larvenstadium reifen können.



Abbildung 53: Biene an Waben

Viele Pflanzen haben auf der Oberseite ihrer Blätter eine dünne Wachsschicht, die sogenannte Cuticula, welche aufgrund ihrer hydrophoben Eigenschaft den Wasserverlust verringert. Zudem kann sie dem Wachstum folgen und dient auch als Verteidigung, weil bei Regen Viruspartikel und andere Schädlinge einfach von den Blättern gespült werden. Je nach Trockenheit des Standortes ist die Cuticula dicker oder dünner, um die Pflanze bestmöglich vor den natürlichen Standortbedingungen zu schützen. Eine weitere physikalische Eigenschaft besteht darin, dass sie einfallendes Licht reflektiert und streut und damit den Wärmeaustausch erhöht.

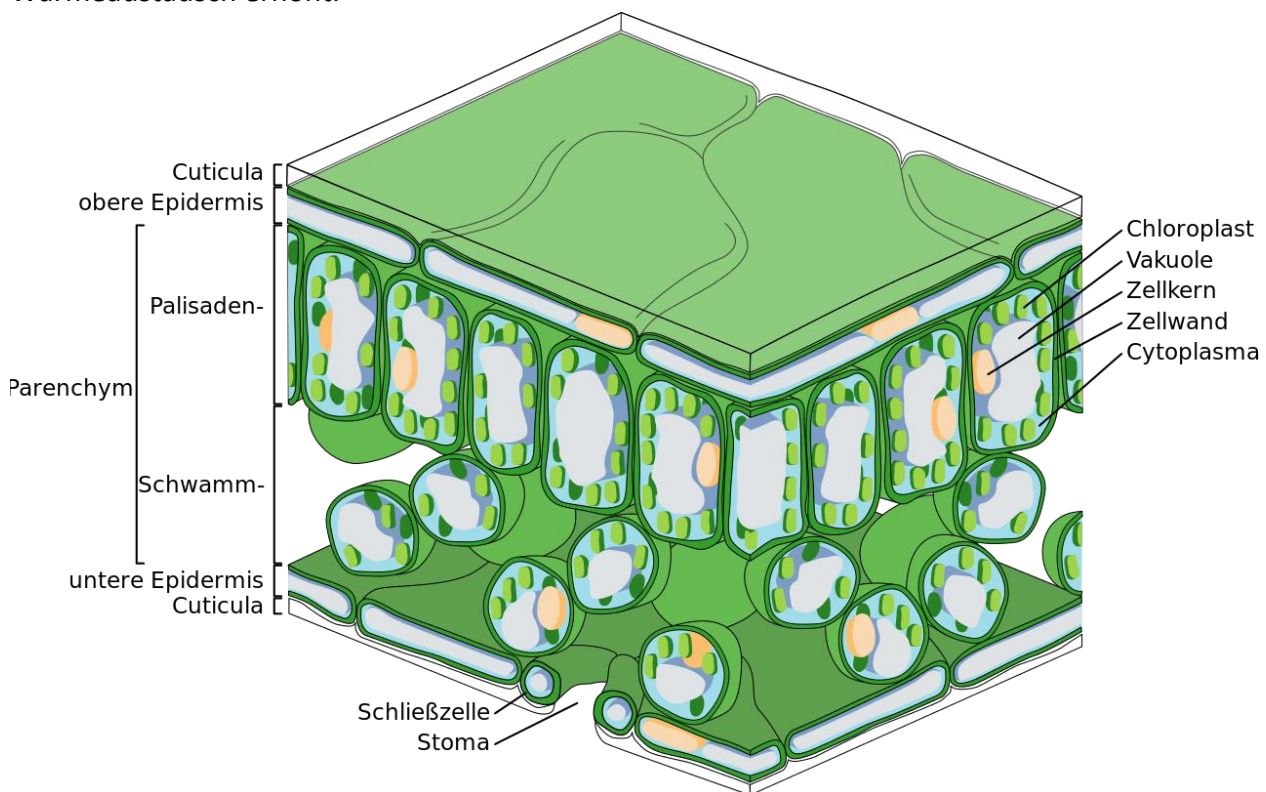


Abbildung 54: Schematische Abbildung einer Cuticula

7. Woher bekommt Kurkuma seine charakteristische gelbliche Farbe? Wie sieht der Farbstoff chemisch aus? Und was ist mit einer roten Paprika? [22], [23], [24]

Kurkuma besteht aus zahlreichen Komponenten, die chemisch wichtigsten sind Curcumin (60%), Demethoxycurcumin (25%) und Bisdemethoxycurcumin (15%). Der Farbstoff Curcumin sorgt dabei für die charakteristische orange-gelbe Farbe.

Chemisch basiert er wie für Farbstoffe üblich auf Benzol, zu erkennen an der typischen Ringstruktur, und Kohlenstoffketten mit Hydroxy- beziehungsweise Ketogruppen. Er gehört zur Stoffgruppe der pflanzlichen Polyphenole.

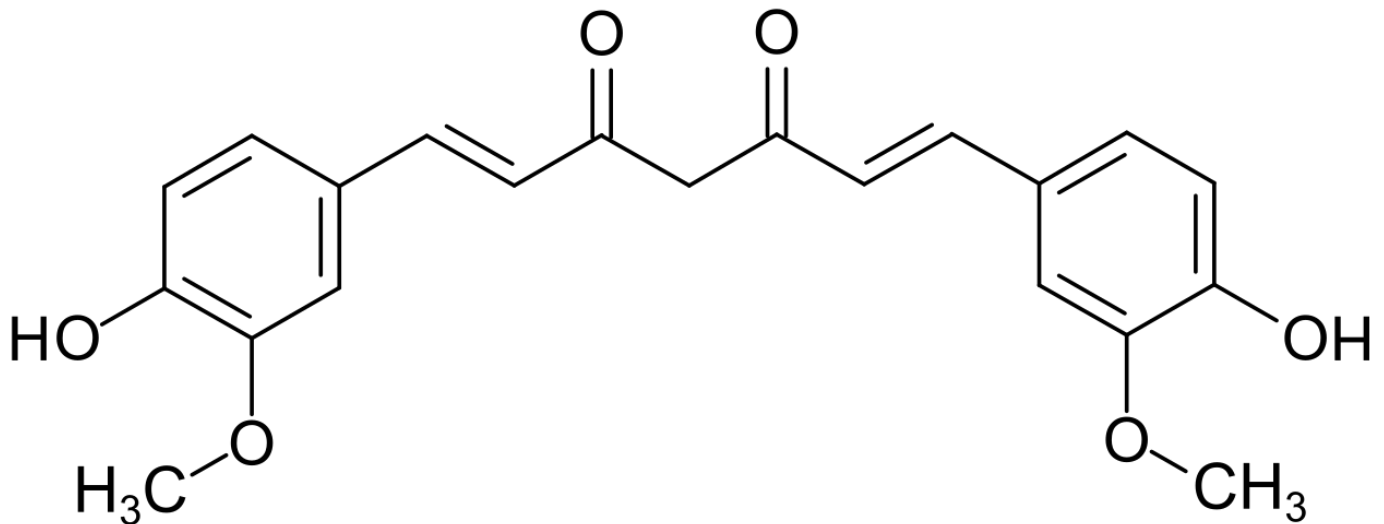


Abbildung 55: Curcumin

Rote Paprika hingegen enthält Capsanthin, einen roten Farbstoff der Xanthophyllen (sauerstoffhaltige Carotinoide).

