SOFT MATTER MATTERS!

EXPERIMENTIERE SELBST UND ENTDECKE EINE FASZINIERENDE MATERIALKLASSE

JÜLICH
Forschungszentrum

Inhaltsverzeichnis

Editorial ... 3

HINTERGRUNDWISSEN

Was ist Weiche Materie – „Soft Matter“? ... 4-5
House of Soft Matter – Alltagsbegegnung mit Produkten aus weicher Materie ... 6-7
Oberflächenspannung und Tenside ... 8-9
Kolloide ... 16-17
Polymere ... 24-25
Anwendungsbeispiele für Alginat ... 39
Flüssigkristalle ... 48-49
Untersuchungsmethoden für Soft Matter ... 54-55

EXPERIMENTE

Experiment 01: Boot mit Seifenmotor ... 10-11
Experiment 02: Schnelle Seifentropfen ... 12-13
Experiment 03: Milch unterm Mikroskop ... 18-19
Experiment 04: Tintenwolken im Glas ... 20-21
Experiment 05: Milcholympiade ... 22-23
Experiment 06: Gummibärchen in Wasser ... 28-29
Experiment 07: Gummibärchen-Test ... 30-31
Experiment 08: Wie viel Wasser passt in eine Windel? ... 32-33
Experiment 09: Alginatkugeln und mehr ... 36-38
Experiment 10: Fluffy Slime und Magischer Flummi ... 42-43
Experiment 11: Antistress-Ball ... 44-45
Experiment 12: Starke Folie ... 46-47
Experiment 13: Flachbildschirme – wissenschaftlich betrachtet ... 50-53

MINI-EXPERIMENTE

Die schwimmende Büroklammer (Oberflächenspannung und Tenside) ... 9
Dispersionsfarbe (Kolloide) ... 17
Stabmagnete (Kolloide) ... 17
Entropieelastizität (Polymere) ... 25
Magisches Licht (Flüssigkristalle) ... 49

FORSCHERPROFILE

Prof. Dr. Peter Lang ... 14-15
Dr. Barbara Gold ... 26-27
Dr. Wiebke Albrecht ... 34-35
Dr. Robert Göstl ... 40-41

Soft Matter im Unterricht ... 56
Gefahrstoff-Liste, Beszugsquellen und Experimentierhinweise ... 57
JuLab – mehr als ein Schülerlabor! ... 58
EUSMI Infrastrukturkarte ... 59
Impressum ... 59

Editorial

An alle Nachwuchsforscher*innen und -wissenschaftler*innen, die den Dingen gern auf den Grund gehen …

Was haben das Shampoo, das du beim Duschen verwendest, die Butter und die Marmelade auf deinem Frühstücksbrot, die Tinte in deinem Füller, die Reifen deines Fahrrads, und die Kaltschaummatratze, auf der du schläfst, gemeinsam? Sie bestehen alle aus weicher Materie *(auf Englisch: Soft Matter)*. Das heißt, sie sind keine harten Festkörper, wie zum Beispiel ein Stein, aber sie fließen auch nicht wie eine Flüssigkeit. Wenn du etwas darüber nachdenkst, fallen dir sicher noch viele ähnliche Beispiele aus dem Alltag ein, auf die das zutrifft. Aber nicht nur viele synthetisch hergestellte Dinge bestehen aus weicher Materie, sondern auch fast alles biologische Material, egal ob Viren und Bakterien, Pflanzen und Tiere oder der menschliche Körper. Weiche Materie ist einfach überall!

Deshalb ist es sehr wichtig zu verstehen, wie Systeme aus weicher Materie auf der mikroskopischen Ebene funktionieren, sei es, um technische Produkte zu entwickeln oder zu verbessern, biologische Prozesse besser zu verstehen oder um medizinische Therapien zu entwickeln. Weltweit arbeiten sehr viele Forschende aus unterschiedlichen Fachrichtungen an diesen Aufgaben, die neben viel Wissen, Experimentierfreude und Geduld auch spezielle und oft sehr teure Messgeräte erfordern. Weil solche Instrumente aber nicht überall zur Verfügung stehen, hat das Forschungszentrum Jülich den Verbund **EUSMI** (European Soft Matter Infrastructure) gegründet. Das ist eine Gruppe von Forschungsinstituten, die solche speziellen Instrumente zur Erforschung der weichen Materie besitzen und nun anderen Forschenden erlauben, diese zu benutzen. Die Kosten für die Nutzung der Instrumente durch die Gastwissenschaftler*innen werden von der Europäischen Union im Rahmen ihres Forschungsförderprogramms **Horizon 2020** bezahlt.

Damit es auch in Zukunft ausreichend viele Wissenschaftler*innen geben wird, die sich mit dem faszinierenden Forschungsgebiet *Soft Matter* beschäftigen, möchte EUSMI über das Thema informieren und dafür begeistern. Als Teil davon haben das Schülerlabor **JuLab** des **Forschungszentrums Jülich** und **EUSMI** gemeinsam diese Broschüre produziert. Auf den folgenden Seiten findest du viele Anleitungen für Experimente, die du entweder in der Schule oder sogar zu Hause durchführen kannst. Diese machen Spaß und helfen dir gleichzeitig, Dinge, die mit weicher Materie zusammenhängen und die du vielleicht schon oft im Alltag beobachtet hast, besser zu verstehen.

Viel Spaß und Erfolg wünschen dir

EUSMI und JuLab des Forschungszentrums Jülich

JÜLICH
Forschungszentrum

Was ist Weiche Materie – „Soft Matter“?

In der klassischen Chemie werden Materialien nach ihren ***Aggregatzuständen*** *klassifiziert. Sie werden eingeteilt in:*

- ***Gase****, die jeden zur Verfügung stehenden Raum spontan ausfüllen. Sie passen sowohl ihre Form als auch ihr Volumen dem Gefäß an, in dem sie enthalten sind, auch wenn das Gefäß ein Raum, ein Gebäude oder unsere gesamte Atmosphäre ist. Ein Beispiel dafür ist Luft.*
- ***Flüssigkeiten****, die unter dem Einfluss der Gravitation fließen. Das heißt, man kann ihre Form durch sehr schwache Kräfte verändern, aber sie behalten ihr Volumen bei. Ein Beispiel dafür ist Wasser.*
- ***Festkörper****, die ihr Volumen und ihre Form beibehalten, außer wenn man sie mit sehr großen Kräften, z. B. mit einem Hammer, bearbeitet. Ein Beispiel dafür ist eine Stahlkugel.*

Aber wenn wir uns genauer in unserer alltäglichen Umgebung umsehen, stellen wir schnell fest, dass diese Einteilung stark vereinfacht ist. Es gibt viele Materialien und Dinge, die sich nicht eindeutig als Festkörper oder als Flüssigkeit klassifizieren lassen.

Betrachten wir zum Beispiel Butter oder Margarine bei Raumtemperatur. Solange die Butter auf dem Tisch steht, behält sie Form und Volumen bei, verhält sich also wie ein Festkörper. Man kann sie aber ohne großen Kraftaufwand mit einem Messer aufs Brot streichen, was eigentlich dem Verhalten einer Flüssigkeit entspricht. Ist die Butter nun fest oder flüssig?

Oder nehmen wir ein Gummibärchen (siehe Experiment „Gummibärchen in Wasser“ auf Seite 28-29). Wenn wir es in der Tüte lassen oder auf einen Teller legen, passiert Monate oder Jahre lang gar nichts, weder seine Form noch sein Volumen ändern sich. Es sieht so aus, als sei es ein Festkörper. Gießen wir aber etwas Wasser auf den Teller, dann wird sich das Gummibärchen innerhalb einiger Stunden in einen bärchenförmigen Klumpen verwandeln, der sehr viel größer ist als das ursprüngliche Gummibärchen. Dieses Verhalten würde eine Stahlkugel wohl kaum zeigen. Wir würden den Unterschied zwischen einer Stahlkugel und einem Gummibärchen auch unmittelbar erfahren, wenn wir darauf beißen.

Wir können in unserer Umgebung hunderte von Dingen finden, die nicht so leicht fließen wie Wasser, die aber auch nicht so fest und hart sind wie ein Stein oder eine Stahlkugel, bei denen also nicht eindeutig festgelegt werden kann, ob es sich um Festkörper oder um Flüssigkeiten handelt. Die Beispiele reichen von Lebensmitteln (z. B. Marmelade, Ketchup, Schlagsahne) über Kosmetika (Zahnpasta, Lippenstift etc.),

Reinigungsmitteln (Schmierseife, Scheuermilch etc.) und technischen Produkten wie Dichtungen oder Klebstoffe bis hin zu biologischen Systemen wie unserem eigenen Körper. All diese Dinge bezeichnen wir als ***weiche Materialien****, oder aus dem Englischen,* ***Soft Matter****.*

Allen ***Soft Matter-Systemen*** *ist gemeinsam, dass sie zu einem großen Teil* ***Polymere****,* ***Kolloide****,* ***Tenside****,* ***Flüssigkristalle*** *oder Mischungen davon, und häufig eine Flüssigkeit, wie Wasser oder Öl, enthalten (mehr zu diesen Begriffen erfährst du auf den entsprechenden Seiten mit Hintergrundwissen).*

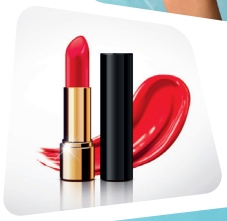
Um zu verstehen, warum Soft Matter weich ist, müssen wir die Energiemenge betrachten, die wir brauchen, um einen Baustein aus einem bestimmten Materialverbund zu entfernen.

Bei Gasen brauchen wir dazu überhaupt keine Energie, denn Gasatome oder -moleküle entfernen sich immer spontan voneinander, wenn sie nicht in einem Behälter eingeschlossen sind. Bei Flüssigkeiten können wir die Bausteine, zum Beispiel Wassermoleküle, aus dem Material entfernen, in dem wir sie verdunsten lassen. Dies funktioniert umso besser, je höher die Temperatur ist. Das heißt, wir müssen dem Wasser auf jeden Fall Energie zuführen, um die Moleküle voneinander zu trennen. Bei Festkörpern, wie zum Beispiel unserer Stahlkugel, gibt es nur eine Möglichkeit, die Eisenatome aus dem Material zu entfernen: Wir müssten die Kugel erst schmelzen und dann den flüssigen Stahl verdampfen. Es ist offensichtlich, dass dazu sehr viel mehr Energie erforderlich ist, als man benötigt, um Wasser verdunsten zu lassen.

Wir können also sagen: Je mehr Energie man braucht, um einen Baustein aus einem Material zu entfernen, desto festkörperartiger, das heißt härter, ist das Material und je weniger Energie man dazu braucht, desto flüssigkeitsartiger, also weicher, ist es.

Für ein Soft Matter-System bedeutet das: Um eine Polymerkette oder ein Kolloid daraus zu entfernen, braucht man zwar deutlich mehr Energie als für ein Wassermolekül, aber Tausende von Malen weniger Energie, als man benötigt, um ein Eisenatom aus einer Stahlkugel zu entfernen.

Ob sich ein Soft Matter-System nun eher wie ein ***Feststoff*** *oder wie eine* ***Flüssigkeit*** *verhält, hängt sehr stark von seiner Zusammensetzung ab. Deshalb kann man das Materialverhalten sehr einfach über weite Bereiche variieren und damit für eine gewünschte Anwendung passgenau einstellen. Beispielsweise kann man mit fast den gleichen Komponenten Pflegeprodukte herstellen, die flüssig sind wie ein Spülmittel, pastös wie eine Hautcreme oder fest wie ein Stück Seife, indem man ihr Mischungsverhältnis ändert.*



JÜLICH
Forschungszentrum

House of Soft Matter

Produkte aus weicher Materie – hier begegnen sie uns im Alltag...

Im Dach

Dämmmaterial

Im Arbeitszimmer

Druckertinte / Radiergummi / Klebstoff / Flachbildschirm (S. 50-53) / Tinte (S. 20-21) / Antistress-Ball (S. 44-45)

Im Schlafzimmer

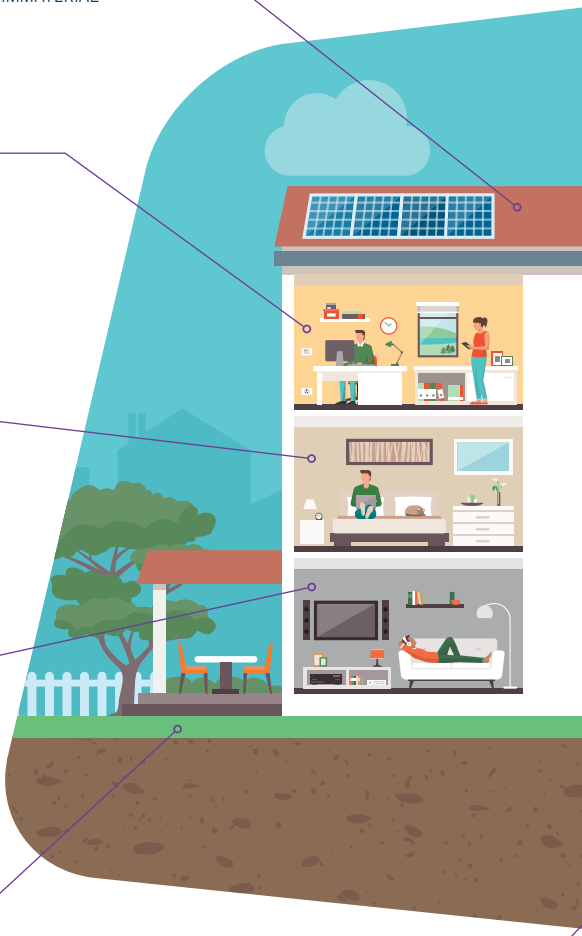
Kaltschaummatratze / Kabelisolationen

Im Wohnzimmer

LCD-Bildschirm (S. 50-53) / CDs und DVDs / Kerzen / Sofapolster

Im Garten

Sitzauflagen / Pflanzen / Gartenschlauch



In der Küche

Butter / Margarine / Marmelade / Schlagsahne / Milch (S. 18-19 und S. 22-23) / Pudding / Kuchenteig / Ketchup / Frischhaltefolie (S. 46-47) / Spülmittel (S. 12-13)

Im Kinderzimmer

Bubble tea / Kaugummi / Flummi / Wachsmalstifte / Geodreieck (S. 49) / Gummibärchen (S. 28-31) / Fluffy slime (S. 42-43) / Wasserfarbe

Auf der Terrasse

Kunststoffgiesskanne / Plastikblumenkübel / Plastikstühle

Im Badezimmer

Zahnpasta / Lippenstift / Badeperlen mit selbstauflösenden Hüllen / Shampoo / Segelboot (S. 10-11) / Windeln (S. 32-33)

In der Waschküche

Scheuermilch / Schmierseife / Waschmaschinenpods mit selbstauflösenden Hüllen

In der Garage

Fahrradreifen / Autoreifen / Dübel / Bremsbeläge / Schmierfett

Im Keller

Gummistiefel / Dichtungen / Löschschaum / Dichtsilikon / Wandfarbe

JÜLICH
Forschungszentrum

Oberflächenspannung und Tenside

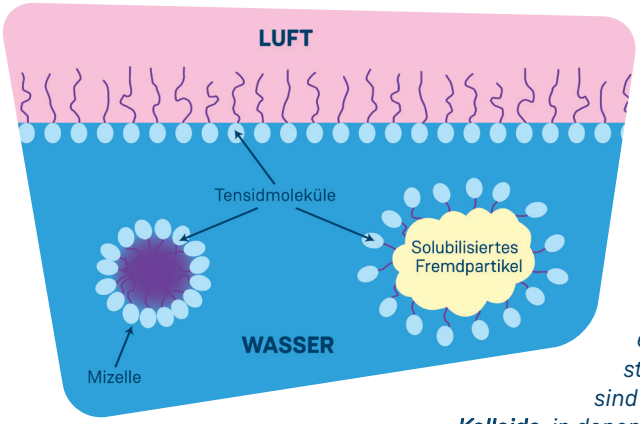
Jeder, der schon einmal von einem Sprungbrett in ein Schwimmbecken gesprungen ist, weiß, dass die Oberfläche von Wasser ganz schön hart sein kann. Das liegt an der ***Oberflächenspannung****. Wie diese entsteht und wie man sie verringern kann, erklären wir im Folgenden.*

Wassermoleküle haben ein starkes elektrisches ***Dipolmoment*** *und wie Stabmagnete ziehen sich auch elektrische Dipole gegenseitig an. Weit entfernt von der Oberfläche ist jedes Wassermolekül in allen Richtungen von gleich vielen anderen Wassermolekülen umgeben, die es in alle Richtungen gleich stark anziehen, wodurch sich die Anziehungskräfte gegenseitig aufheben.*

Aber an der Wasseroberfläche fehlen die Moleküle, die nach oben ziehen. Deshalb erfahren die Moleküle an der Oberfläche eine resultierende Kraft, die ins Innere des Wasservolumens zeigt. Man könnte auch sagen, Wassermoleküle sind nicht gerne an der Oberfläche, weshalb diese so klein wie möglich werden will. Das ist der Grund dafür, dass kleine Wassermengen immer in mehr oder weniger runden Tropfen vorliegen, denn die Kugel ist die Form mit der kleinsten Oberfläche bei gegebenem Volumen.

Will man umgekehrt die Oberfläche vergrößern, dann muss man mehr Moleküle dorthin bringen. Das kostet Energie, um die Kraft zu überwinden, die ins Innere der Flüssigkeit zeigt. Wir können uns die Oberfläche wie eine gespannte, elastische Haut, die möglichst klein werden will, vorstellen. Und wie bei einem Luftballon braucht man Energie, um die Fläche dieser Haut zu vergrößern. Die Energie, die man braucht, um die Oberfläche um eine Flächeneinheit zu vergrößern, wenn das Volumen konstant bleibt, bezeichnet man als Oberflächenspannung. Wenn man zum Beispiel einen Wassertropfen mit einem Volumen von 0,5 Milliliter (Radius ca. 5 Millimeter) in eine flache runde Scheibe mit einer Höhe von 1 Mikrometer (1 Tausendstel Millimeter) und einer Oberfläche von 1 Quadratmeter verformen will, braucht man eine Energie von ungefähr 70 Millijoule. Das ist immerhin die Energiemenge, die man braucht, um eine 100-Gramm-Tafel Schokolade 70 Zentimeter hochzuheben.

Es gibt aber Moleküle, die sind sehr viel lieber an der Oberfläche als Wasser. Das sind sogenannte ***Tenside****, auch als* ***Amphiphile*** *bezeichnet. Diese Moleküle bestehen aus zwei Teilen, von denen der eine wasserliebend (****hydrophil****) und der andere wassermeidend (****hydrophob****) ist. Die hydrophilen Teile sind oft ionische (elektrisch geladene) Gruppen, während die hydrophoben Teile sich wie Ölmoleküle verhalten. Wenn solche Tenside in Wasser gegeben werden, dann sammeln sie sich an der Oberfläche, weil sie dort ihre hydrophoben Teile in die Luft und gleichzeitig die hydrophilen Teile ins Wasser strecken können. Das ist für beide Teile eine optimale Position, daher möchten die Tenside an der Oberfläche bleiben. Folglich wird die Tendenz der Oberfläche, sich zu verkleinern, schwächer, und die Oberflächenspannung sinkt damit.*



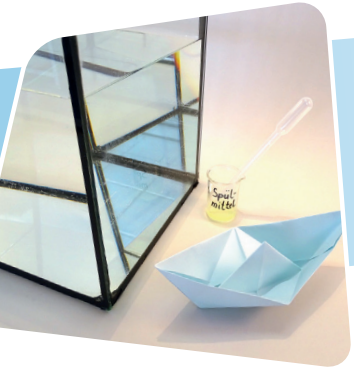
Die Oberflächenspannung wird am geringsten, wenn die Oberfläche komplett mit Tensiden bedeckt ist. Aber was passiert nun, wenn man weitere Tensidmoleküle ins Wasser gibt? Da an der Oberfläche kein Platz mehr ist, lagern sich die Tenside im Wasservolumen so zusammen, dass ihre hydrophoben Teile aufeinander zeigen. Dadurch entstehen sogenannte Mizellen. Das sind im Prinzip kugelförmige, flüssige ***Kolloide****, in denen die hydrophoben Teile im Inneren eine unpolare Phase bilden, die durch die nach außen zeigenden, hydrophoben Teile vom Wasser getrennt wird. Diese Mizellen nehmen sehr gerne andere hydrophobe Substanzen, wie Öle, Fette oder andere Fremd- bzw. Schmutzpartikel in ihrem Kern auf (siehe Abbildung). Das ist der Grund für die hauptsächliche Anwendung von Tensiden, nämlich sauber zu machen. Tenside befinden sich in Seifen, Shampoos, Waschmitteln, Spülmitteln, also in allen Produkten, die zum Waschen, Putzen und Reinigen benutzt werden. Sie werden aber auch verwendet, um eigentlich nicht wasserlösliche Substanzen, wie Öle oder auch hydrophobe pharmazeutische Wirkstoffe, mit Wasser zu mischen. Deshalb findet man sie auch in vielen Kosmetika oder Arzneimitteln und sogar in vielen industriell produzierten Lebensmitteln, wie Fertigsoßen oder Sprühsahne.*

Mini-Experiment:
Die schwimmende Büroklammer

Fülle ein Glas mit Wasser. Lege nun vorsichtig eine Büroklammer flach so auf die Wasseroberfläche, dass sie schwimmt. Das zeigt, dass die Oberflächenspannung kleine Gewichte tragen kann. Gib nun einen Tropfen eines Tensids (z. B. Spülmittel) in das Wasser. Sofort siehst du die Wirkung des Tensids auf die Oberflächenspannung.

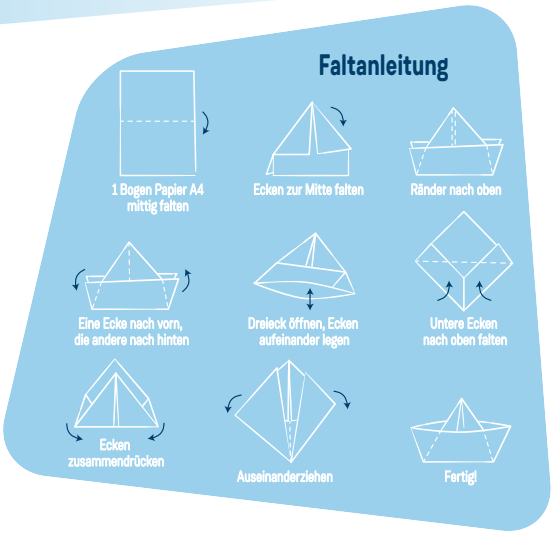
Boot mit Seifenmotor

Wie du ein Boot im Wasser ohne Motor bewegen kannst und welche Kräfte dabei eine Rolle spielen, kannst du mit diesem Versuch ausprobieren.



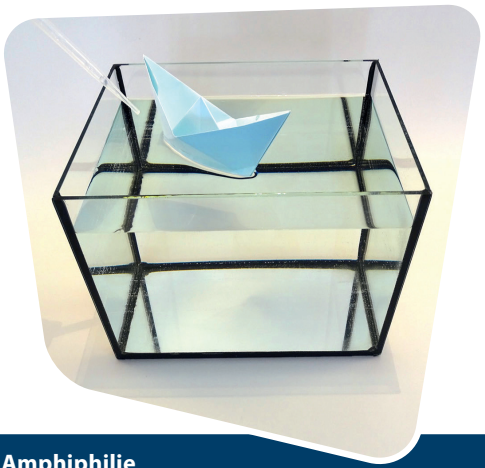
Folgendes benötigst du:

- DIN A4 Blatt Papier
- Große Schale
- Spülmittel
- Wasser
- Papierboot-Faltanleitung
- Pipette (Pasteur- oder Augentropfpipette)

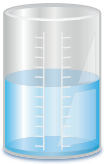


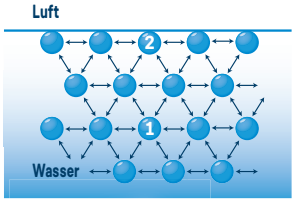
Durchführung

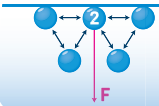
1. Falte das Papierboot mit Hilfe der Anleitung.
2. Fülle die Schale, in der das Boot schwimmen soll, bis zur Hälfte mit Wasser.
3. Setze das Boot auf das Wasser.
4. Nimm mit der Pipette Spülmittelkonzentrat auf und gib 1-2 Tropfen hinter das Boot.
5. Was beobachtest du?



Kräfte an Phasengrenzen







1 → Kräfte zwischen den Molekülen gleichen sich aus.

2 → Kräfte zwischen den Molekülen gleichen sich nicht aus. Die Kraft (F) wirkt nach innen.

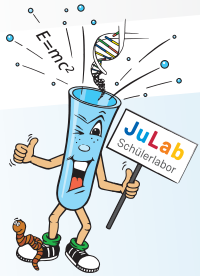
Erklärung

Wasser besteht aus kleinen Teilchen, den Wassermolekülen. Diese ziehen sich alle gegenseitig an. Für Moleküle im Inneren des Wassers wirken diese Anziehungskräfte von allen Seiten – von oben, unten, vorne, hinten, rechts und links. Die Anziehungskräfte addieren sich somit insgesamt zu null. An der Wasseroberfläche sind die Kräfte dagegen nicht ausgeglichen, weil keine Anziehungskräfte nach oben wirken. Die Moleküle an der Oberfläche werden deshalb alle ins Innere der Flüssigkeit gezogen.

Man könnte deshalb sagen, Wassermoleküle sind nicht gerne an der Oberfläche und dadurch will die Oberfläche so klein wie möglich werden. Wollte man umgekehrt die Oberfläche vergrößern, müsste man mehr Moleküle dorthin bringen, was für jede Flächeneinheit eine gewisse Menge Energie kosten würde, die man als Oberflächenspannung bezeichnet. Die Oberfläche ist deshalb wie eine gespannte, elastische Haut, die möglichst klein werden will. Die Figur mit der kleinsten Oberfläche ist die Kugel. Dies ist auch der Grund, warum Wasser bei Regen zum Beispiel in Tropfenform vom Himmel fällt.

Es gibt aber Stoffe, die viel lieber an der Oberfläche sind als Wasser, weil sie eine niedrigere Oberflächenspannung haben. Solche Stoffe sind zum Beispiel Tenside. Sie sind im Spülmittel enthalten. Tenside ersetzen die Wassermoleküle an der Oberfläche komplett. Sie bilden einen monomolekularen Film auf dem Wasser, der sich soweit wie möglich ausbreitet.

Gibt man also hinter das Papierboot ein paar Tropfen Spülmittel, bilden die Tenside einen Film, der sich ausbreitet und dabei das Papierboot vor sich her schiebt. Nach einiger Zeit bedeckt der Film die gesamte Oberfläche und schiebt von allen Seiten gleich stark am Boot. Es herrscht dann ein Gleichgewicht der Kräfte und die Bootsfahrt ist vorbei.



Du kannst die Ausbreitung des Tensidfilms beim Geschirrspülen direkt beobachten. Fülle ein vom Kochen schmutziges Gefäß, am besten eine Pfanne, mit Wasser. Auf der Oberfläche werden sich alle möglichen kleinen Essensreste und Öltröpfchen sammeln. Wenn du jetzt einen Tropfen Spülmittel in die Mitte gibst, wirst du sehen, dass diese alle kreisförmig zum Rand des Gefäßes geschoben werden.

★★

Schnelle Seifentropfen

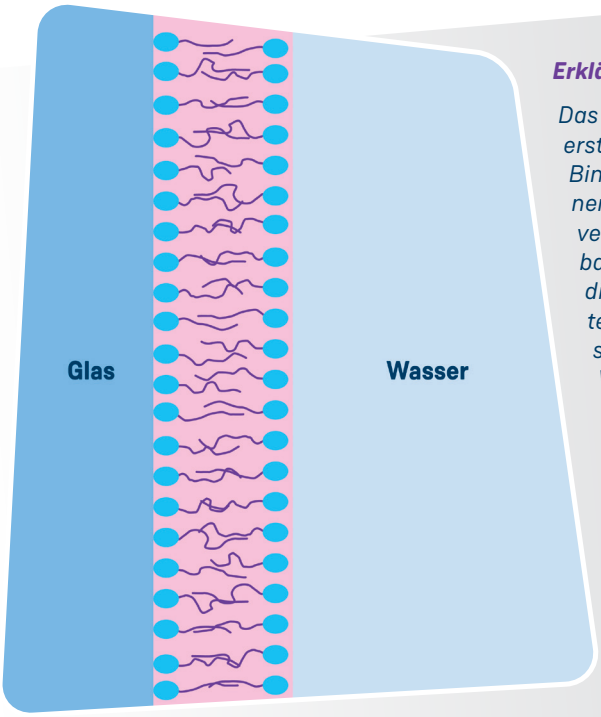
Ein Wettrennen zwischen Wasser und Spüli...
Wer gewinnt?

Folgendes benötigst du:

- Bürette, 50 ml
- Stativ mit Stativklemmen
- Wasser
- Spülmittel
- Stoppuhr
- Messzylinder, 50 ml
- 2 Bechergläser, 100 ml
- Becherglas, 500 ml als Abfallglas

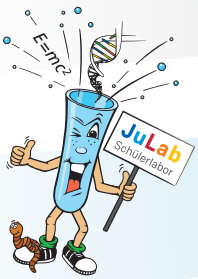
Durchführung

1. Befestige die Bürette mit den Klemmen senkrecht am Stativ und stelle ein kleines Becherglas darunter.
2. Miss 50 ml Wasser im Messzylinder ab.
3. Fülle dieses von oben in die Bürette.
4. Öffne den Hahn der Bürette leicht, sodass die Flüssigkeit langsam durchtropfen kann. Achte bei allen Versuchen darauf, den Hahn möglichst gleich weit aufzudrehen.
5. Starte die Stoppuhr, sobald der Füllstand die oberste Markierung erreicht hat.
6. Stoppe die Uhr, sobald der Füllstand die unterste Markierung unterschritten hat und notiere dir die Zeit.
7. Versetze nun 50 ml Wasser mit einigen Tropfen Spülmittel und wiederhole die Schritte 3-6.
8. Notiere, wie lange das Wasser mit Spülmittel gebraucht hat.
9. Vergleiche die Ergebnisse. Was stellst du fest?