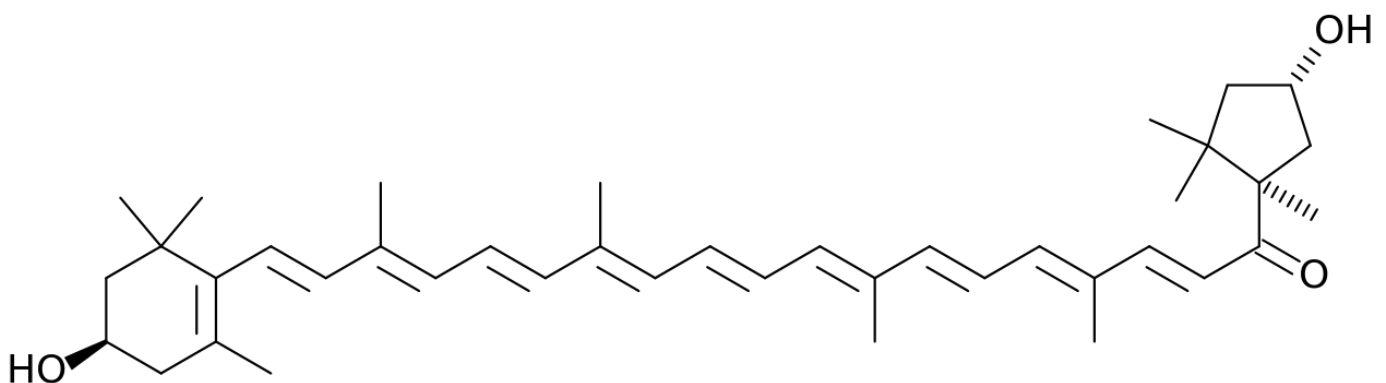


Abbildung 56: Capsanthin

8. Was passiert physikalisch, wenn ihr das Kurkumapulver mit dem heißen Wachs in Kontakt bringt und die gelbe Farbe in das Wachs übergeht? Wie nennt sich der physikalische Prozess dahinter und was ist die Voraussetzung, damit sich das Wachs überhaupt mit der Farbe einfärben lässt? [38], [39], [40]

Kommt das Kurkumapulver mit dem heißen Wachs in Berührung, so kommt es zu einem Wärmeaustausch zwischen beiden Stoffen. Ein Teil der Wärmeenergie geht ebenfalls als Wärme auf das Kurkumapulver über, welches sich somit erhitzt. Aufgrund der steigenden Hitze löst sich das Curcumin, der Farbstoff des Kurkumas, heraus und geht in das Wachs über. Das im Kurkuma enthaltene Curcumin wird folglich aus dem Kurkuma extrahiert.

Exkurs Extraktion: Extraktion bezeichnet ein Stofftrennungsverfahren, bei dem aus dem Extraktionsgut, einem Stoffgemisch beliebig vieler Stoffe (auch unterschiedlicher Aggregatzustände), ein Extrakt entzogen wird. Wird dieses Extrakt in Reinform gewonnen, so handelt es sich dabei um ein chemisches Verfahren, wird er jedoch nur im Lösungsmittel gelöst oder adsorbiert, so handelt es sich um ein physikalisches Verfahren.

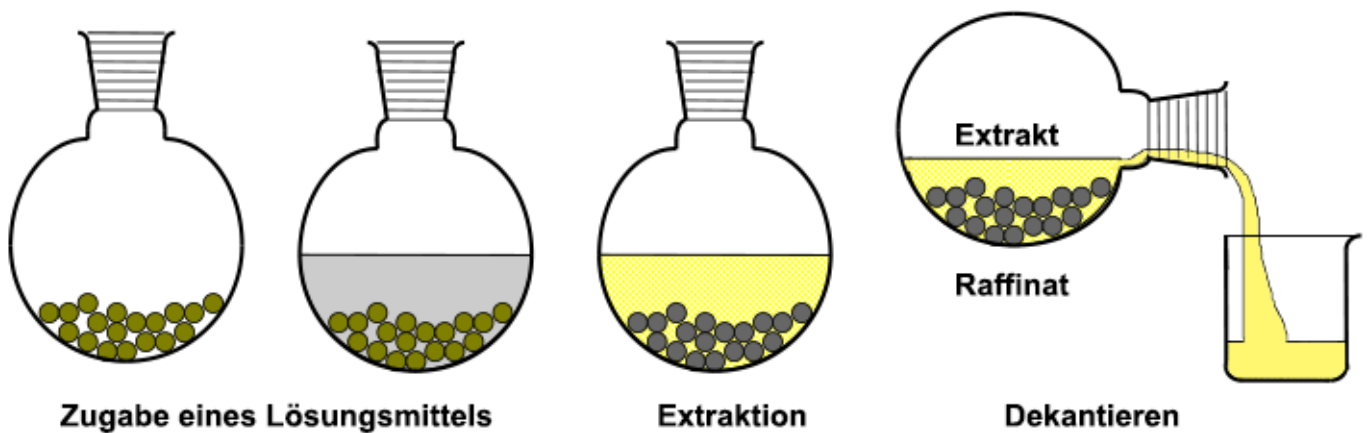


Abbildung 57: Schematische Durchführung einer Extraktion

Das nun im Wachs-Gemisch vorliegende Curcumin verteilt sich in Form von winzigen Farbpigmenten, sodass eine Emulsion entsteht. Diese winzigen Pigmente sind an den funktionellen Gruppen des Moleküls polar, wie sich aus der Strukturformal ergibt. Nach demselben Prinzip, wie in der folgenden Aufgabe ausführlich beschrieben, treten nun intermolekulare Wechselwirkungen zwischen dem Wachs und dem Curcumin auf, sodass die Curcumin-Moleküle an den Wachs-Molekülen haften und sie wie eine Kugel umschließen.

Das Curcumin absorbiert bestimmte Lichtwellen des für uns sichtbaren Bereiches, wodurch das Wachs in unseren Augen gelblich bis orange erscheint.

9. Wieso mischt sich das flüssige Wachs nicht mit dem Wasser? [29], [30], [31]

Damit sich ein Stoff in einem anderen löst, muss es zu Wechselwirkungen zwischen den beiden Stoffen kommen. Die Moleküle des Lösungsmittels müssen die Moleküle des zu lösenden Stoffes umhüllen. Dieser Vorgang wird auch Solvatation genannt. Diese vorausgesetzte Wechselwirkung kann durch intermolekulare Kräfte auftreten, die dann zwischen Stoffen wirken, wenn diese eine im besten Fall gleiche, oder aber wenigstens sehr ähnliche Polarität haben.

Spricht, um vorherzusagen, ob sich ein Stoff in einem anderen lösen wird, muss die Polarität bestimmt werden. Doch was genau ist die Polarität? In Molekülen halten die einzelnen Atome durch Elektronenpaarbindungen zusammen. Für jede einzelne dieser Bindungen kann überprüft werden, ob sie polar oder unpolar ist. Dazu bestimmt man die Elektronegativitätsdifferenz der beiden Bindungsatome, indem man die Elektronegativität des einen Atoms (findet man im Periodensystem der Elemente) von der des anderen subtrahiert. Ist diese berechnete Differenz kleiner als 0,4, so handelt es sich um eine unpolare Bindung. Man kann sich dies so vorstellen, dass beide Bindungsatome die Bindungselektronen gleich stark zu sich ziehen. Ist die Differenz größer als 0,4, so handelt es sich hingegen um eine polare Bindung. Hier zieht ein Bindungsatom die Bindungselektronen stärker zu sich als es das andere Atom tut. Ein weiterer Fall wäre noch die Ionenbindung, wenn die Elektronegativitätsdifferenz größer als 1,7 ist, dann ist ein Elektron sozusagen auf das eine Bindungsatom übergegangen. Dieser Fall kann hier jedoch vernachlässigt werden.

Bezieht man sich schließlich auf das gesamte Molekül, so kann dieses entweder vollständig polar beziehungsweise unpolar sein, oder aber in Teilbereiche aufgeteilt werden, wie zum Beispiel Alkohole, die generell eine unpolare Kohlenstoffkette haben und eine polare Hydroxy-Gruppe.

Folglich gibt es zwei Möglichkeiten, wann sich ein Stoff in einem Lösungsmittel löst: Einmal, wenn beide Stoffe unpolar sind. Dann wirken zwischen den beiden nur die im Vergleich schwachen Van-der-Waals Kräfte. Der zweite Fall liegt vor, wenn sowohl das Lösungsmittel als auch der zu lösende Stoff polar sind. Dann wirken zwischen ihnen Dipol-Dipol-Wechselwirkungen, die deutlich stärker sind als die Van-der-Waals Kräfte.

Exkurs Van-der-Waals Kräfte: Van-der-Waals Kräfte treten bei unpolaren Bindungen auf. Da die Elektronen eines Atoms nicht immer gleichmäßig in der Atomhülle verteilt sind, befinden sich mal mehr auf der einen als auf der gegenüberliegenden Seite. Man spricht dann von einem temporären Dipol. Dieser induziert in ein benachbartes Molekül ebenfalls einen Dipol, sodass eine Wechselwirkung entsteht.

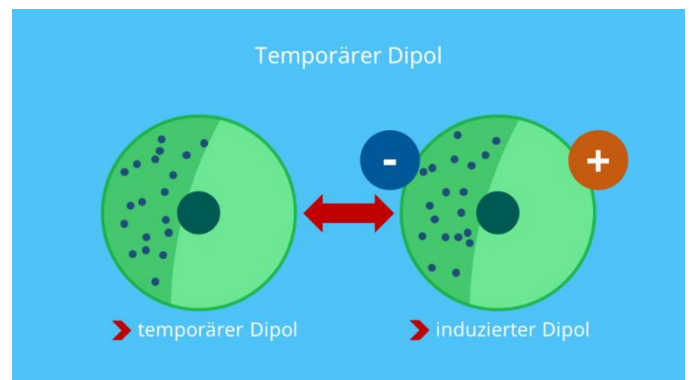


Abbildung 58: Temporärer Dipol

Exkurs Dipol: Ein Dipol kann bei einem polaren Molekül vorliegen, wenn es eine oder mehrere partiell positiv und negativ geladene Teilbereiche gibt. Der Teil, wo die Bindungselektronen stärker hingezogen, also zu dem Atom mit der höheren Elektronegativität, ist partiell negativ geladen, da sich hier mehr negative Ladungsträger (Elektronen) befinden. Die Seite, auf der Elektronen fehlen ist dementsprechend partiell positiv geladen (pars: lat. = Teil, Seite).

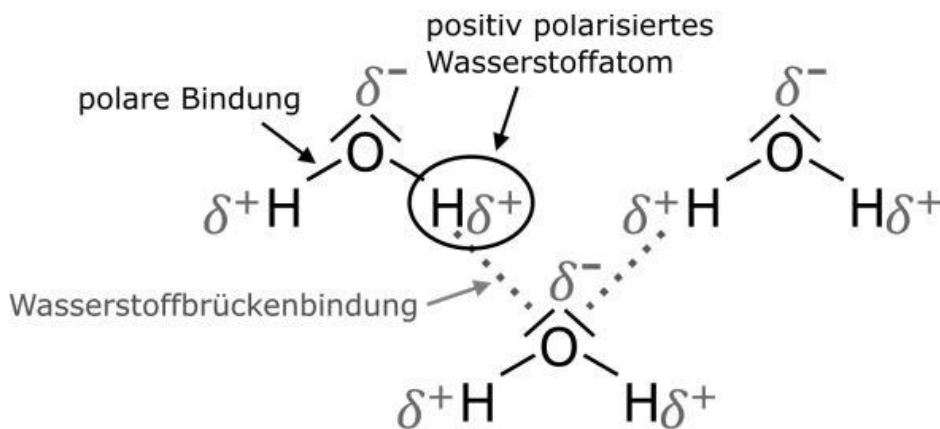
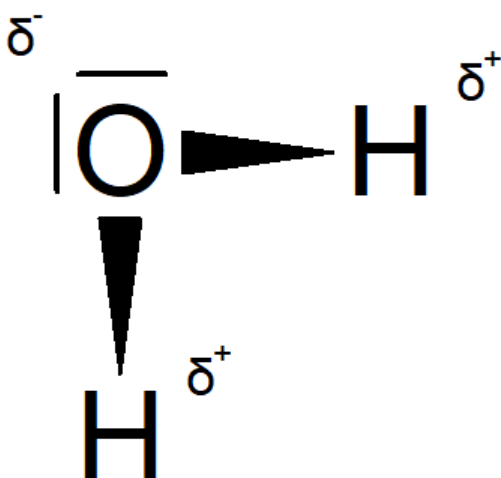


Abbildung 59: Dipol-Dipolwechselwirkung am Beispiel der Wasserstoffbrückenbindungen

Exkurs Dipol-Dipol-Wechselwirkung: Treffen nun zwei Dipol-Moleküle aufeinander, so tritt eine starke Wechselwirkung ein. Der partiell negativ geladene Teil kann einen partiell positiv geladenen Teil des anderen Moleküls anziehen, was zu einer starken Bindung führt. Die stärkste Dipol-Dipol-Wechselwirkung ist die Wasserstoffbrückenbindung, welche zwischen Wassermolekülen auftritt.

Ergo: „Similia similibus solvuntur: Gleiches löst sich in Gleichem“

Um das Beispiel von Wachs und Wasser zu untersuchen, schauen wir uns ein Wasser-Molekül und die Stearinsäure an (man könnte sich auch Paraffin anschauen, es ist jedoch komplexer und würde zum selben Schluss führen):



Wasser besteht aus Wasserstoff und Sauerstoff. Als erstes wird folglich die Elektronegativitätsdifferenz zwischen Sauerstoff und Wasserstoff berechnet:

$$3,44 - 2,2 = 1,24 > 0,4 \rightarrow \text{polare Bindung}$$

Beide Bindungen sind folglich polar. Und da Sauerstoff die höhere Elektronegativität hat, ist dieser Teil des Moleküls partiell negativ geladen, die Wasserstoffatome haben eine positive Partialladung. Wasser ist somit ein Dipol-Molekül.