Erklärung

Das Fließverhalten einer Flüssigkeit wird in erster Linie durch die Kohäsion, d.h. den Bindungskräften zwischen Molekülen innerhalb der Flüssigkeit, bestimmt. Diese verursachen Reibung zwischen benachbarten Flüssigkeitsschichten, wodurch diese schwerer aneinander vorbeigleiten können, als wenn es keine Kohäsion gäbe. An der Grenzfläche zwischen Wasser und der Glaswand der Bürette tritt außerdem Adhäsion auf, d.h. Bindungskräfte zwischen den Molekülen des Wassers und denen des Glases. Diese führen zu zusätzlicher Reibung, die das Fließen weiter erschwert. Spülmittel enthält Tenside, die aus einem wasserliebenden (hydrophilen) und einem wassermeidenden (hydrophoben) Teil bestehen (siehe Hintergrundwissen „Oberflächenspannung und Tenside“ auf Seite 8-9). Deshalb lagern sie sich nicht nur an der Wasseroberfläche, sondern auch an der Wasser-Glas-Grenzfläche an. Sie bilden dafür eine molekulare Doppelschicht an der Glaswand, so dass die hydrophilen Teile der ersten Schicht zum Glas zeigen und die der zweiten Schicht zum Wasser. Die hydrophoben Teile beider Schichten zeigen aufeinander zu. Durch diese Doppelschicht wird die Adhäsion zwischen Glas und Wasser verringert und das Wasser kann schneller am Glas entlangfließen. Daher gewinnt das Wasser mit Spülmittel das Rennen. Wenn du allerdings sehr viel Spülmittel in das Wasser gibst, könnte es passieren, dass die gebildeten Mizellen die Viskosität stark erhöhen (siehe Experiment „Milcholympiade“ auf Seite 22-23). Dann würde wieder das Wasser gewinnen. Die Untersuchung des Fließverhaltens (Rheologie) ist übrigens ein wichtiger Teilbereich bei der Erforschung von weicher Materie (siehe Hintergrundwissen „Untersuchungsmethoden für Soft Matter“ auf Seite 54-55).



Durch Zugabe von Tensiden wird unter anderem die Konsistenz der Tinte von Tintenstrahl-Druckern optimiert, damit diese weder zu schnell heraustropft noch verklumpt.

Im Gespräch mit …

Prof. Dr. Peter Lang

58 Jahre // Wissenschaftler und Projektmanager EUSMI, Forschungszentrum Jülich GmbH, IBI-4 // wusste schon mit 14 Jahren, dass er Naturwissenschaftler werden wollte

Berufliches

Woran forschen Sie aktuell?

Ich untersuche, wie sehr kleine Partikel, die etwa tausendmal kleiner als die Dicke eines menschlichen Haares sind, sich in der Nähe von Grenzflächen verhalten, welche Kräfte zwischen den Partikeln und der Oberfläche wirken und wie schnell die Teilchen sich bewegen. Das zu wissen, ist sehr wichtig, um zu verstehen wie viele alltägliche Dinge, wie z. B. Druckertinten, funktionieren und verbessert werden können. Aber auch in der Biologie oder der Medizin, sind diese Fragestellungen sehr wichtig. Sie helfen z. B. zu verstehen, wie die Reizweiterleitung in Nerven funktioniert, oder wie Viren es schaffen eine Zelle zu infizieren.

Was macht Ihnen am meisten Freude an Ihrer Arbeit?

Zu Anfang meiner Karriere war es hauptsächlich die Freude daran, einfach – fast schon spielerisch – Dinge auszuprobieren, um zu verstehen wie etwas funktioniert. Heute ist es eher der Kick, den ich erfahre, wenn ich zusammen mit meinem Team Dinge erforsche und erkenne, die zuvor noch nie jemand gewusst hat, die man nicht googeln kann und die in keinem Buch stehen.

Wie sah Ihr persönlicher Weg in die Forschung aus?

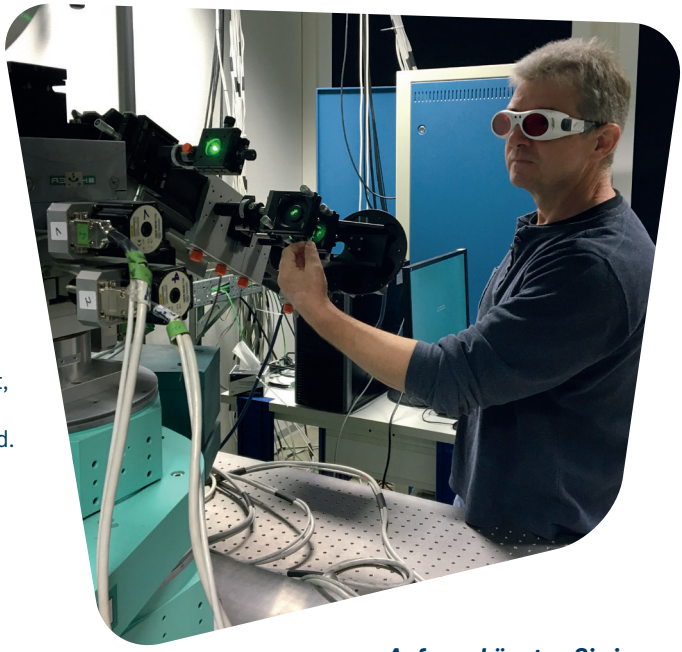
Ich kann mich kaum mehr erinnern, welche kindlichen Fantasien ich hatte, was ich einmal werden wollte. Aber spätestens als ich 14 war wurde mir klar, dass ich Naturwissenschaftler werden wollte, denn Physik, Mathe und Chemie waren außer Sport die einzigen Fächer, die mir in der Schule überhaupt Spaß gemacht haben. Und sie haben mir auch immer wieder den Notenschnitt gerettet. Meine Eltern konnten mit dieser Idee überhaupt nichts anfangen. Sie hatten einen kleinen landwirtschaftlichen Betrieb und hatten vielleicht sogar gehofft, dass ich den eines Tages übernehmen würde. Sie haben mich und meine Geschwister aber immer unterstützt, obwohl sie nie verstanden haben, was ich da eigentlich tue, und obwohl es für sie wirtschaftlich fast unmöglich war, Kinder zum Gymnasium und gar zur Uni zu schicken.

Wie könnte die Gesellschaft von Ihrer Forschung profitieren?

Es ist fast unmöglich, diese Frage zu beantworten, weil ich am Verständnis naturwissenschaftlicher Grundlagen interessiert bin und nicht an technologischen Entwicklungen. Aber ich glaube, dass meine Arbeit zum stetigen Anwachsen des vorhandenen Wissens beiträgt, was langfristig das Leben aller Menschen besser machen wird.

Auf welche große, wissenschaftliche Frage hätten Sie gern eine Antwort?

Ich hätte gerne eine Methode, den Energiebedarf der stetig wachsenden Erdbevölkerung nachhaltig zu sichern.



Persönliches

Wo findet man Sie am Sonntagnachmittag um 15 Uhr / Samstagabend um 23 Uhr?

Samstagabends wird man mich meistens auf der Couch mit einem Buch oder vor dem Fernseher finden. Seit es Netflix gibt, bin ich ein Serienjunkie. Sonntags bin ich entweder auf dem Tennisplatz, auf einer Radtour oder beim Wandern.

Wo ist der schönste Ort für Sie – außerhalb von zu Hause?

Ganz eindeutig das Markgräflerland, die Gegend, in der ich aufgewachsen bin.

Was ist Ihr Lieblingsessen?

Ich gestehe, dass ich ein Fleischfresser bin. Ein Grillabend mit Spareribs und Chicken Wings macht mich glücklich.

Auf was könnten Sie in Ihrem Leben nicht verzichten?

Grundsätzlich auf nichts, außer Nahrung und Wasser. Aber es würde mir schwer fallen, ohne Bücher und andere Unterhaltungsmedien auszukommen.

Bei welchen Gelegenheiten kommen Ihnen die besten Ideen?

Immer dann, wenn ich glaube überhaupt nicht zu denken, sei das morgens unter der Dusche oder auf einem Spaziergang, den ich schon oft gemacht habe.

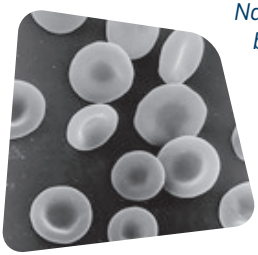
Wenn Sie eine Sache auf der Welt verändern dürften: Was wäre das?

Ich glaube, dass viele Probleme, denen wir heute gegenüberstehen, durch die Überbevölkerung und den entsprechenden Ressourcenverbrauch entstehen. Deshalb sollte sobald wie möglich der Verbrauch den Vorräten angepasst werden.

Kolloide

Kolloide *sind sehr kleine Teilchen, die in einem sogenannten* ***Dispersionsmedium*** *fein verteilt sind. Generell können sowohl die Teilchen als auch das Dispersionsmedium alle drei Aggregatzustände einnehmen, aber hier beschränken wir uns auf feste Teilchen und flüssige Tröpfchen, die in einer Flüssigkeit verteilt sind.*

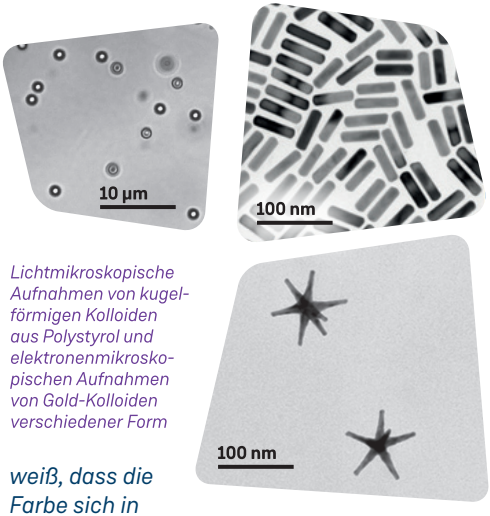
Kolloide kommen in sehr unterschiedlichen Größen vor. Der Größenbereich geht von etwa einem Nanometer (nm), das ist ein Millionstel eines Millimeters (mm), bis maximal 10 Mikrometer (µm), was etwa fünf- bis zehnmal kleiner ist als der Durchmesser eines menschlichen Haares. Kolloide, die größer als etwa 500 nm sind, kann man mit einem Lichtmikroskop sehen und untersuchen, für kleinere Kolloide benötigt man ein Elektronenmikroskop.



Elektronenmikroskopische Aufnahme von roten Blutkörperchen

Nach der oben gegebenen Definition sind viele biologische Systeme Kolloide, wie z. B. rote Blutkörperchen, Zellen oder Proteine in ihrem jeweiligen Medium. Auch Tröpfchenkolloide kommen in der Natur vor. So besteht zum Beispiel Milch im Wesentlichen aus Fetttröpfchen, die in Wasser dispergiert, das heißt fein verteilt sind. Man kann Kolloide aber auch synthetisch herstellen und dabei gezielt ihre Größe und Form variieren. Eine klassische Anwendung von solchen Kolloiden ist ihre Verwendung als Pigmente in Farben (Dispersionsfarbe), Lacken und Tinten.

Wer schon mal einen Eimer mit Wandfarbe aufgemacht hat, der lange herumstand,



Lichtmikroskopische Aufnahmen von kugelförmigen Kolloiden aus Polystyrol und elektronenmikroskopischen Aufnahmen von Gold-Kolloiden verschiedener Form

weiß, dass die Farbe sich in zwei Teile getrennt hat. Oben findet man einen Teil, der sehr dünnflüssig und fast farblos ist, während unten im Eimer eine zähe, dicke Masse ist. Bevor man die Farbe verwenden kann, muss man sie erst einmal aufrühren. Das liegt daran, dass die kolloidalen Farbpigmente so groß und schwer sind, dass sie sedimentieren, d. h. sich absetzen. Aber es gibt noch einen anderen Grund. Wenn der Farbeimer zu lange herumsteht, dann lässt sich der untere Teil nie wieder richtig aufrühren. Das liegt daran, dass alle Kolloidteilchen die Tendenz haben sich anzuziehen und Klumpen zu bilden. Der Grund dafür ist die sogenannte ***Van-der-Waals-Anziehung****, die wir im Folgenden ein wenig genauer betrachten wollen.*

Kolloide bestehen aus molekularen oder atomaren Bausteinen, die alle ein elektrisches ***Dipolmoment*** *haben. Genau wie magnetische Dipole ziehen sich auch elektrische Dipole immer an. Deshalb üben die Moleküle in einem Kolloidteilchen eine attraktive, d. h. anziehende Kraft auf die Moleküle in den anderen Kolloidteilchen aus und umgekehrt, was letztendlich dazu führt, dass sich alle Teilchen in einem Kolloidsystem gegenseitig anziehen. Aufgrund dieser Van-der-Waals-Anziehung haben also*

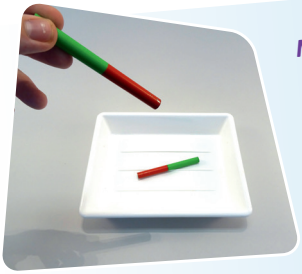
alle Kolloide die Tendenz zu aggregieren und zu verklumpen. Es wäre natürlich fatal, wenn das mit unseren roten Blutkörperchen oder den Proteinen in unserem Organismus passieren würde. Deshalb hat die Natur eine Gegenkraft eingebaut, die wir uns am Beispiel von Proteinen genauer ansehen wollen. Alle Proteine bestehen aus Aminosäuren, die je nach pH-Wert positiv oder negativ geladen sind. Kurz gesagt, Proteine sind an ihrer Oberfläche elektrisch geladen. Da sich gleichnamige Ladungen abstoßen, kommt es zu einer repulsiven, d. h. abstoßenden Kraft zwischen den Proteinen und wir haben letztendlich einen Wettbewerb zwischen der Van-der-Waals-Anziehung und der elektrostatischen Abstoßung.

Das gleiche Konzept kann auf alle Arten von Kolloiden übertragen werden. Vereinfachend kann man sagen, dass die Kolloide fein verteilt bleiben, wenn die ***elektrostatische Abstoßung*** *überwiegt. Wenn die Van-der-Waals-Anziehung überwiegt, aggregieren die Kolloide und verklumpen. Man sagt, die Dispersion wird instabil.*

Eine weitere interessante Eigenschaft von Kolloiden ist, dass sie sogenannte ***Brownsche Bewegungen*** *ausführen. Die umgebenden Flüssigkeitsmoleküle verpassen wegen ihrer thermischen Bewegung den Kolloidteilchen ständig kleine Stöße, was dazu führt, dass auch die Kolloide sich bewegen und der Diffusion unterliegen (siehe Experiment „Tintenwolken im Glas“ auf Seite 20-21). Das kann man sich etwa so vorstellen, wie wenn ein sehr großer, schwerer Erwachsener in einem Raum mit vielen kleinen Kindern steht, die um ihn herumtoben. Selbst wenn der Große versucht stehen zu bleiben, wird es ihm wahrscheinlich nicht gelingen und er wird sich wegen der Stöße durch die Kleinen auf nicht vorhersehbaren Bahnen durch den Raum bewegen.*

Mini-Experiment: Dispersionsfarbe

Du kannst dir ganz einfach eine Dispersion herstellen, indem du z. B. Ultramarinblau-Pigmente in einem Glas mit etwas Wasser verrührst. So erhältst du eine tiefblaue Aquarellfarbe. Lässt du das Gemisch eine Zeit lang stehen, sinken die meisten Pigmente auf den Boden des Glases und das darüber stehende Wasser ist wieder klar.



Mini-Experiment: Stabmagnete

Die Van-der-Waals-Anziehung zwischen den molekularen oder atomaren Bausteinen eines Kolloids, die alle ein elektrisches Dipolmoment haben, kannst du leicht mit zwei Stabmagneten veranschaulichen. Lege einmal einen Stabmagneten in eine kleine flache Schale, und versuche dann, einen zweiten dazuzulegen, ohne dass die beiden sich gegenseitig anziehen. Es wird dir kaum gelingen.