Abbildung 60: Wassermolekül

Damit sich Wachs nun in Wasser lösen kann, muss es ebenso polar sein.

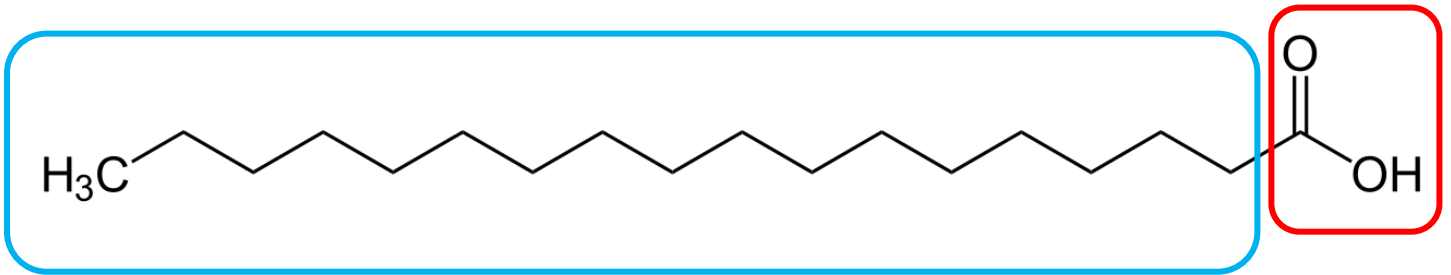


Abbildung 61: Stearinmolekül

Die lange Kohlenstoffkette, hier in blau umrandet, besteht aus vielen Kohlenstoff-Wasserstoff Bindungen. Auch hier lässt sich wie bei Wasser die Differenz der Elektronegativitäten berechnen:

$2,55 - 2,2 = 0,35 \rightarrow$ unpolare Bindung

Der Großteil des Moleküls ist also unpolar, nur der kleine rot-umrandete Teil ist polar, da die Elektronegativitätsdifferenz zwischen Kohlenstoff und Sauerstoff ebenso wie zwischen Wasserstoff und Sauerstoff größer als 0,4 ist.

Da es sich bei Wachs und Wasser um ein hauptsächlich unpolares und ein polares Molekül handelt, wirken zwischen diesen beiden Stoffen keine intermolekularen Kräfte, sodass sich Wachs nicht in Wasser löst.

10. Was passiert in der Mischung, wenn das Wachs abkühlt und „wie Schaum“ aussieht? Warum bilden sich bei weiterem Schütteln daraus kleine Kügelchen?

Wie in der vorherigen Aufgabe erwähnt, mischt sich das flüssige Wachs aufgrund der unterschiedlichen Polaritäten nicht mit dem Wasser, wie in Abbildung 62 zu erkennen ist. Es entstehen zunächst zwei Schichten; das Wachs schwimmt aufgrund der geringeren Dichte oben.

Folglich dient das Wasser in diesem Fall nur als Lösungsmittel. Beginnt man nun das Glas mit dem Wasser/Wachs-Gemisch zu schütteln, so vermischen sich beide Flüssigkeiten. Unterbricht man das Schütteln, setzt sich das Wachs jedoch schnell wieder oben vom Wasser ab, wie Abbildung 63 zeigt.



Abbildung 62: Zwei Schichten vor dem Schütteln



Abbildung 63: „Schaum“, der oben schwimmt

Es sieht schaumig aus, da sich unzählige kleine Wachsmoleküle durch das Schütteln in der Lösung verteilt haben, die nun aufgrund der sinkenden Temperatur langsam fest werden. Diese Mikropartikel schweben dann in der Lösung und suggerieren das Bild eines Schaumes.

Schüttelt man das Gemisch nun weiter, so kühlt es und damit auch die enthaltenen Wachsmoleküle weiter ab, sodass sie beim Erreichen des Schmelzpunktes wieder in den festen Aggregatzustand übergehen. Durch die ständige Schüttelbewegung reiben sie immer wieder aneinander und stoßen gegeneinander, sodass sie im gerade noch leicht formbaren Zustand zusammenhaften und somit mit der Zeit zu immer größeren Kügelchen heranwachsen.

Es ist an dieser Stelle wichtig, wirklich weiter zu schütteln, bis das Wachs vollständig erkaltet ist, da es ansonsten auf dem Wasser schwimmend zu einem festen einzigen Brocken zusammenschmilzt.

Sind die Kügelchen jedoch vollständig kalt geworden, so schwimmen die einzelnen Kugeln oben auf dem Wasser. Sie können dann einfach mit einem Spatel entnommen oder das gesamte Gemisch einfach über einem Filter abgegossen werden.



Abbildung 64: Nach Abkühlen erhaltene Wachskügelchen

11. Mischt ihr eine größere Menge Wachs mit dem Wasser, habt also einen höheren Gewichtsanteil an Wachs in eurem Einmachglas, so bilden sich größere Wachsbröckchen. Woran liegt das?

Auch diese These wollten wir zunächst mit unseren eigenen Ergebnissen überprüfen. Aus diesem Grund haben wir die Wachsmenge im Verhältnis zu der Wassermenge im Gefäß von einer Farbe zu nächsten gesteigert. Bei den ersten Kügelchen, die wir herstellten, den Gelben mit Kurkuma, wurde verhältnismäßig wenig Wachs zu dem Wasser gegeben, bei den Roten schon mehr und bei den Blauen schließlich am meisten.

Das Ergebnis bestätigt die These der Aufgabenstellung: Wie in der rechten Abbildung (Abb. 65) zu erkennen ist, sind die gelben Kügelchen im Durchschnitt am kleinsten, die Rot-Orangenen schon größer, die Blauen aber mit Abstand am größten.

Wie unter Aufgabe 10 erläutert, entstehen die Kügelchen durch das Aneinanderstoßen der Moleküle bedingt durch das ständige Schütteln, während sie kontinuierlich abkühlen und somit in den festen Aggregatzustand übergehen. Aus diesem Zusammenhang lässt sich eine Je-Desto-Beziehung herleiten:

Je höher der Gewichtsanteil des Wachses an dem Gesamtgewicht ist, desto wahrscheinlicher ist es, dass zwei Wachsteilchen beim Schütteln aufeinandertreffen.

Da es nicht so viel Zwischenraum zwischen den einzelnen Wachsteilchen gibt, stoßen häufiger welche aneinander, so dass sich in der Zeit, bis das Wachs vollständig heruntergekühlt ist, mehr Wachsteilchen begegnen und somit größere Kugeln heranwachsen.