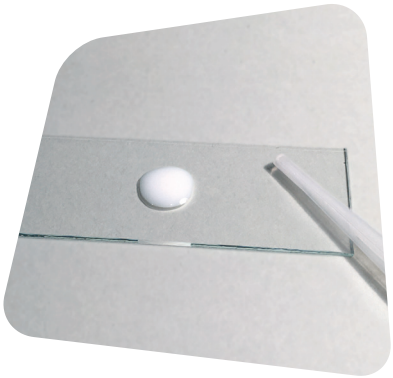
JÜLICH Forschungszentrum

Milch unterm Mikroskop

Schaue durchs Mikroskop und entdecke die Geheimnisse der Milch!

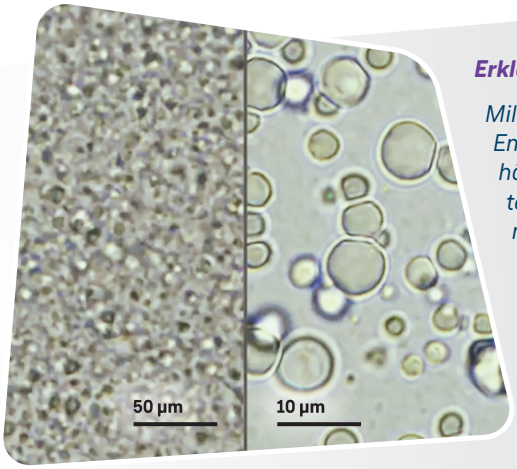
Folgendes benötigst du:

- Lichtmikroskop
- Objektträger
- Pasteurpipette
- Kalte und warme Milch
- Wasser
- Spülmittel



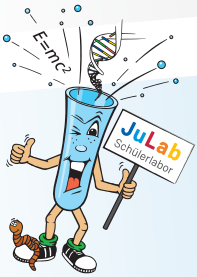
Durchführung

1. Gib einen Tropfen der kalten Milch auf den Objektträger.
2. Verdünne diesen Tropfen mit ca. 3 Tropfen Wasser.
3. Stelle das Mikroskop auf eine 400-fache Vergrößerung und beobachte.
4. Nun wiederhole Schritt 1-3, aber verwende diesmal warme Milch und warmes Wasser.
5. Gib nun einen Tropfen Spülmittel hinzu und beobachte was passiert.



Erklärung

Milch ist physikalisch betrachtet eine kolloidale Emulsion von Milchfett in Wasser. Außerdem enthält sie Milchzucker (Lactose), Caseine, Molkeproteine und geringe Anteile weiterer Stoffe, wie Mineralien und Lecithine. Letztere sind natürliche Emulgatoren, die dafür sorgen, dass das Milchfett in Form von kleinen Tröpfchen im Wasser vorkommt und die Emulsion stabil bleibt. Die weiße Farbe der Milch beruht auf der Lichtstreuung an den winzigen Fettkügelchen. Die Fetttropfen in der Milch haben einen Durchmesser von 1-10 µm (Mikrometer) und sind im Lichtmikroskop sichtbar. Man sieht unter dem Mikroskop, dass sie sich unregelmäßig in alle Richtungen bewegen. Die Fetttropfen in der erwärmten Milch bewegen sich dabei stärker als in der kalten Milch. Grund ist die Brownsche Bewegung der Wassermoleküle in der Milch, die sich unwillkürlich bewegen und dabei mit den Fetttropfen zusammenstoßen, wodurch sich diese ebenfalls in verschiedene Richtungen bewegen. Eine erhitzte Flüssigkeit enthält mehr Energie in Form von Wärme, welches sich in einer stärkeren Brownschen Bewegung äußert. Deshalb bewegen sich auch die Fetttropfen stärker. Die Bewegung der winzigen Wassermoleküle selbst kann man unter dem Lichtmikroskop zwar nicht beobachten, die Bewegung der Fetttropfen ist aber ein indirekter Nachweis dafür. Gibst du nun einen Tropfen Spülmittel, also ein Tensid, in die Milch, bildet dieses eine monomolekulare Schicht auf der Oberfläche der Milch, die sich rasch ausbreitet. Das Tensid bildet außerdem in der Milch kugelförmige Mizellen, die einen Teil der Fettmoleküle der Milch einkapseln (siehe Hintergrundwissen „Oberflächenspannung und Tenside“ auf Seite 8-9). Dadurch werden die Tröpfchen im Mittel etwas kleiner und bewegen sich nun sichtbar schneller hin und her.



Auch ohne Mikroskop kannst du die Wirkung des Tensids auf der Oberfläche der Milch sehen: Gib dafür ein paar Tropfen verschiedener Lebensmittelfarben mittig auf etwas Milch in einer Schale. Tauchst du nun ein mit Spülmittel benetztes Wattestäbchen ein, so verwirbeln die Farbtropfen an der Oberfläche und bilden dort ein buntes Muster.

Tintenwolken im Glas

Mit Tinte und Wasser kannst du zauberhafte Wolken in einem Glas erzeugen und dabei ein Grundprinzip der Bewegung kleiner Teilchen erforschen.

Folgendes benötigst du:

- Tintenpatrone
- Kleines Glas
- 2 Trinkgläser
- Kaltes Wasser
- Warmes Wasser
- Pipette (Pasteur- oder Augentropfpipette)

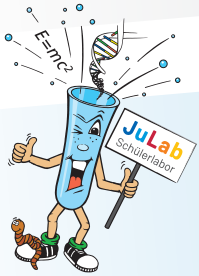
Durchführung

1. Schneide die Tintenpatrone vorsichtig an einem Ende auf und fülle sie in ein kleines Glas um.
2. Fülle ein Trinkglas mit kaltem Wasser und das andere mit warmem Wasser.
3. Nimm etwas Tinte mit der Pipette auf und gib je einen Tropfen in jedes Glas. Halte dabei die Pipette mit der Spitze etwas ins Glas, damit es möglichst wenige Verwirbelungen gibt.
4. Welche Unterschiede beobachtest du zwischen den beiden Gläsern?

Erklärung

Wasser besteht aus vielen kleinen Teilchen, den Molekülen. Diese Moleküle haben eine Eigenbewegung: Sie bewegen sich ungerichtet hin und her. Die Bewegung der Wassermoleküle führt dazu, dass auch größere Partikel, die sich in der Flüssigkeit befinden, wie die Farbpigmente in der Tinte, zufällig angestoßen werden und sich dadurch ebenfalls bewegen. Da der Engländer Robert Brown diese Teilchenbewegung als erster entdeckte, bezeichnet man diese als **Brownsche Bewegung**. *Aufgrund der Brownschen Bewegung können sich so die Farbstoffpartikel der Tinte gleichmäßig im Wasser verteilen. Sie diffundieren bis zu einer vollständigen Durchmischung. Deshalb ist die Lösung mit der Tinte im Wasser nach einiger Zeit gleichmäßig blau gefärbt, obwohl das Glas nicht aktiv bewegt wurde. Je mehr Energie dem System zugeführt wird, desto schneller bewegen sich die Wassermoleküle. Energie kann man ihnen am effektivsten durch Erwärmen zuführen. Daher bewegen sich die Farbstoffpartikel der Tinte im warmen Wasser schneller als im kalten Wasser.*

Auch wenn alle Farbstoffpartikel gleichmäßig verteilt sind hört die Bewegung innerhalb der Flüssigkeit nicht auf. Für unser Auge ist die Bewegung aber nur so lange sichtbar, bis die Farbstoffpartikel gleichmäßig in der Lösung verteilt sind.



Wenn du dir einen Tee aufgießt, ist dies im Prinzip auch ein physikalisches Experiment zur Teilchenbewegung in einer Flüssigkeit.

Wenn du Milch unter dem Mikroskop betrachtest, kannst du sehen, dass sich auch die Fetttröpfchen aufgrund der Brownschen Bewegung hin und her bewegen (siehe Experiment „Milch unterm Mikroskop“ auf Seite 18-19).

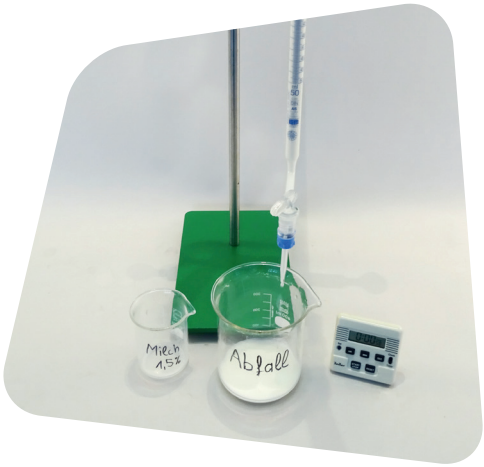
Milcholympiade

Welche Milch ist Sieger beim Kurzstreckenlauf? Probiere es selbst!

Folgendes benötigst du:

- Bürette, 50 ml
- Stativ mit Stativklemmen
- Homogenisierte Milch in verschiedenen Fettstufen (z. B. 0,5 %, 1,5 %, 3,5 %)
- Spülmittel
- Stoppuhr
- Messzylinder, 50 ml
- 2-3 Bechergläser, 100 ml
- Becherglas, 500 ml als Abfallglas

Durchführung



1. Befestige die Bürette mit den Klemmen senkrecht am Stativ und stelle ein kleines Becherglas darunter.
2. Miss 50 ml Milch einer Fettstufe im Messzylinder ab.
3. Fülle diese von oben in die Bürette.
4. Öffne den Hahn der Bürette leicht, sodass die Flüssigkeit langsam durchtropfen kann. Achte darauf, bei allen Versuchen den Hahn möglichst gleich weit aufzudrehen.
5. Starte die Stoppuhr, sobald der Füllstand die oberste Markierung erreicht hat.
6. Stoppe die Uhr, sobald der Füllstand die unterste Markierung unterschritten hat und notiere dir die Zeit.
7. Miss nun wieder 50 ml einer anderen Milchsorte ab und wiederhole die Schritte 3-6.
8. Miss, wie lange diese Milch gebraucht hat.
9. Teste so nacheinander alle Milchsorten und vergleiche.
10. Was stellst du fest?
11. Tipp: Spüle nach jeder Messung alle Milchreste mit warmem Wasser aus der Bürette (kein Spülmittel verwenden).

Erklärung

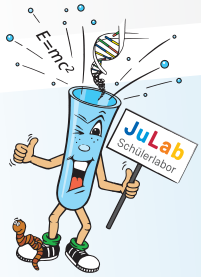
Milch ist physikalisch betrachtet eine Emulsion von Milchfett in Wasser, die noch weitere Stoffe wie Proteine und Mineralien enthält. Das Milchfett liegt in kleinen Tröpfchen fein verteilt in der Milch vor (siehe auch Experiment „Milch unterm Mikroskop“ auf Seite 18-19). Durch natürliche Emulgatoren (Lecithine) bleibt diese Emulsion mehr oder weniger lange stabil. Je größer diese Kügelchen sind, desto schneller steigen sie wegen des Dichteunterschieds zwischen Fett und Wasser nach oben und bilden eine Rahmschicht. Je kleiner die Kügelchen sind, z. B. bei homogenisierter Milch, desto stabiler ist die Emulsion.

Die Viskosität bezeichnet die Zähflüssigkeit eines Fluids. Je höher die Viskosität ist, desto dickflüssiger (weniger fließfähig) ist eine Flüssigkeit. In unserem Beispiel messen wir die Viskosität der Milch. Bei Milch ist die Viskosität wegen ihrer kolloidalen Zusammensetzung aus verschiedenen Bestandteilen besonders schwierig zu untersuchen. Die Fließfähigkeit von Milch resultiert zu einem Teil aus zwischenmolekularen Kräften, wie Van-der-Waals-Wechselwirkungen und Wasserstoffbrücken-Bindungen des Wassers und der gelösten Bestandteile. Eine größere Rolle spielen aber mechanische Wechselwirkungen der dispergierten Bestandteile, z. B. durch Verschlaufungen von Proteinen oder durch die Fetttröpfchen, die sich gegenseitig beim Fließen behindern.

Bei der Milcholympiade ist die Fließgeschwindigkeit der Milchsorten einerseits abhängig von ihrer jeweiligen Viskosität, andererseits vom Einfluss der Fläche, an der sie entlangfließen, hier also die Glaswand der Bürette. An dieser werden sogenannte Grenzflächen ausgebildet, in denen die Wand einen Einfluss auf das Fließverhalten hat.

Da sich die ausgewählten Milchsorten aber nur im Fettgehalt unterscheiden und die verwendeten Glasgeräte ja bei allen Milchsorten gleich sind, kann der Unterschied in der Durchflusszeit nur an der Fettkonzentration der jeweiligen Milchsorte liegen, d. h. dem Anteil des gesamten Fettvolumens am Milchvolumen.

Durch die höhere Fettkonzentration ist die Viskosität der Vollmilch am höchsten, wodurch diese Milch im Experiment am längsten braucht, um aus der Bürette zu laufen. Da alle Milchsorten mit bloßem Auge jedoch gleich aussehen, ist dieser Effekt auf den ersten Blick verblüffend. Die Untersuchung des Fließverhaltens (Rheologie) ist übrigens ein wichtiger Teilbereich bei der Erforschung von Weicher Materie (siehe Hintergrundwissen „Untersuchungsmethoden für Soft Matter“ auf Seite 54-55).



Wenn du mehrere Büretten zur Verfügung hast, kannst du auch in einem Wettlauf im „Blindversuch“ direkt gegen andere antreten. Lasst euch dafür von einer anderen Person Milch verschiedener Fettstufen in identische Bechergläser füllen, ohne zu wissen, welche Milchsorte in welchem Glas ist. Verteilt die Gläser auf die Teilnehmenden und findet dann heraus, wer die Milch mit dem höchsten Fettgehalt hatte.

Polymere

In unserem täglichen Leben begegnen uns ***Polymere*** *auf Schritt und Tritt. Wir sind uns dessen vielleicht nicht bewusst, weil wir sie anders nennen, nämlich Plastik, Kunststoff oder Gummi. Aber letztendlich bestehen alle Vertreter dieser drei Werkstoffklassen hauptsächlich aus Polymeren.*

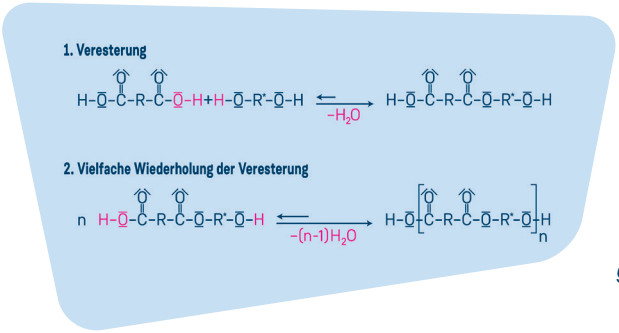
Das Wort Polymer ist aus dem griechischen abgeleitet (poly = viele und meros = Teil) und beschreibt, dass ein Polymer aus vielen ***Monomeren*** *(monos = einzel), d. h. Einzelteilen besteht. Durch sogenannte Polymerisationsreaktionen werden kleine Bausteine, die Monomere, zu langen kettenförmigen Molekülen verknüpft, den Polymeren oder Makromolekülen.*

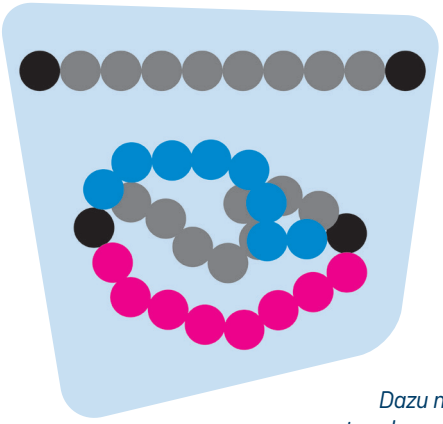
Die bekannteste Reaktion dieser Klasse ist die sogenannte ***Polykondensation*** *(siehe Abbildung). Dabei wird im ersten Schritt ein Monomer, das zwei Säuregruppen trägt, mit einem Monomer, das zwei Alkoholfunktionen hat, verestert. Dadurch entsteht ein Molekül, das an einem Ende eine Säuregruppe und am anderen eine Alkoholgruppe hat. Diese können nun wieder mit einen Alkohol-Monomer und mit einem Säure-Monomer reagieren. Dadurch entsteht ein Molekül, das schon aus vier Monomeren besteht, und wiederum zwei reaktive Gruppen an den Enden aufweist.*

Dieser Prozess lässt sich im Prinzip solange fortsetzen, bis alle Monomere verbraucht sind. Dadurch entstehen kettenförmige Makromoleküle, die aus vielen Tausend bis vielen Millionen Monomeren bestehen. Wenn man in das Reaktionsgemisch eine kleine Menge von Monomeren gibt, die nicht nur zwei, sondern drei oder mehr reaktionsfähige Gruppen tragen, dann entsteht ein dreidimensionales Netzwerk von Polymerketten. Das kann so weit gehen, dass nach einer Polymerisation alle Monomere zu einem einzigen gigantischen Molekül verknüpft sind.