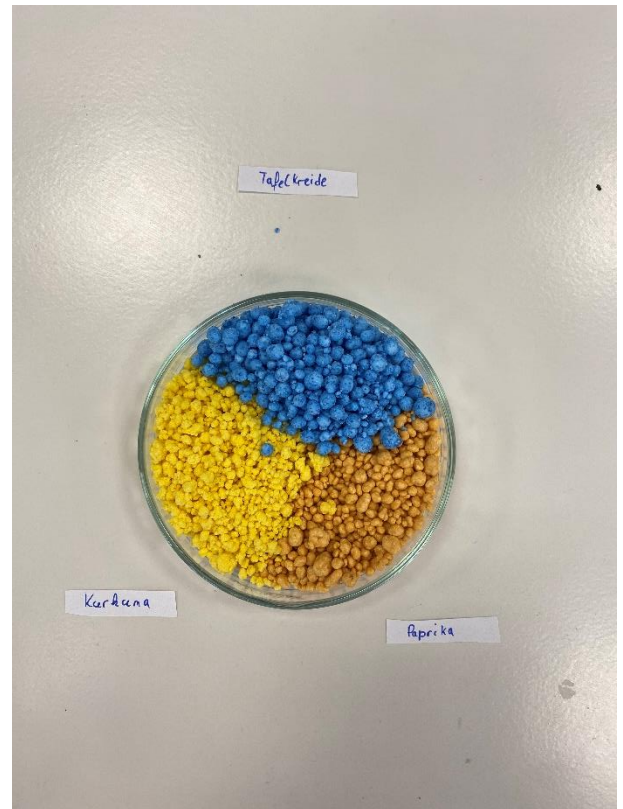


Abbildung 65: Größenvergleich der Kügelchen

12. Wieso steigen die Wachskugeln in der Wachsuhr auf und nicht ab? Was wäre passiert, wenn ihr statt Wasser Sonnenblumenöl verwendet hättet? Erklärt, welche physikalischen Größen hier von Bedeutung sind und fertigt eine kleine Skizze an, welche das Prinzip veranschaulicht! [46], [47], [48], [49]

Um zu bestimmen, ob Körper in einem flüssigen Medium auf- oder absteigen oder schweben, muss die Auftriebskraft dieser Körper berechnet werden und mit der Gewichtskraft verglichen werden. Ist die Auftriebskraft F_A größer als die Gewichtskraft F_G , so wird der Körper in dem Medium steigen. Ist es genau umgekehrt, also $F_G > F_A$, so wird er sinken. Sind die Auftriebs- und Gewichtskraft gleich groß, so schwebt der Körper im Medium. Folgendes Schaubild verdeutlicht diese Szenarien:

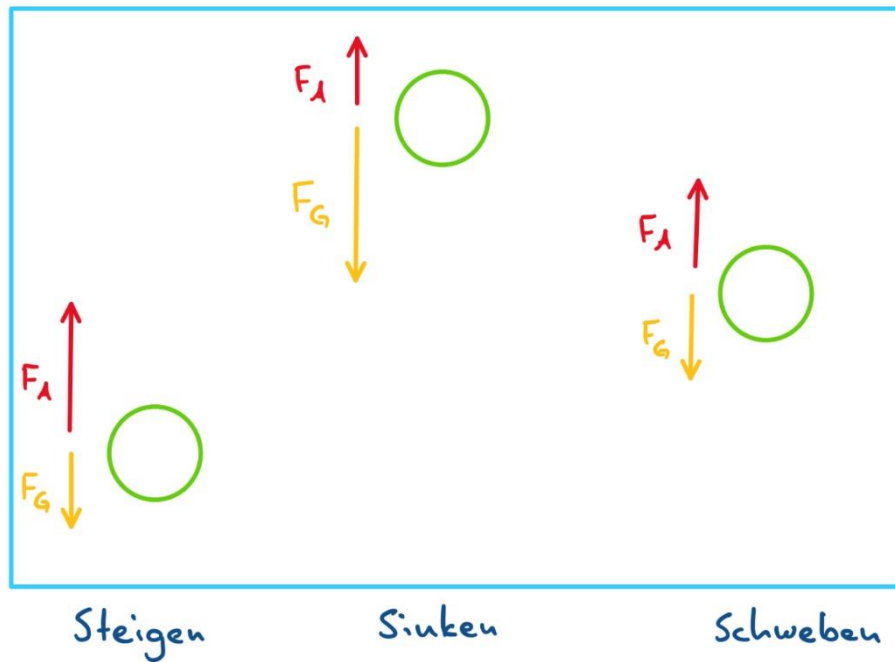


Abbildung 66: Wirken der Auftriebskraft

Begründen lässt sich dies damit, dass Kräfte Vektorgrößen sind, welche sich auch dementsprechend addieren beziehungsweise subtrahieren lassen. Wirken die Kräfte in unterschiedliche Richtungen, so kann die resultierende Kraft F_R mittels eines Kräfteparallelogramms bestimmt werden, haben sie jedoch dieselbe Richtung, aber entgegengesetzte Orientierungen, so kann man die Kräfte subtrahieren:

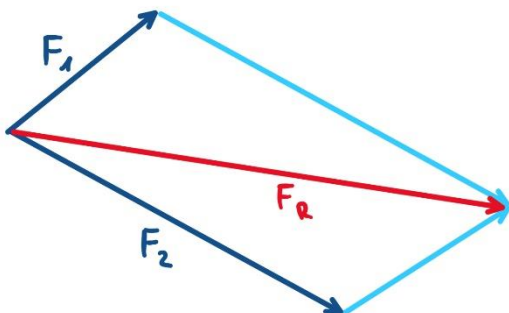


Abbildung 67: Kräfteparallelogramm



Abbildung 68: Subtraktion von Kräften derselben Richtung

Die allgemeine Formel zur Berechnung der Auftriebskraft lautet: $F_A = \rho_M \cdot V_K \cdot g$

Dabei ist F_A die resultierende Auftriebskraft, ρ die Dichte des Mediums, V das Volumen des Körpers und g der Ortsfaktor für die Erdbeschleunigung.

Die allgemeine Formel zur Berechnung der Gewichtskraft lautet: $F_G = m_K \cdot g$

Dabei ist F_G die resultierende Gewichtskraft, m die Masse des Körpers und g der Ortsfaktor für die Erdbeschleunigung.

Im Folgenden soll nun die Auftriebskraft und die Gewichtskraft eines beispielhaften Kügelchens berechnet werden, um zu zeigen, dass es aufsteigen wird. Das Volumen kann hierbei beliebig gewählt werden, da es bei beiden Kräften konstant ist. Wir gehen deshalb der Einfachheit halber von einem Kügelchen mit einem Volumen von 1cm^3 aus. Das Medium ist in diesem Fall die Mischung aus Wasser und Glycerin im 1:1-Verhältnis.

$$F_{A(\text{Wasser})} = \rho_M \cdot V_K \cdot g = \frac{997 \frac{\text{kg}}{\text{m}^3} + 1260 \frac{\text{kg}}{\text{m}^3}}{2} * 0,000001\text{m}^3 * 9,81 \frac{\text{m}}{\text{s}^2} \approx 0,01107 \text{ N}$$

$$F_G = m_K \cdot g = \rho_K \cdot V_K \cdot g = 940 \frac{\text{kg}}{\text{m}^3} * 0,000001\text{m}^3 * 9,81 \frac{\text{m}}{\text{s}^2} \approx 0,009 \text{ N}$$

Somit ist $F_A > F_G$ und die Kügelchen steigen in der Uhr auf.

Dasselbe Prozedere lässt sich nun auch für eine Uhr mit einem Medium aus Sonnenblumenöl und Glycerin durchführen, es ändert sich folglich nur die Dichte des Mediums, die auf das Wachkügelchen wirkende Gewichtskraft F_G bleibt unverändert.

$$F_{A(\text{Öl})} = \rho_M \cdot V_K \cdot g = \frac{920 \frac{\text{kg}}{\text{m}^3} + 1260 \frac{\text{kg}}{\text{m}^3}}{2} * 0,000001\text{m}^3 * 9,81 \frac{\text{m}}{\text{s}^2} \approx 0,01069 \text{ N}$$

Der Unterschied ist marginal. F_A ist immer noch größer als F_G , die Kügelchen steigen also immer noch in der Uhr auf, wenn auch etwas langsamer als zuvor bei dem Medium aus Wasser und Glycerin.

13. Welchen Effekt hat das Glycerin? Wie nennt sich die Eigenschaft, die das Glycerin beeinflusst? [33], [34], [35], [36], [37]

Glycerin ist der Trivialname für Propan-1,2,3-triol, welcher der einfachste dreiwertige Alkohol ist. Er ist in allen natürlichen Fetten chemisch als Fettsäureester gebunden und spielt eine zentrale Rolle als Zwischenprodukt in vielen Stoffwechselprozessen. Bei Raumtemperatur ist es farb- sowie geruchslos und leicht viskos. Glycerin ist aufgrund seiner Polarität gut in Wasser löslich und hat sogar hygroskopische Eigenschaften, das heißt es wirkt wasseranziehend.

In unserer Uhr beeinflusst das Glycerin folglich zum einen die Viskosität der Lösung, sie wird dickflüssiger. Dadurch steigen die Wachskügelchen etwas langsamer und geschmeidiger nach oben.

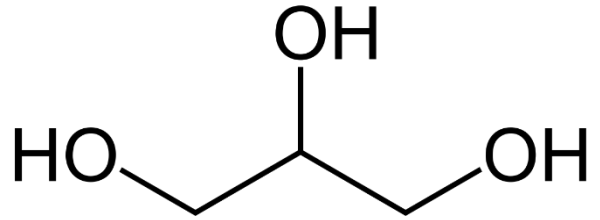


Abbildung 69: Glycerin

Außerdem wird die Dichte erhöht ($\rho(\text{Glycerin})=1,26\text{g/cm}^3$). Da Wasser und Glycerin im 1:1-Verhältnis gemischt werden, ist die Dichte der gesamten Lösung gleich der Mittelwert beider Einzeldichten. Geht man vereinfacht bei Wasser von einer Dichte von 1g/cm^3 aus, beträgt die Gesamtdichte somit $1,13\text{g/cm}^3$. Dies erhöht die Sicherheit der Funktion der Uhr, da so sichergestellt werden kann, dass die Dichte noch einmal erhöht wurde, wodurch die leichteren Wachskügelchen aufsteigen können.

14. Wie funktioniert ein Teelicht? [25], [26], [27], [28]

Die Funktionsweise eines Teelichtes ist komplexer, als die meisten auf den ersten Blick denken. Es verbrennt nämlich nicht einfach nur das Wachs; dahinter stecken deutlich komplexere physikalische und chemische Prozesse. Diese lassen sich allerdings mit einfachen Experimenten Schritt für Schritt nachweisen.

a) Brennt das Wachs?

Richtet man ein Feuerzeug auf Wachs, so wird dieses selbstverständlich heiß und schmilzt, da der Schmelzpunkt überschritten wird. Es brennt aber nicht.

b) Was brennt dann?

Das harte Wachs brennt also nicht. Um zu zeigen, was genau bei einem Teelicht brennt, haben wir einen weiteren kleinen Versuch durchgeführt. Dafür nimmt man ein Glasrohr, welches an einem Stativ befestigt wird oder mit einer Tiegelfange mitten in die Kerzenflamme gehalten wird. Dann versucht man, den aus dem Rohr steigenden Dampf zu entzünden. Bei uns hat das Experiment leider auch nach mehreren Versuchen nicht funktioniert, jedoch sollte zu erkennen sein, dass der weißliche Dampf, der aus dem Rohr aufsteigt, brennt.

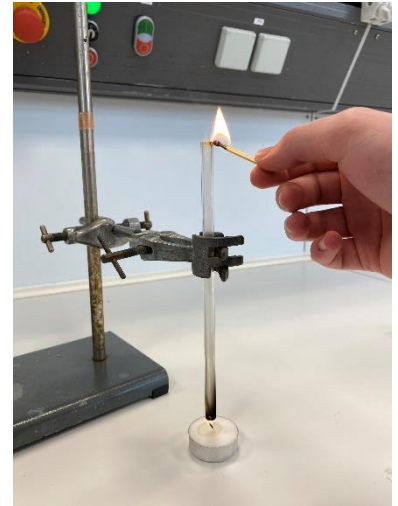


Abbildung 70: Wachsdampf brennt

c) Wie genau verdampft das Wachs?

Das Wachs muss folglich verdampfen, damit an der Kerze eine Flamme entsteht. Dieses muss allerdings auch erst einmal zur Flamme gelangen. Da kommt das physikalische Prinzip der Kapillarkraft zum Zuge. Beim ersten Entzünden einer Kerze verdampft die geringe Menge Wachs im Docht, sodass es zunächst zu einer kleinen Flamme kommt. Diese erhitzt das Wachs, sodass weiteres Wachs schmilzt und sich verflüssigt. Dieses flüssige Wachs wird nun durch die Kapillarkraft den Docht hinaufbefördert, wo es aufgrund der großen Hitze in der Nähe der Flamme verdampft und verbrennt. Zur Kapillarwirkung kommt es immer dann, wenn die Adhäsion größer ist als die Kohäsion. Die Adhäsion ist die Kraft, die von außen auf einen Körper wirkt, Kohäsion sind die wirkenden Kräfte innerhalb eines Körpers.

d) Was genau passiert bei der Verbrennung?

Wer eine Kerzenflamme schon einmal länger beobachtet hat, hat sicherlich die unterschiedlichen Farben einer Flamme beobachten können. Am unteren Ende ist eine blaue Färbung zu erkennen, da hier am meisten Sauerstoff für die Verbrennung zur Verfügung steht. In der Nähe zum Docht erkennt man manchmal ein „Loch“. Hier gelangt kaum Sauerstoff hin, sodass es auch zu keiner Verbrennung kommen kann, da für jene zwingend Sauerstoff benötigt wird. Diesen unverbrannten Wachsdampf kann man wie in Versuch b) ableiten und entzünden. Der Rest der Flamme ist gelblich bis orange gefärbt. Hier steht Sauerstoff zur Verfügung, jedoch nicht in ausreichender Menge. Somit handelt es sich um eine unvollständige Verbrennung, was die Entwicklung von Ruß hervorruft. Diese Beobachtung lässt sich ebenso einfach überprüfen. Hält man beispielsweise einen Teller über die Flamme, wird sich an ihm ein schwarzer Rußfleck bildet. Hält man hingegen einen Nagel oder ähnliches in den unteren, blauen Teil der Flamme, so wird sich kein Ruß absetzen. Der Großteil, der orange oder gelb gefärbte Teil der Flamme, kommt folglich durch eine unvollständige Verbrennung des Wachsdampfes zustande, wodurch Ruß entsteht.