Der wesentliche Unterschied zwischen einfachen kettenförmigen und vernetzten Polymeren ist ihre Löslichkeit. Ketten- oder fadenförmige Polymere können in geeigneten Lösungsmitteln vollständig aufgelöst werden. Dagegen können dreidimensionale Netzwerke nicht aufgelöst werden, da alle Ketten durch kovalente chemische Bindungen miteinander verknüpft sind. Solche Netzwerke quellen in geeigneten Lösungsmitteln auf und bilden sogenannte Gele (siehe z. B. das Experiment „Wie viel Wasser passt in eine Windel?“ auf Seite 32-33). Lineare Polymere können dagegen keine Gele bilden, auch wenn es alltägliche Produkte wie ***Pflegegele*** *gibt, die so bezeichnet werden und die lineare Polymere enthalten. Das sind wissenschaftlich betrachtet jedoch keine Gele, sondern hochviskose Flüssigkeiten, die sich mit ausreichend Flüssigkeit vollständig verdünnen lassen (siehe Experiment „Gummibärchen in Wasser“ auf Seite 28-29).*

Ein wichtiges Merkmal von Polymeren, mit der sich viele mechanische Eigenschaften von Kunststoffen und Gummis erklären lassen, ist die sogenannte ***Entropieelastizität****.*





Dazu muss man erst mal versuchen zu verstehen was Entropie bedeutet, was am einfachsten mit einem Beispiel geht: Wenn man ein kurzes Regalbrett betrachtet, in dem nur drei verschiedene Bücher Platz haben, gibt es genau 3072 Möglichkeiten, diese Bücher in allen möglichen Drehrichtungen dort einzuräumen. Das ist für diese Bücher der Zustand niedrigster Entropie. Wenn du aber zulässt, dass diese Bücher sich über dein ganzes Zimmer verteilen, dann gibt es eine sehr große Zahl von Möglichkeiten sie anzuordnen. Dies ist ein Zustand viel höherer Entropie. Du kannst die Entropie der Bücher noch weiter erhöhen, wenn du zulässt, dass sie über das ganze Haus oder darüber hinaus verteilt werden. Wie du aber aus Erfahrung weißt, kostet es dich immer wieder Mühe (d. h. Energie), die Bücher ordentlich ins Regal zu stellen, während du das Gefühl hast, dass sie sich ganz von alleine über dein Zimmer verteilen. Man könnte also sagen, dass deine Bücher freiwillig Zustände höherer Entropie einnehmen.

Tatsächlich gibt es ein Naturgesetz, das besagt, dass alle Systeme danach streben, ein Maximum ihrer Entropie zu erreichen. Das ist der Zustand, in dem das System die maximale Anzahl von Möglichkeiten hat, sich anzuordnen. Will man verhindern, dass ein System diesen Zustand erreicht, muss man Energie aufwenden.

Was hat das nun mit Polymerketten zu tun? Nimm einmal an, dass die Kette zwischen zwei Punkten fixiert (schwarze Punkte in der Abbildung) und vollständig ausgestreckt sei, dann gibt es nur eine einzige Anordnungsmöglichkeit. Wenn man die Fixierungspunkte einander annähern lässt, dann steigt die Zahl der Anordnungsmöglichkeiten und damit die Entropie der Kette sofort an (siehe Abbildung: Farbig gezeigt sind im unteren Teil beispielhaft drei mögliche Anordnungen). Deshalb sind Polymerketten gerne in einem Zustand, der einem geknäuelten Faden ähnelt und nie freiwillig in einem ausgestreckten Zustand.

Mini-Experiment: Entropieelastizität

Mit einem Gummiband, das selbst aus Polymerketten besteht, kannst du ein einfaches Experiment zur Entropie machen: Wenn du das Band langziehst, und dabei auch eine entsprechende Energie aufwendest, werden die Polymerketten gestreckt und verlieren Entropie. Wenn du locker lässt, gehen die Ketten wieder in ihre Knäuelform mit höherer Entropie zurück, wodurch sich auch das Gummiband wieder zusammenzieht. Das ist der Grund dafür, dass Gummibänder elastisch sind.

JÜLICH
Forschungszentrum

Im Gespräch mit …

Dr. Barbara Gold

35 Jahre // Referentin // Bundesministerium für Bildung und Forschung // liebt es, die Schwerpunkte der Forschungsförderung in Deutschland mitzubestimmen

Berufliches

Woran forschen Sie aktuell?

Dazu muss ich etwas ausholen: Von 2012 bis 2019 war ich in der Grundlagenforschung tätig. Ich habe erforscht, wie man Kunststoffe selbstreparierend – ähnlich wie bei einer Wunde – und damit länger haltbar machen kann. Innerhalb dieses Themas habe ich promoviert, Preise gewonnen und eigene Projekte geleitet.

Inzwischen bin ich von der Forschung in das Bundesministerium für Bildung und Forschung gewechselt und arbeite somit für die deutsche Bundesregierung: Diese legt fest, wie viel Geld für Bildung (z. B. das BAföG) und Forschung (z. B. die Erforschung von Quantencomputing oder anderer Forschungsthemen) bereitgestellt wird. Unsere Aufgabe am Ministerium ist es, zu entscheiden, wer wie viel von diesem Geld bekommt und für was. Außerdem beraten wir die Ministerin in politischen Entscheidungen, schreiben Reden und informieren die Öffentlichkeit über aktuelle Themen.

Was macht Ihnen am meisten Freude an Ihrer Arbeit?

An der Grundlagenforschung ist das spannendste, dass man jeden Tag etwas Neues herausfinden kann, was die Menschheit so noch nicht wusste. In meiner jetzigen Tätigkeit für das Bundesministerium finde ich es toll, in aktuellen (forschungs-)politischen Fragestellungen, wie zum Beispiel dem zukünftigen Einsatz von Künstlicher Intelligenz in unserem Alltag, aktiv mitbestimmen zu dürfen, in welche Richtung Deutschland dabei gehen wird.

Wie sah Ihr persönlicher Weg in die Forschung aus?

Als Jugendliche wollte ich Journalistin werden. Ich wollte schon immer Informationen für Menschen aufbereiten und zugänglich machen. Diese Tätigkeit war, bzw. ist, glücklicherweise zumindest zu einem Teil in meinen beiden Jobs Gegenstand meines Berufsalltags.

Ich hatte ursprünglich Physik und Mathematik studiert, um Wissenschaftsjournalistin zu werden. Naturwissenschaften waren mir in der Schule immer leichtgefallen, auch wenn sie mich nie besonders stark fasziniert haben. Erst an der Universität wurde mir bewusst, dass man die meisten uns umgebenden Funktionalitäten mit den Gesetzen der Mathematik und Physik erklären und vorhersagen kann.

In der Forschung versucht man, noch unerklärte Effekte zu verstehen. Jetzt entscheide ich mit, welche Funktionalitäten wir gerne besser verstehen würden und auf welchem politischen und monetären Weg dieses Ziel erreicht werden kann.

Meine Eltern, die beide keine Naturwissenschaftler sind, fanden meine berufliche Laufbahn bisher exotisch und spannend. Ich bin mir allerdings sicher, dass sie mit jeder anderen Tätigkeit, die mich erfüllt, genauso glücklich gewesen wären.

Auf welche große, wissenschaftliche Frage hätten Sie gern eine Antwort?

Auf eine neurowissenschaftliche: Ich würde gerne besser verstehen, was der Antrieb des menschlichen Handelns ist, also was Menschen dazu bringt, genau auf die eine und nicht auf eine andere Weise zu handeln.

Persönliches

Wo findet man Sie am Sonntagnachmittag um 15 Uhr / Samstagabend um 23 Uhr?

Sonntagnachmittag: Beim Joggen im Park. Samstagabend: Mit Freunden bei einem Spieleabend oder nach einem Kochabend bei der Nachspeise.

Wo ist der schönste Ort für Sie – außerhalb von zu Hause?

Im Freien – egal ob Surfen im Meer oder Wandern in den Bergen, ich bin einfach gerne in der Natur.

Was ist Ihr Lieblingsessen?

Käse und Sushi, Salat – Hauptsache salzig und nicht süß!

Auf was könnten Sie in Ihrem Leben nicht verzichten?

Auf meine engsten Freunde und meine Familie.

Bei welchen Gelegenheiten kommen Ihnen die besten Ideen?

Im gedanklichen Leerlauf (z. B. beim Zugfahren und Joggen) nach einer Phase intensiven Nachdenkens.

Wenn Sie eine Sache auf der Welt verändern dürften: Was wäre das?

Gleiche Chancen auf Bildung und freier Zugang zu Wissen für alle Menschen.

JÜLICH
Forschungszentrum

Gummibärchen in Wasser

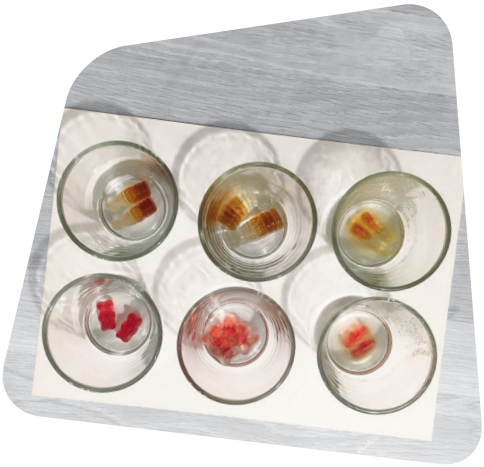
Wie „wasserfest“ sind deine Gummibärchen?

Folgendes benötigst du:

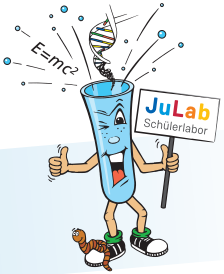
- *Einige „herkömmliche“ Gummibärchen (mit Gelatine)*
- *Einige vegane Gummibärchen (mit Stärke, Pektin oder Gummi arabicum)*
- *2 tiefe Teller*
- *Lineal*
- *Küchen- oder Briefwaage*
- *Kaltes Wasser*

Durchführung

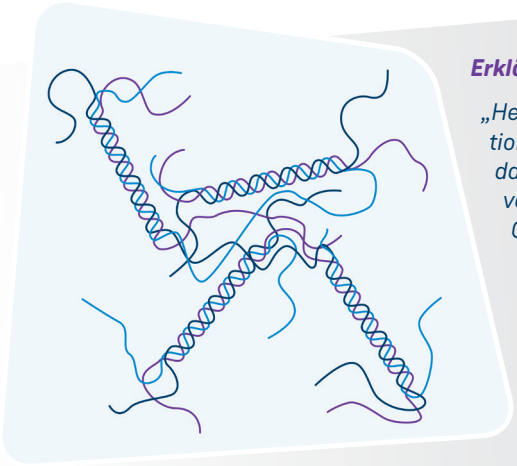
1. Miss die Länge und Breite je eines herkömmlichen und eines veganen Gummibärchens mit dem Lineal aus und notiere die Werte.
2. Wiege die Gummibärchen und notiere ihr Gewicht.
3. Fülle zwei tiefe Teller mit Wasser.
4. Setze in den einen Teller ein herkömmliches, in den anderen ein veganes Gummibärchen hinein.
5. Lasse den Versuch mehrere Stunden so stehen.
6. Bestimme nun noch einmal die Länge und Breite sowie das Gewicht beider Gummibärchen und notiere es.
7. Was stellst du fest? Gibt es Unterschiede zwischen den beiden Gummibärchen?



links: unbehandelte gelatinehaltige Gummbärchen bzw. Colafläschchen
Mitte: Effekt nach mehreren Stunden in Wasser
rechts: Effekt nach mehreren Stunden in Ananassaft



Nimm statt Wasser Ananassaft aus einer frischen Frucht und vergleiche nach einigen Stunden das Verhalten beider Gummibärchenarten.



Erklärung

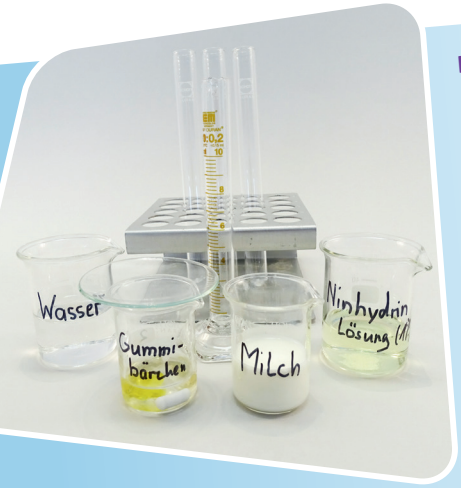
„Herkömmliche“ Gummibärchen werden traditionell mit Gelatine hergestellt. Ausgangsstoff ist dabei das Protein Kollagen, das ein Bestandteil von tierischem Bindegewebe ist. Gelatine ist ein Gemisch aus kettenförmigen Proteinmolekülen unterschiedlicher Längen, die wiederum aus Aminosäuren bestehen. Die Proteinmolekülketten sind jeweils zu dritt schraubenartig umeinander verdreht. Einzelne Ketten können in mehreren dieser sogenannten Triple-Helices eingebaut sein, wodurch ein permanentes, dreidimensionales Netzwerk entsteht, das durch Wasseraufnahme ein gequollenes Gel bildet. Über Wasserstoffbrücken-Bindungen kann so kaltes Wasser bis zum Zehnfachen des Eigengewichts aufgenommen werden. Durch die netzartige Struktur der Gelatine wird dabei die Form der Gummibärchen erhalten. In frischem Ananassaft verhalten sich gelatinehaltige Gummibärchen jedoch ganz anders. Ananas enthält das Enzym Protease, das Proteine verdaut. Durch Proteinspaltung werden die Gummibärchen daher stetig kleiner und lösen sich innerhalb einiger Stunden in dem enzymhaltigen Saft auf.