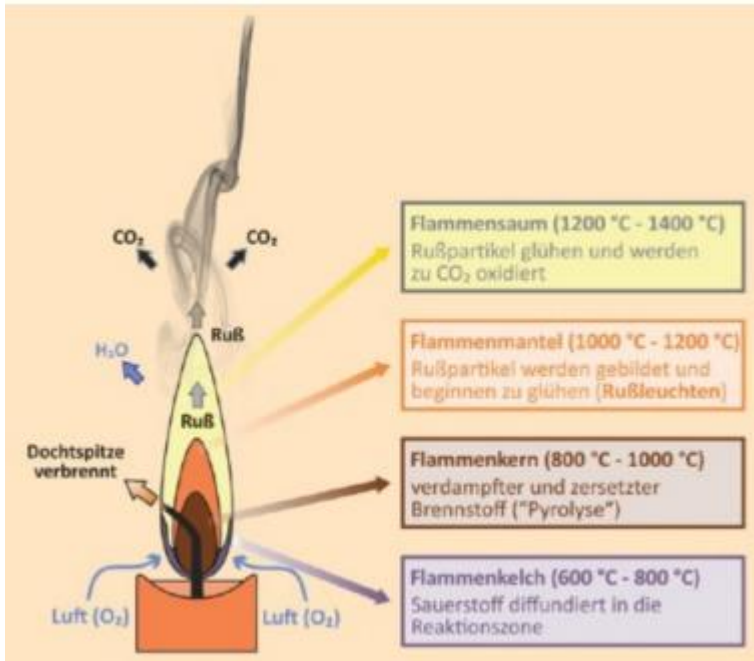


Abbildung 71: Zonen einer Flamme

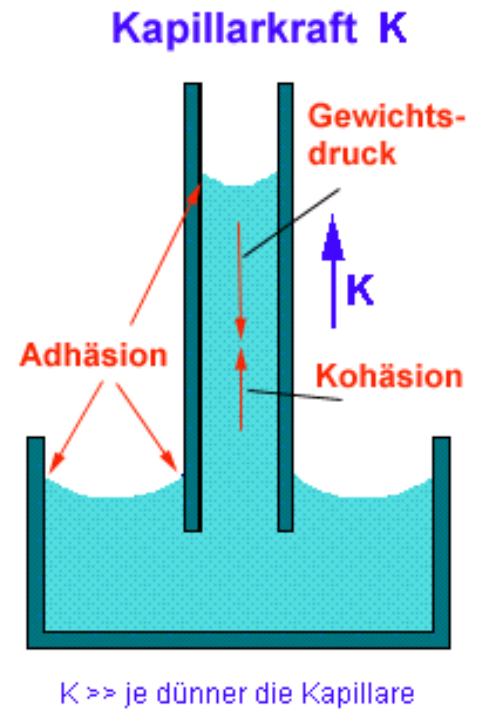


Abbildung 72: Kapillarkraft

15. Bei unserer orangenen Kerze haben wir viel Paprikapulver verwendet. Leider brennt diese Kerze jetzt nicht mehr so stark wie die anderen. Habt ihr eine Idee, woran das liegen könnte? ^[32]

Um diese These nachzuvollziehen, haben wir auch unsere beiden mit Paprikapulver rot gefärbten Teelichter einmal zeitgleich entzündet und beobachtet. Zunächst brannten beide Kerzen mit ähnlich hoher Flamme, sobald das bunt gefärbte Wachs jedoch zu schmelzen begann, wurde die Flamme des intensiver eingefärbten Teelichts immer kleiner.

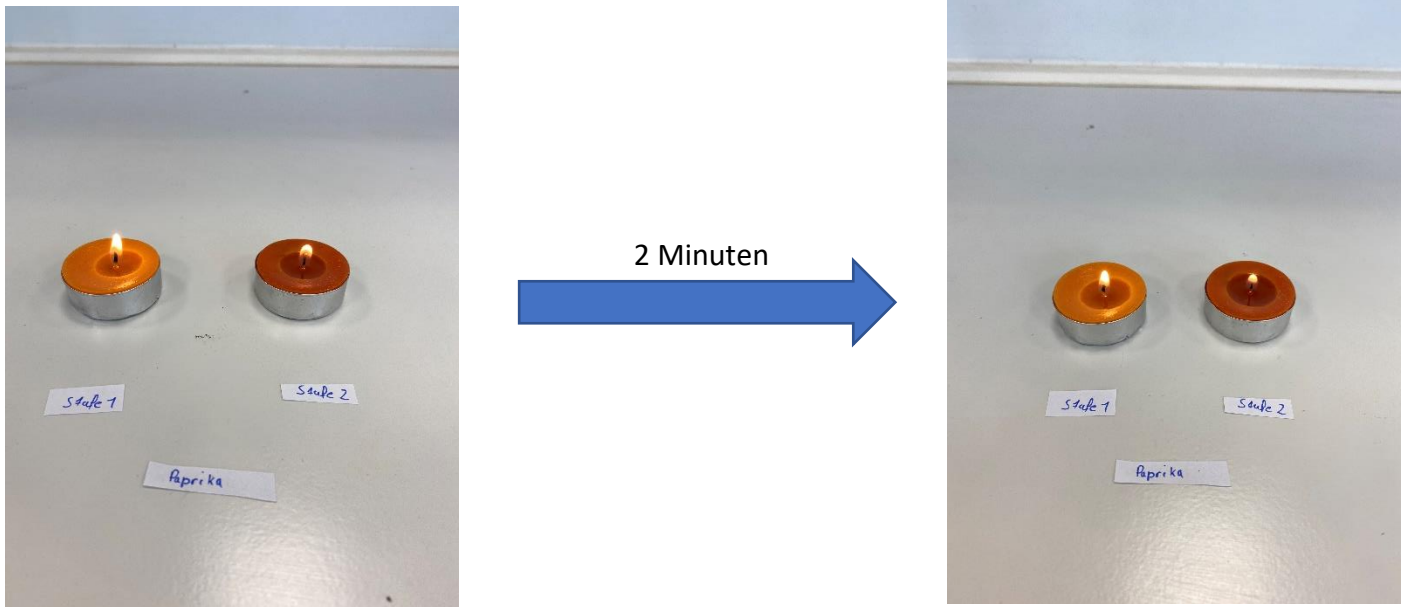


Abbildung 133: Verlauf der Größe der Kerzenflammen bei unterschiedlich stark eingefärbten Kerzen

Wie der Fragestellung bereits zu entnehmen war, brannte die Kerze, die mit mehr Paprikapulver eingefärbt wurde, nicht so stark wie die mit weniger Pulver Eingefärbte.

Vermutlich liegt dies daran, dass die Wachszufuhr im Docht blockiert wird. Wie beim Vergleich beider Kerzen festzustellen ist, wird der Prozess des Schmelzens zunächst nicht vom Paprikagewürz beeinflusst. Anschließend wird das flüssige Wachs durch die Kapillarkraft den Docht hinaufgezogen, wo es aufgrund der Hitze der Flamme verdampft und entzündet wird. Die kleinere Flamme deutet folglich auf eine unzureichende Wachsversorgung hin.

Die Curcumin-Pigmente „verstopfen“ den Docht beziehungsweise verringern die Saugfähigkeit des Dochtes, sodass weniger Wachs als üblich transportiert werden kann, woraus eine kleinere Flamme resultiert.