Als Alternative zu gelatinehaltigen Produkten gibt es mittlerweile vegane Gummibärchen ohne tierische Bestandteile. Diesen werden dann andere, pflanzliche Verdicker wie Stärke, Pektin oder Gummi arabicum zugesetzt. Chemisch gesehen sind alle diese Stoffe Polysaccharide, das heißt, sie bestehen aus langen und verzweigten Zuckerketten, die aber keine permanenten Netzwerke bilden können. Daher sind die meisten Polysaccharide gut wasserlöslich und Gummibärchen, die diese Verdickungsmittel enthalten, lösen sich nach einiger Zeit in kaltem Wasser oder auch in wasserhaltigem Ananassaft auf. Netzwerk-Eigenschaften erhalten Polysaccharide erst durch Erhitzen mit Wasser, was man als Verkleisterung (siehe Experiment „Starke Folien“ auf Seite 46-47) bezeichnet.

Übrigens, auch wenn es sich nicht besonders appetitlich anhört: Verkleisterte Stärke ist zusammen mit geronnenem Klebereiweiß das Geheimnis von knusprigem Brot, lockerem Kuchen und anderem Gebäck…

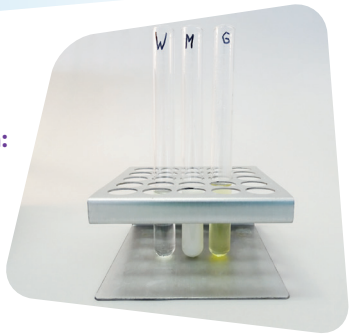
Gummibärchen-Test

Vor dir steht eine Schale mit leckeren, gemischten Süßigkeiten. Einer deiner Freunde isst nur vegane Gummibärchen. Wie kannst du nun testen, ob die Gummibärchen in der Mischung Gelatine enthalten oder nicht?



Folgendes benötigst du:

- 0,2 g Ninhydrin (⚠ siehe Seite 57)
- 20 ml Ethanol, 96 % (⚠ siehe Seite 57)
- Destilliertes Wasser
- Milch
- Messzylinder, 100 ml
- 4 weiße Gummibärchen
- Kleines Becherglas, ca. 50 ml
- Uhrglas
- Magnetrührer mit Heizplatte
- Wasserbad (z. B. Becherglas, 400 ml)
- Rührfisch
- 5-6 Pipetten (Pasteur- oder Augentropfpipetten)
- 3 Reagenzgläser
- Reagenzglasständer
- Thermometer



Durchführung

Herstellung der Ninhydrin-Lösung (1 %) – Lehrerversuch:

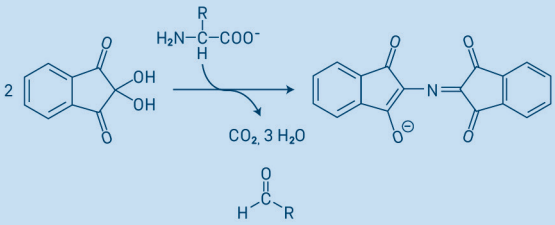
1. 0,2 g Ninhydrin in 20 ml 96 % Ethanol lösen und Lösung in den Messzylinder füllen.
2. Messzylinder mit destilliertem Wasser auf 100 ml auffüllen.

Herstellung der Gummibärchenlösung – Schülerversuch:

3. Gib die Gummibärchen und den Rührfisch in ein Becherglas und füge ca. 5 ml Wasser hinzu.
4. Stelle das Becherglas in ein Wasserbad auf den Magnetrührer und erhitze es vorsichtig. Decke das Becherglas dabei gegebenenfalls mit einem Uhrglas ab.
5. Warte bis sich die Gummibärchen in der Flüssigkeit gelöst haben.

Aminosäurenachweis – Schülerversuch:

6. Gib jeweils 5 ml Gummibärchenlösung oder Milch oder Wasser mit der Pipette in je ein Reagenzglas und beschrifte die Reagenzgläser entsprechend mit G, M und W.
7. Gib jeweils 1 ml der Ninhydrin-Lösung hinzu.
8. Erhitze die 3 Reagenzgläser im Wasserbad mindestens 15 Minuten bei 80 °C und beobachte, was passiert.



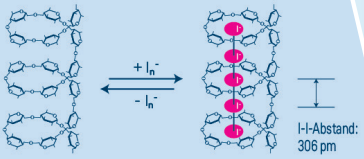
Vereinfachtes Reaktionsschema der Ninhydrin-Reaktion mit Aminosäuren zum Farbstoff ‚Ruhemanns Purpur'

Erklärung

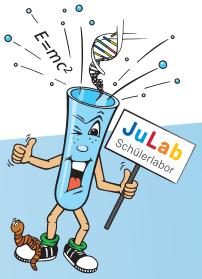
Nach Zugabe der Ninhydrin-Lösung ist eine leichte Gelbfärbung der Proben zu erkennen. Beim Erhitzen ändert sich die Farbe der Milchprobe zu violett. Enthalten die getesteten Gummibärchen Gelatine, färbt sich die Probe ebenfalls leicht violett. Die Gummibärchenprobe muss dafür erst für einige Zeit bei 80°C erhitzt werden, damit die Gelatine denaturiert wird. Gelatine besteht aus Proteinmolekülketten (siehe auch Experiment „Gummibärchen im Wasser" auf Seite 28-29), die wiederum aus Aminosäuren zusammengesetzt sind. Die freiwerdenden Aminogruppen der Aminosäuren der Gelatine bzw. der Milchproteine reagieren mit dem Ninhydrin in einer Farbreaktion. Es entsteht der violette Farbstoff ***Ruhemanns Purpur****. Die Farbe eines Stoffes wird durch seine Wechselwirkung mit Licht bestimmt. Substanzen mit sogenannten konjugierten Doppelbindungssystemen sind oft bunt. Dabei gilt: je größer das konjugierte System, desto dunkler die Farbe. Deshalb ändert das Gemisch langsam die Farbe von gelb (Ninhydrin und Aminosäure = kleines konjugiertes System) zu leicht violett (Ruhemanns Purpur = großes konjugiertes System). Ninhydrin wird als Sprühreagenz übrigens auch zur Sichtbarmachung von Fingerabdrücken verwendet, da auch im Schweiß Aminosäuren enthalten sind.*

Jod-Stärke Reaktion der Lugolschen Lösung

Bildung einer tiefblauen Einlagerungsverbindung:



Einlagerung linearer Atomketten in kanalartige Hohlräume der Amylose



Einen Gegenversuch, nämlich den Nachweis, dass deine getesteten Gummibärchen Stärke enthalten, kannst du mit einer Iod-Kaliumiodid-Lösung (Lugolscher Lösung) (⚠ siehe Seite 57) antreten. Dabei werden Polyiodid-Ionen in der Amylose-helix gebunden und es kommt zu einer tiefblauen Färbung der stärkehaltigen Gummibärchen.

⚠ Achtung: wegen möglicher Gesundheitsgefährdung durch die Iod-Lösung darf dieses Experiment nur im Labor unter Aufsicht durchgeführt werden!

JÜLICH
Forschungszentrum

Wie viel Wasser passt in eine Windel?

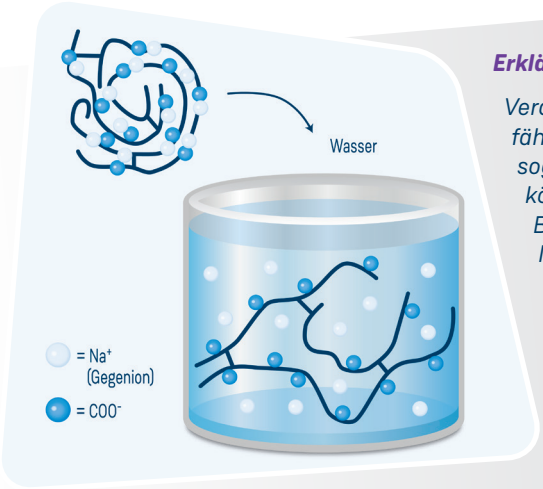
Dass Windeln eine nützliche Erfindung sind, liegt auf der Hand. Von der Mullwindel bis zur heutigen Windel hat sich viel getan und dahinter steckt spannende Forschung an sogenannten Superabsorbern: Kleine Teilchen mit großer Wirkung!

Folgendes benötigst du:

- Windel (siehe Seite 57)
- Wasser
- Messzylinder, 50 ml oder kleiner Messbecher
- Schüssel oder tiefer Teller
- 2 Gläser
- Teelöffel
- Salz
- Küchenwaage oder Briefwaage

Durchführung

1. Schneide die Windel auf und schütte die kleinen Kügelchen aus der Windel auf den tiefen Teller.
2. Gib nun ca. 2 g der Kügelchen in jeweils ein Glas. Wenn keine Waage vorhanden ist, ist es nur wichtig, dass die beiden Häufchen gleich groß sind.
3. Gieße in jedes Glas 50 ml Wasser, das du mit dem Messzylinder abgemessen hast.
4. Drücke ein trockenes Papier auf die Kugeln und teste damit, ob sie alles Wasser aufgenommen haben oder ob dein Papier von überschüssigem Wasser feucht wird. Beachte: Die Kugeln brauchen eine kurze Zeit, um das Wasser aufzunehmen.
5. Gib nun weitere 50 ml Wasser in jedes Glas und teste wieder, ob dein Papier beim Testen trocken bleibt.
6. Wiederhole dies eventuell noch einmal, gib aber diesmal die 50 ml Wasser nur nach und nach dazu und beobachte.
7. Notiere, wie viel Wasser die Kügelchen in jedem Glas insgesamt aufnehmen konnten.
8. Wenn sich die Kugeln komplett mit Wasser vollgesogen haben, gib in eines der beiden Gläser einen Teelöffel Salz, rühre um und beobachte was passiert.



Erklärung

Verantwortlich für die hohe Wasseraufnahmefähigkeit heutiger Windeln sind vor allem die sogenannten Superabsorber. 2 g Superabsorber können ungefähr 150 ml Wasser aufnehmen. Bei Superabsorbern handelt es sich um geladene Polymere, sogenannte Polyelektrolyte, die durch Verknüpfung von sehr vielen kleinen Acrylsäure- und Natriumacrylat-Einheiten zu langen Ketten entstehen. Diese Polyelektrolyte können in Wasser durch Dissoziation ionische Ladungen bilden. Durch sogenannte Vernetzer (Cross-Linker) werden die langkettigen Moleküle dann miteinander verbunden, sodass ein sehr stabiles, dreidimensionales Netzwerk entsteht.

Solange die Superabsorberkügelchen trocken sind, werden die negativen Ladungen auf den Ketten durch ihre Gegenionen neutralisiert. Die Ketten befinden sich mehr oder weniger in einem geknäuelten Zustand, weil sie so ihre Entropie maximieren können (siehe Hintergrundwissen „Polymere“ auf Seite 24-25).

Gibt man Wasser hinzu, können die Gegenionen abdissoziieren und die zurückbleibenden negativen Ladungen auf den Ketten stoßen sich gegenseitig ab. Dadurch weitet sich das Netzwerk und nimmt Wasser auf wie ein Schwamm. Das Wasser wird durch die Hydratation der negativen Ladungen und durch Wasserstoffbrücken an die Polyelektrolyte gebunden. Die Wassermoleküle, die direkt an die Ketten gebunden sind, können Wasserstoffbrücken zu weiteren Wassermolekülen ausbilden, wodurch große Mengen Wasser im Netzwerk absorbiert werden und dieses immer stärker aufweiten. Dieser Prozess kommt erst zum Stillstand, wenn alle Ketten vollständig ausgestreckt und gespannt sind, sodass die negativen Ladungen sich nicht mehr weiter voneinander entfernen können. Ab diesem Punkt kann das Superabsorber-Netzwerk kein weiteres Wasser mehr aufnehmen.

Nach der Zugabe von Salz geben die Superabsorberkügelchen wieder Wasser ab, denn die Stärke der elektrostatischen Abstoßung zwischen den negativen Ladungen der Polyelektrolyte hängt sehr stark davon ab, wie viele andere Ionen sich in dem Wasser befinden. Grundsätzlich kann man sagen, dass die Abstoßung zwischen den Ladungen umso kleiner wird, je mehr Ionen im Wasser sind.

Die Salzzugabe führt also dazu, dass die negativen Ladungen auf den Ketten sich nicht mehr so stark abstoßen und so die Entropieelastizität wieder über die Abstoßungsenergie dominiert. Das Netzwerk schrumpft und scheidet das überschüssige Wasser wieder aus.

JÜLICH Forschungszentrum

Im Gespräch mit ...

Dr. Wiebke Albrecht

33 Jahre // Postdoc-Forscherin // Universität Antwerpen // liebt vor allem die abwechslungsreichen Herausforderungen, die es täglich in der Forschung zu bewältigen gibt

Berufliches

Woran forschen Sie aktuell?

Ich forsche an sehr kleinen Metallteilchen, die aus Gold und Silber bestehen. Die Teilchen sind so klein, dass man sie nicht einmal mit einem Lichtmikroskop sehen kann. Um diese Teilchen analysieren zu können, benutzen wir spezielle Elektronenmikroskope. Diese haben eine sehr viel höhere Auflösung als normale Lichtmikroskope, die man aus der Schule kennt. Man kann sogar Atome sehen! Je nachdem, wie diese sogenannten Nanoteilchen geformt sind, verändern sich deren physikalische und chemische Eigenschaften, was ich erforsche.

Was macht Ihnen am meisten Freude an Ihrer Arbeit?

Forschung ist sehr abwechslungsreich und man lernt jeden Tag etwas Neues.
Für einen neugierigen Menschen wie mich ist Forschung daher unglaublich spannend. Außerdem gibt es immer wieder neue Herausforderungen, an denen man wächst.

Wie sah Ihr persönlicher Weg in die Forschung aus?

Naturwissenschaften haben mich schon immer begeistert und ich wusste relativ früh, dass ich in diese Richtung gehen möchte. Ich hatte einen unglaublich guten Physiklehrer in der Schule. Da hat Physik richtig Spaß gemacht. Durch seinen Einfluss habe ich definitiv die Richtung als Forscherin eingeschlagen. Ursprünglich wollte ich mehr angewandte Forschung an Solarzellen betreiben, aber die physikalische Grundlagenforschung hat mich dann mehr in den Bann gezogen. Meine Eltern fanden das sehr spannend und haben mich unterstützt. Mein Vater hat selber ein technisches Studium abgeschlossen und hat sich gefreut, dass ich auch in die Richtung gehe.

Wie könnte die Gesellschaft von Ihrer Forschung profitieren?

Die kleinen Metallteilchen, an denen ich forsche, sind in vielen verschiedenen Anwendungen relevant.

Zum Beispiel werden sie in der Medizin verwendet, um Krebszellen lokal zu zerstören, ganz ohne schädigende Bestrahlung. Außerdem haben die Teilchen spezielle Eigenschaften, die in der Photovoltaik und Photokatalyse wichtig sind, und somit zu der sauberen Energieversorgung der Zukunft beitragen.

Auf welche große, wissenschaftliche Frage hätten Sie gern eine Antwort?

Obwohl es nicht mein eigenes Forschungsgebiet ist, interessiert mich sehr, ob es weiteres Leben in unserem Universum gibt.

Persönliches

Wo findet man Sie am Sonntagnachmittag um 15 Uhr / Samstagabend um 23 Uhr?

Am Sonntagnachmittag um 15 Uhr findet man mich sehr wahrscheinlich in der Boulderhalle, weil ich sehr gerne klettere. Am Samstagabend um 23 Uhr findet man mich am wahrscheinlichsten in einer Bar oder bei einem Filmabend mit Freunden.

Wo ist der schönste Ort für Sie – außerhalb von zu Hause?

Ich wohne schon lange nicht mehr in Deutschland und freue mich immer wieder, wenn ich meine Heimatstadt Berlin besuche.