16. Welchen Nachteil bringt die Verwendung von natürlichen Farbgebern wie Kurkuma oder Paprika gegenüber mit chemischen Verfahren gewonnenen Farben mit sich? Bedeutet die Verwendung von chemischen Verfahren automatisch, dass es sich nicht mehr um natürliche Farbstoffe handeln kann? [41], [42], [43], [44], [45]

Wie in der vorherigen Aufgabe erläutert, brennen die mit natürlichen Farbgebern intensiv eingefärbten Kerzen, wie zum Beispiel die mit Curry, nicht so stark. Dies ist direkt ein Nachteil gegenüber chemisch hergestellten Farben. Diese können mit bestimmten Verfahren gezielt mit Reaktionsmechanismen so verändert werden, dass sie das Wachs besser, schneller und gleichmäßiger einfärben. Bei den natürlichen Farben handelt es sich meistens um Pigmentfarben, die, wie in den Beobachtungen des ersten Versuches beschrieben, die Kerzen nicht gleichmäßig einfärben. Für die Industrie hat dies außerdem den Vorteil, dass sie chemisch hergestellte Farben deutlich kostengünstiger erwerben können als natürliche.

Der Unterschied beim Einfärben ließ sich auch bei uns beobachten. Der mit chemischen Farben gefärbte, grüne Wachsmalstift ist eindeutig gleichmäßiger und intensiver gefärbt und es sind keine Schwebepartikel zu erkennen, wie bei den mit Paprika oder Kurkuma eingefärbten Kerzen.



Abbildung 74: Chemisch hergestellter Farbstoff zum Einfärben



Abbildung 75: Natürlicher Farbstoff zum Einfärben

Die Verwendung von solchen chemischen Verfahren bedeutet nicht immer, dass es sich nicht mehr um natürliche Farbstoffe handeln kann. Es bedeutet lediglich, dass der Farbstoff nicht aus natürlichen Ressourcen gewonnen wurde. Man spricht dann auch von naturidentischen Farbstoffen. Sie können jedoch auf chemischem Wege eins zu eins reproduziert werden. Nur, wenn ein Farbstoff chemisch hergestellt wird, der in dieser Form nicht in der Natur vorkommt, spricht man von synthetischen Farbstoffen.

Ein Beispiel hierfür ist Indigo, welches für das Einfärben von Jeans verwendet wird. Während es früher nur aus der Indigopflanze gewonnen wurde, wird es heute hauptsächlich durch chemische Synthesen aus N-Phenylglycin gewonnen.

Quellen

- [1] <https://de.wikipedia.org/wiki/Uhr>
- [2] <https://systemdesign.ch/wiki/Wasseruhr>
- [3] https://www.welt.de/print/die_welt/wissen/article11049215/Eine-kleine-Geschichte-der-Uhren.html
- [4] <https://www.youtube.com/watch?v=e9LWXGKULml>
- [5] https://de.wikipedia.org/wiki/Geschichte_der_Zeitmessgeraete
- [6] <https://www.printplanet.de/wissenswertes/rund-um-produkte/uhren/eine-kurze-geschichte-der-uhr>
- [7] <https://www.weltkunst.de/kunstwissen/2016/03/stilkunde-sanduhren>
- [8] <https://de.wikipedia.org/wiki/Sanduhr>
- [9] <https://de.wikipedia.org/wiki/Zeiteinheit>
- [10] <https://de.wikipedia.org/wiki/Babylonier>
- [11] <https://www.spektrum.de/frage/warum-hat-die-stunde-60-minuten/603909>
- [12] <https://www.abendblatt.de/ratgeber/wissen/article107735999/Warum-zaehlt-eine-Stunde-60-Minuten-und-nicht-etwa-100.html>
- [13] <https://www.science.lu/de/die-zeit/warum-hat-ein-stunde-genau-60-minuten>
- [14] <https://de.wikipedia.org/wiki/Wachs>
- [15] <https://www.chemie-schule.de/KnowHow/Wachs>
- [16] https://praxistipps.focus.de/woraus-besteht-wachs-einfach-erklart_99746
- [17] <https://www.wasistwas.de/archiv-wissenschaft-details/die-frage-der-woche-woraus-besteht-wachs.html>
- [18] <https://de.wikipedia.org/wiki/Stearinsaure>
- [19] <https://bienen.info/bienenwachs-verwendung-studien-und-diy-anleitungen>
- [20] <https://lexikon.wohnen.de/bienenwachs>
- [21] [https://de.wikipedia.org/wiki/Cuticula_\(Pflanzen\)](https://de.wikipedia.org/wiki/Cuticula_(Pflanzen))
- [22] <https://de.wikipedia.org/wiki/Kurkuma>
- [23] <https://de.wikipedia.org/wiki/Curcumin>
- [24] <https://de.wikipedia.org/wiki/Capsanthin>
- [25] <https://de.wikipedia.org/wiki/Kerze>
- [26] <https://www.weltderphysik.de/thema/hinter-den-dingen/farben-einer-kerzenflamme/>
- [27] <https://lexikon.wasser.de/index.pl?begriff=Kapillarwirkung&job=te>
- [28] <https://www.youtube.com/watch?v=0-bFk1roZ1Y>
- [29] <https://www.deinchemielehrer.de/schuelerspezial/loesungsvorgaenge.html>
- [30] [https://www.chemie.de/lexikon/Polaritaet_\(Chemie\).html](https://www.chemie.de/lexikon/Polaritaet_(Chemie).html)

- [31] https://de.wikipedia.org/wiki/Zwischenmolekulare_Kr%C3%A4fte
- [32] https://www.denk-keramik.de/out/media/Denk_Kerzenkunde_419.pdf
- [33] <https://de.wikipedia.org/wiki/Glycerin>
- [34] <https://www.chemieunterricht.de/dc2/r-oh/glycerin.htm>
- [35] <https://de.wikipedia.org/wiki/Hygroskopie>
- [36] <http://www.axel-schunk.de/experiment/edm1507.html>
- [37] <https://www.sofatutor.com/chemie/videos/glycerin>
- [38] [https://de.wikipedia.org/wiki/Extraktion_\(Verfahrenstechnik\)](https://de.wikipedia.org/wiki/Extraktion_(Verfahrenstechnik))
- [39] <https://www.seilnacht.com/versuche/extrah.html>
- [40] <http://www.verfahreningenieur.de/Extraktion.html>
- [41] <https://www.lernhelfer.de/schuelerlexikon/chemie-abitur/artikel/natuerliche-farbstoffe>
- [42] <https://polipharm.ru/de/zhizn-i-biznes/batyushka-prosit-zelenye-i-krasnye-svechi-chem-mozhno-krasit-parafin-s/>
- [43] <https://de.wikipedia.org/wiki/Lebensmittelfarbstoff>
- [44] http://www.kerzenmacher.info/html/farben_usw_.html
- [45] <https://www.lernhelfer.de/schuelerlexikon/chemie-abitur/artikel/synthetische-farbstoffe>
- [46] <https://www.lernhelfer.de/schuelerlexikon/physik/artikel/auftrieb-und-auftriebskraft>
- [47] https://de.wikipedia.org/wiki/Archimedisches_Prinzip
- [48] <https://www.leifiphysik.de/mechanik/druck-und-auftrieb/grundwissen/auftriebskraft>
- [49] <https://www.studienkreis.de/physik/auftriebskraft-berechnen/>