Was ist Ihr Lieblingsessen?

Ich esse sehr gerne Knödel mit einer leckeren (vegetarischen) Soße.

Auf was könnten Sie in Ihrem Leben nicht verzichten?

Ich könnte nicht auf Interaktion mit Menschen um mich herum verzichten.

Bei welchen Gelegenheiten kommen Ihnen die besten Ideen?

Die besten Ideen kommen mir beim Rad- oder Autofahren, weil ich da viel Zeit zum Nachdenken habe.

Wenn Sie eine Sache auf der Welt verändern dürften: Was wäre das?

Wenn ich eine Sache auf der Welt verändern dürfte, würde ich den Klimawandel rückgängig machen.

Alginatkugeln und mehr

Alginat kommt in vielen Algenarten vor und hat besondere Eigenschaften. Dadurch kann es in der Medizin verwendet werden, aber auch in Lebensmitteln. Vielleicht kennst du Bubble Tea mit bunten Kugeln, die beim Draufbeißen zerplatzen. Welche Möglichkeiten es noch gibt, mit Alginat zu experimentieren und was dahinter steckt, kannst du hier ausprobieren.

Folgendes benötigst du:

- 100 ml Wasser
- 6 g Calciumlactat Pentahydrat (aus der Apotheke)
- Kleine Schale zum Abwiegen
- 110 ml Wasser für die Farblösung
- 1 TL Alginat (z. B. aus der Apotheke)
- Messbecher oder Messzylinder
- 2 große Gläser oder Bechergläser
- Schüssel oder tiefen Teller
- Küchen- oder Briefwaage
- Löffel oder Schneebesen
- Kleine Pipette oder Spritze
- Kleines Sieb
- Lebensmittelfarbe
- Becherglas oder hitzebeständiges Teeglas
- Wasserglas
- Heißes Wasser, kaltes Wasser
- Blatt weißes Papier

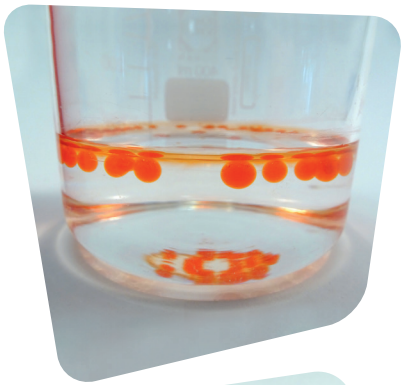
Durchführung

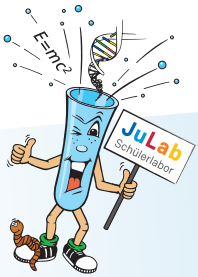
1. Wiege 6 g Calciumlactat ab und gib es in ein Glas. Löse es in 100 ml Wasser.
2. Gib dann einen gestrichenen Teelöffel Alginat in ein anderes Glas und löse es in 110 ml Wasser.
3. Gib so viel Lebensmittelfarbe zur Alginatlösung hinzu, bis ein richtig dunkler Farbton entsteht.

Fortsetzung Durchführung

4. Fülle nun die Pipette mit der Alginatlösung und lasse sie langsam in die Calciumlactatlösung tropfen. Hierbei kannst du auch versuchen, verschiedene Formen (z. B. Würmer bzw. lange Fasern) zu erzeugen, indem du die Alginatlösung unterschiedlich schnell herausdrückst.
5. Nach ca. 30 Sekunden kannst du die Alginatformen mit dem Sieb herausholen und in eine Schüssel mit Wasser geben.
6. Teste: Wie fühlen sich die Alginatkugeln an?
7. Fülle ein Becherglas oder ein hitzebeständiges Teeglas mit heißem und das andere Glas mit kaltem Wasser und positioniere für einen besseren Kontrast das weiße Papier hinter die Gläser.
8. Gib nun einige gefärbte Alginatkugeln in das Becherglas mit dem heißen Wasser und einige in das mit kaltem Wasser.
9. Was kannst du beobachten?

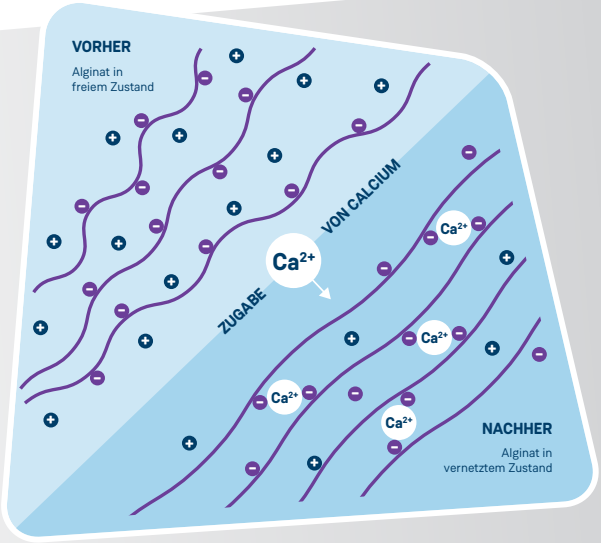
Erklärung siehe nächste Seite





Stelle selber Kugeln für einen Bubble Tea her: Führe dafür die Schritte 1-4 wie oben beschrieben durch, mit dem Unterschied, dass du das Alginat mit 110 ml Fruchtsaft anstatt Wasser ansetzt. Die Lebensmittelfarbe kannst du weglassen.

Bereite dir einen Eistee zu und fülle die Kugeln hinein. Viel Spaß beim Draufbeißen!



Erklärung

Wird das Alginatpulver in Wasser oder Saft gelöst, liegt es als einzelne, lange, negativ geladene Ketten von Zuckermolekülen vor, die eine Zickzack-Struktur aufweisen. Diese langen Zuckermoleküle bezeichnet man auch als Polysaccharide. Wenn die Alginatlösung in calciumhaltige Lösung gelangt, lagern sich sofort positiv geladene Calcium-Ionen an die Alginatketten an. Da ein Calciumion zweifach positiv geladen ist, kann es sich an zwei Alginatketten gleichzeitig anlagern (siehe Abbildung). Auf diese Weise werden viele einzelne Alginatketten miteinander zu einem verzweigten Polymer verbunden und bilden ein stabiles Netz. Diese Reaktion findet zunächst an der Kontaktfläche von Alginat- und Calciumlösung statt.

Tropft man die Alginatlösung in die Calciumlösung, dann bildet sich an der Oberfläche des Alginat-Tropfens eine feste Außenhaut. Diese besteht aus dem Alginat-Netzwerk, das mit Wasser gequollen ist, einem sogenannten Gel. Im Inneren bleibt der Tropfen noch flüssig. Es entsteht also eine Kapsel. In der Molekularküche nennt man diesen Prozess Sphärisierung.

Zerdrückt man eine Kapsel mit den Fingern, zerplatzt diese und gibt eine Flüssigkeit frei. Je länger der Tropfen in der Calciumlactat-Lösung bleibt, desto fester wird er.

Die Poren des Calciumalginat-Gels sind zu groß, um einen Farbstoff im Inneren der Kapsel vollständig einzuschließen. Daher diffundieren die **eingeschlossenen** *Farbstoff-Moleküle allmählich durch die Gelporen aus den Alginat-Kugeln heraus. Antrieb für die Diffusion ist dabei die Brownsche Bewegung. In warmem Wasser bewegen sich Moleküle schneller als in kaltem Wasser. Daher diffundieren die Farbstoffteilchen in warmen Wasser schneller aus den Alginat-Kugeln heraus als in kaltem Wasser.*

Anwendungsbeispiele für Alginat

In der Küche

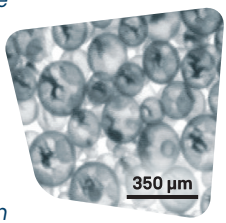
- *Alginat als Festigungsmittel spielt eine große Rolle in der sogenannten **Molekularküche**. Dort bereitet man Speisen durch besondere physikalische und chemische Prozesse unkonventionell zu und kreiert durch neue Formen und Konsistenzen ungewohnte Geschmackserlebnisse.*

In der Medizin

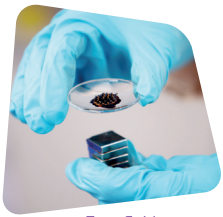
- ***Wundauflagen** aus Calcium-Natrium-Alginat werden aus natürlichen Meeresalgen hergestellt. Die Alginatfasern absorbieren Wundsekrete und bilden durch die Feuchtigkeit ein reißfestes Gel aus, das während der Heilungsphase ein idealfeuchtes Wundmilieu erzeugt. Die Alginat-Wundauflage ist außerdem biologisch abbaubar.*
- *Alginat ist häufiger Bestandteil von **Retardmedikamenten**, aus denen nach der Einnahme der Wirkstoff erst langsam freigesetzt wird. Somit wird eine gleichmäßige Versorgung mit der therapeutisch wirksamen Substanz über einen bestimmten Zeitraum gewährleistet. Dies kann z. B. durch Diffusion des Wirkstoffs aus einer Matrix oder durch eine poröse Hülle, die den Wirkstoff umschließt, geschehen.*
- *Alginat ist das gebräuchlichste **Abdruckmaterial**, mit dem in der Zahnarztpraxis schnelle und genaue Abformungen von den Zähnen und Kiefern hergestellt werden können.*
- *Als Einsatz in der **Krebstherapie** können mit Wirkstoff und einem Eisenkern aus Ferrofluiden gefüllte Mikrokapseln im Körper durch ein Magnetfeld zielgenau zu einem Tumor manövriert werden und dort ihre Wirkstoffe freisetzen. In einem DLR_School_Lab wird die Herstellung von solchen „schaltbaren" Mikrokapseln aus Alginat sogar als Experiment angeboten.*
- *Bei einer speziellen **Diabetestherapie** werden in Mikrokapseln aus Alginat eingeschlossene Inselzellen in den Körper gebracht und übernehmen dort temporär die Insulinproduktion. Durch die Verkapselung kann eine Abstoßungsreaktion der fremden Zellen verhindert werden, da diese nicht in direkten Kontakt mit den Zellen des Immunsystems kommen.*

In Labor und Wissenschaft

- *In der **Biotechnologie** werden bei der Immobilisierung Enzyme in semipermeablen Kapseln, z. B. aus Alginaten, eingeschlossen und damit in eine katalytisch aktive, aber unlösliche Form gebracht. Die Substrate und Produkte der enzymatischen Reaktion können die Alginat-Matrix weitgehend ungehindert passieren. Die eingekapselten Enzyme können später vom Medium abgetrennt und so mehrfach eingesetzt werden. Nimmt man Zellorganellen oder sogar ganze Zellen anstelle der isolierten Enzyme, können auch komplexere Verfahren durchgeführt werden, für die eine ganze Reihe von zellulären Enzymen notwendig sind.*
- *Beim **Bioprinting** können mittlerweile dreidimensionale Zellstrukturen mit speziellen 3D-Druckern gedruckt werden und dadurch Gewebe aus Körperzellen in einer gewünschten Form erstellt werden. Dabei werden oft Gele aus Alginat als Biotinte eingesetzt, der dann die gewünschten Zellen zugesetzt werden.*



Alginatkapseln mit eingeschlossenen Ferrofluiden



Ferrofluide unter Magneteinfluss

JÜLICH Forschungszentrum

Im Gespräch mit …

Dr. Robert Göstl

34 Jahre // unabhängiger Forschungsgruppenleiter // DWI – Leibniz-Institut für Interaktive Materialien // mag bunte Chemie mit Farbstoffen

Berufliches

Woran forschen Sie aktuell?

Wir beschäftigen uns in meiner Arbeitsgruppe damit, wie weiche und harte Kunststoffe auf Kraft reagieren. Zuallererst stellen wir diese Materialien her und danach machen wir sie wieder kaputt. Das klingt erst einmal wenig produktiv, aber eine Besonderheit gibt es: Wir statten diese Kunststoffe mit kleinen Sonden-Molekülen aus, die uns anzeigen, wenn auf sie eine Kraft einwirkt.

Das passiert in der Regel über das Aussenden von Fluoreszenz-Licht. Mit modernen Mikroskopen und anderen analytischen Methoden können wir dann genau herausfinden, wo und wie viel Kraft auf ein Material wirkt. Das hilft uns einerseits dabei, die Wechselwirkung von Kraft mit Kunststoffen besser zu verstehen und ermöglicht uns andererseits, neue, verbesserte Materialien herzustellen. Denn wir wissen ja dann, warum sie kaputtgehen.

Was macht Ihnen am meisten Freude an Ihrer Arbeit?

Ich habe große Freude daran, mit meinen Studierenden neue Lösungswege für komplizierte Probleme zu erarbeiten. Am meisten freut mich, wenn ich dann überrascht werde und eine Lösung gezeigt bekomme, an die ich selbst nie gedacht hätte. Außerdem sind die Moleküle, die wir erzeugen, sehr bunt und leuchten in allen Farben. Wenn meine Studierenden mir dann Bilder ihrer Materialien zeigen, freue ich mich immer wieder.

Wie sah Ihr persönlicher Weg in die Forschung aus?

Mein Weg in die Forschung sieht in meinem Lebenslauf gradliniger aus, als er war. Als Jugendlicher wollte ich Koch werden. Bis dann während des Abiturs mein Chemielehrer mich sehr für das Fach Chemie begeistert hat. Ich wollte immer wissen, woher die Eigenschaften von Dingen stammen und mein Chemielehrer hatte stets eine Antwort parat. Schließlich habe ich Chemie studiert und dann doch gekocht – aber Moleküle im Labor! Meine Mutter hat mich dabei immer unterstützt, auch als ich mehrfach durch das Fach Physikalische Chemie gefallen bin und kurz davor war etwas anderes zu studieren.

Wie könnte die Gesellschaft von Ihrer Forschung profitieren?

Wir legen mit unserer Forschung die Grundlagen für Materialien, die verbesserte mechanische Eigenschaften haben.

Deshalb hoffe ich, dass wir in Zukunft langlebigere Kunststoffe herstellen können, die auch gut recycelt werden können. Vielleicht schaffen wir es dadurch, die Menge an Plastikabfällen zu reduzieren.

Auf welche große, wissenschaftliche Frage hätten Sie gern eine Antwort?

Wie erweckt man ein Material zum Leben? Wir können Kunststoffe bereits mit allerlei Funktionen ausrüsten und auch mit ihnen kommunizieren. Allerdings wüsste ich gerne, wie man solche Materialien so gestaltet, dass sie sich wie z. B. Haut oder Haare anfühlen und verhalten.

Persönliches

Wo findet man Sie am Sonntagnachmittag um 15 Uhr / Samstagabend um 23 Uhr?

Seit ich zwei kleine Söhne habe findet man mich am Sonntagnachmittag meist auf dem Spielplatz. Am Samstagabend liege ich meist völlig erschöpft im Bett und schaue Let's Plays auf YouTube oder Twitch.

Wo ist der schönste Ort für Sie – außerhalb von zu Hause?

Meine Heimat ist Berlin und die vermisse ich schon häufig. Am liebsten bin ich in Tel Aviv. Das ist wie Berlin mit Strand und gutem Wetter.

Was ist Ihr Lieblingsessen?

Mein persönliches Comfort Food ist Mac and Cheese. Aber meine Frau kocht so gut türkisch, dass ich mich kaum entscheiden kann!

Auf was könnten Sie in Ihrem Leben nicht verzichten?

Podcasts hören beim Autofahren. Sonst wäre das mega langweilig.

Bei welchen Gelegenheiten kommen Ihnen die besten Ideen?

Wenn ich meine Kollegen in meiner Freizeit treffe und wir Zeit haben, ausführlich nachzudenken und zu diskutieren – auch mal einfach ins Blaue hinein. Ideen brauchen Platz und Zeit und die muss man ihnen geben.

Wenn Sie eine Sache auf der Welt verändern dürften: Was wäre das?

Wenn jeder Mensch unmittelbar mit den Auswirkungen seines Handelns konfrontiert würde, gäbe es meiner Meinung nach deutlich weniger Menschen, die sich unverantwortlich verhielten.

Fluffy Slime und Magischer Flummi

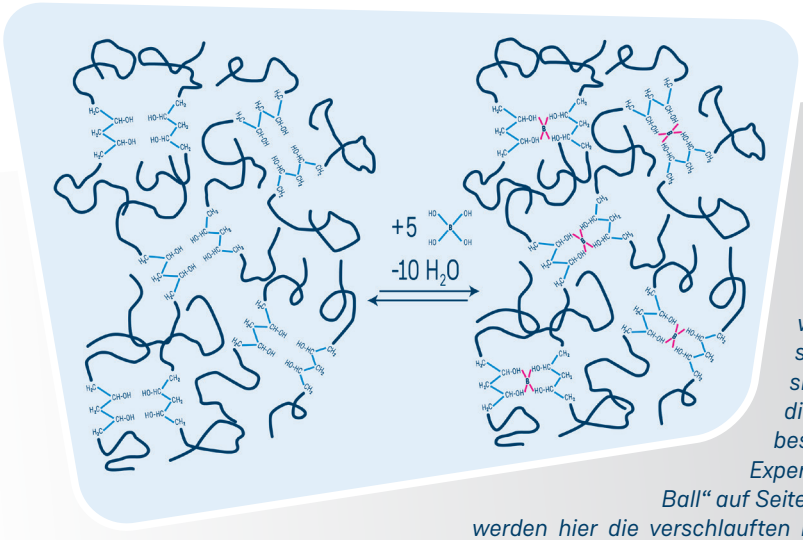
Stelle dir einen schönen, fluffigen Schleim her. Durch festes Kneten erhältst du einen runden, titschenden Flummi. Und was passiert, wenn du ihn eine Weile auf dem Tisch liegen lässt? Probiere es selber aus!

Folgendes benötigst du:

- Schüssel
- Löffel
- 100 g lösungsmittelfreier Bastelkleber mit PVA (Polyvinylakohol), gut geeignet ist z. B. Stylex
- 2 g Natron
- Lebensmittelfarbe
- 100 g Rasierschaum
- Kontaktlinsenflüssigkeit, gut geeignet ist z. B. Visiomax
- Brief- oder Küchenwaage

Durchführung

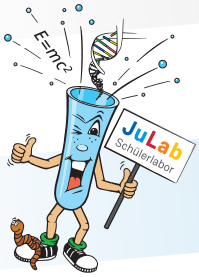
1. Gib 100 g Bastelkleber in die Schüssel.
2. Füge nun das Natron hinzu und rühre es in den Kleber.
3. Jetzt kannst du den Kleber mit etwas Lebensmittelfarbe nach Belieben anfärben.
4. Füge anschließend nach und nach den Rasierschaum hinzu und hebe ihn unter den Kleber. Vermische alles gut!
5. Gib nun ein paar Spritzer der Kontaktlinsenflüssigkeit hinzu und rühre sie unter. Wiederhole diesen Schritt bis der Slime anfängt sich von der Schüssel zu lösen.
6. Rühre nun den Slime für 10 Minuten und wiederhole bei Bedarf Schritt 5. Der Slime sollte nicht mehr an den Händen kleben bleiben.
7. Forme einen Flummi aus der Masse und lasse ihn titschen. Beobachte, was passiert, wenn du den Flummi eine Zeit lang auf dem Tisch liegen lässt.



Erklärung

Bei dem Fluffy Slime handelt es sich um eine Nicht-Newtonsche Flüssigkeit, die sowohl die Eigenschaft einer Flüssigkeit, wie auch die eines Feststoffs besitzt (siehe auch Experiment „Antistress-Ball“ auf Seite 44-45). Allerdings werden hier die verschlauften Polymerketten zusätzlich durch reversible chemische Bindungen vernetzt. Wichtig für die Reaktion sind das Polymer Polyvinylalkohol (PVA) aus dem Klebstoff, das Borax aus der Kontaktlinsenflüssigkeit und Wasser. Beim Lösen von Borax in Wasser entstehen Borsäure und Natronlauge. Die Borsäure reagiert weiter zu Tetrahydroxyborat-Anionen. Diese verknüpfen in einer Kondensationsreaktion zwei oder mehr Polyvinylalkohol-Moleküle unter Abspaltung von Wasser.

Dadurch vernetzen sich die Polyvinylketten immer mehr, die Lösung wird immer zähflüssiger; es bildet sich ein Gel. Die Vernetzung ist beendet, sobald keine Borsäure in dissoziierter Form mehr vorhanden ist. Die Reaktion benötigt ein alkalisches Milieu, was durch Zugabe von Natron erreicht wird. Der Rasierschaum (ebenfalls alkalisch) sorgt für eine besonders ‚fluffige‘ Konsistenz des Slimes. Unter Krafteinwirkung lösen sich einzelne Tetrahydroxyborat-Verknüpfungen, können sich aber immer wieder neu zusammenfinden, solange der Slime nicht austrocknet. Die Neubildung der Verknüpfungen dauert aber eine gewisse Zeit. Wenn die Krafteinwirkung lange genug dauert, kann man deshalb den Slime in die Länge ziehen oder der Flummi zerfließt durch die Gravitationskraft, wenn man lange genug wartet. Wenn die Kraft nur sehr kurz wirkt, behält der Slime seine Form, und der hüpfende Flummi bleibt kugelförmig.



Ob deine Lösung alkalisch ist (d. h. pH >7), kannst du einfach durch Eintauchen eines pH-Universalindikator-Papiers feststellen.

Antistress-Ball

War es bei dir mal wieder stressig in der Schule oder zu Hause? Da hilft ein Antistress-Ball! Und den kannst du dir sogar ganz leicht selber herstellen.

Folgendes benötigst du:

- Teelöffel
- 300 g Maisstärke
- 200 ml Wasser
- Metall- oder Plastikschüssel
- Löffel oder Schneebesen
- Trichter
- Leere Wasserflasche, 0,5 L
- Luftballon
- Brief- oder Küchenwaage

Durchführung

Anrühren des Stärkepuddings:

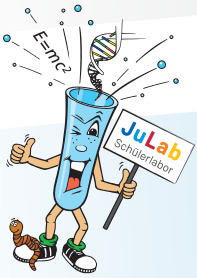
1. Fülle das Wasser in die Schüssel.
2. Gib nun löffelweise die Maisstärke hinzu.
3. Rühre nach jedem Löffel gut um, damit keine Klumpen entstehen. Tipp: langsam rühren!
4. Rühre so lange, bis ein dickflüssiger Pudding entsteht.
5. Überprüfe die Konsistenz, indem du mit dem Löffel über die Oberfläche streichst. Wenn dabei kurzzeitig Risse in der Flüssigkeit entstehen, hast du die richtige Konsistenz erreicht.
6. Beobachte nun was passiert, wenn du deine Hand unterschiedlich schnell in die Flüssigkeit drückst. Versuche auch mit der Faust darauf zu schlagen.

Herstellen des Balls:

7. Nun kann der Pudding mit Hilfe des Trichters in die leere Wasserflasche gefüllt werden.
8. Blase anschließend den Luftballon auf und stülpe ihn über die Öffnung der Wasserflasche.
9. Dann drehst du die Flasche um und lässt den Pudding in den Luftballon laufen. Dies kann eine Weile dauern.
10. Löse den Luftballon von der Flasche und lasse die überschüssige Luft entweichen. Jetzt kannst du den Luftballon zuknoten.
11. Dein Antistress-Ball ist fertig und hält ganz schön viel aus!

Erklärung

Die angerührte Stärke zeigt das Verhalten einer Nicht-Newtonschen Flüssigkeit. Die Konsistenz des Stärke-Puddings ändert sich, je nachdem wie stark und wie schnell man zudrückt. Je stärker und ruckartiger die einwirkende Kraft ist, desto härter wird die Flüssigkeit. Das liegt daran, dass die langen Fäden der Stärkemoleküle ineinander verschlungen sind wie ein Haufen durcheinander geratener Elektrokabel. Wenn man an einem der Kabel langsam mit ein bisschen Schütteln zieht, kann man den Kabelsalat entwirren. Ähnlich können die Stärkemoleküle sich entwirren, wenn man nur langsam Kraft ausübt. Der Pudding kann also fließen. Wenn man ruckartig an einem der Kabel zieht, bleiben sie ineinander verhakt und der ganze Kabelhaufen bewegt sich. Die fadenförmigen Stärkemoleküle verhalten sich genauso, wodurch sich der Pudding in diesem Fall wie ein Feststoff verhält.



Eine kleine Showeinlage mit Schrecksekunde kannst du vorbereiten, indem du eine größere Menge flüssigen Stärkepuddings sichtbar direkt vor deinem Publikum in einen Eimer füllst und dann einen schweren Gegenstand (z. B. eine Boulekugel) hineinfallen lässt. Achtung, es spritzt??? – Zum Glück nicht!

JÜLICH
Forschungszentrum

Starke Folie

Immer häufiger wird Verpackungsmaterial aus Stärke als umweltfreundlichere Alternative zu erdölbasierten Kunststoffen eingesetzt, mit dem Vorteil, dass sie biologisch abbaubar ist. Mit dem folgenden Experiment kannst du selber eine Folie aus Stärke herstellen.

Folgendes benötigst du:

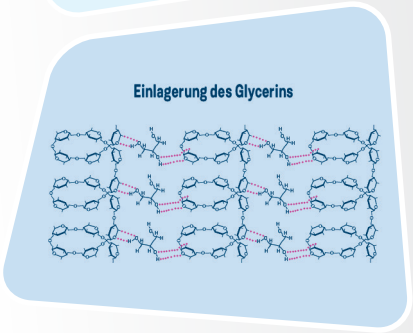
- Kartoffel- oder Maisstärke
- Glycerinlösung (w = 50 %), z. B. aus der Apotheke
- Wasser
- Evtl. Lebensmittelfarbe
- Brief- oder Küchenwaage
- Langer Löffel
- Kleiner Messbecher
- Pipette (Pasteur- oder Augentropfpipette)
- Kleiner Stieltopf, ca. 500 ml
- Etwas größerer Topf für das Wasserbad, ca. 1 Liter
- Herdplatte
- Backpapier
- Backblech oder flache, hitzebeständige Schale
- Evtl. Backofen
- Schere

Durchführung

1. Wiege 2,5 g trockene Stärke ab und gib sie in den Stieltopf.
2. Füge 20 ml Wasser und 2 ml Glycerin-Lösung hinzu. Rühre gut um, bis eine homogene Suspension entsteht.
3. Gib, wenn du magst, noch 1-2 ml Lebensmittelfarbe hinzu.
4. Fülle einen Topf ca. 2 cm hoch mit Wasser als Wasserbad.
5. Stelle den Stieltopf mit Deckel ins Wasserbad und lasse die Mischung für mindestens 15 Minuten im Wasserbad köcheln. Rühre dabei ab und zu um. **Achte darauf, dass du dich dabei nicht verbrennst**.
6. Die heiße Mischung sollte nach dem Kochen noch so flüssig sein, dass sie aus dem Topf fließt. Wenn sie zu fest ist, kannst du noch etwas Wasser hinzugeben und die Mischung noch einmal aufkochen. Lege vorher das Backpapier auf das Backblech oder in die Schale und verteile nun die heiße Mischung mit einem flachen Löffel dünn darauf.
7. Stelle die Schale oder das Blech dann zum Trocknen der Folie für etwa zwei Stunden bei 100-105 °C in den Backofen. Alternativ kannst du die Folie auch über Nacht bei Raumtemperatur trocknen lassen.
8. Ziehe deine selbstproduzierte Folie nun vom Backblech ab und schneide eventuell eingerissene Randbereiche mit einer Schere ab.

Erklärung

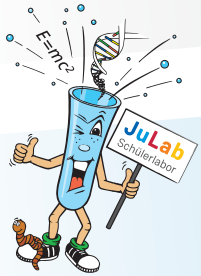
Stärke wird in Pflanzen in Form von Stärkekörnern gespeichert. Die Hauptbestandteile der Stärke sind Amylose, das aus fadenförmigen Molekülen besteht und Amylopektin, dessen Struktur aus stark verzweigten und vernetzten Polymeren besteht.



Gibt man diese Stärkekörner in Wasser, so lösen sie sich zunächst nicht. Erhitzt man das Wasser jedoch, so werden die äußeren, kristallinen Hüllen der Stärkekörner aufgebrochen. Die Hülle wird wasserdurchlässig, so dass das Stärkekorn langsam Wasser aufnimmt und leicht aufquillt. Es setzt also eine Gelbildung ein.

Durch weiteres Erwärmen platzen die Stärkekörner schließlich vollständig auf. Dies ermöglicht eine noch bessere Wasseranlagerung und Quellung. Die Gelbildung schreitet weiter voran und es entsteht eine formlose, aufgedunsene Masse, der sogenannte Stärkekleister. Die Quellung beruht dabei größtenteils auf der Aufnahme von Wasser in die molekularen Strukturen des Amylopektins. Der Quellvorgang ist irreversibel, so dass auch bei Erkalten der Flüssigkeit der Stärkekleister erhalten bleibt. Da der Stärkekleister jedoch beim Erkalten kristalline Bereiche ausbildet, entsteht ein Film, der spröde ist.

Für eine Folie ist es jedoch wichtig, dass der Film nicht zu spröde wird. Daher wird dem Stärkekleister Glycerin zugesetzt. Die Glycerin-Moleküle lagern sich zwischen den Stärkemolekülen an und bilden mit diesen Wasserstoffbrücken-Bindungen. Da Glycerin die Fähigkeit hat, Wasser zu binden, wird damit das Austrocknen und Sprödewerden der Folie unterbunden. Die Folie hat dabei eine ganz ähnliche, vernetzte Polymerstruktur, wie der Fluffy Slime, den du in einem anderen Experiment (siehe Seite 42-43) herstellen kannst.



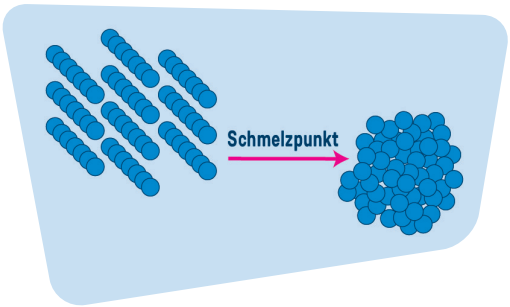
Wenn du die Stärkelösung in einem Glasgefäß anrührst, kannst du diese anstelle im Wasserbad auch in einem Mikrowellengerät kochen. Wähle die Leistung und Dauer dabei so, dass deine Stärkelösung nicht überkocht.

JÜLICH
Forschungszentrum

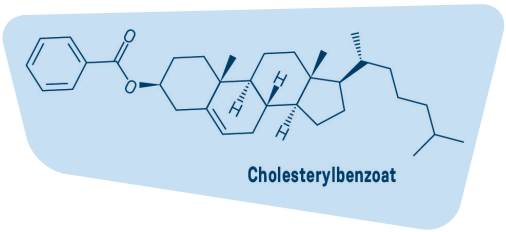
Flüssigkristalle

*Der Begriff **Flüssigkristall** scheint ein Widerspruch in sich zu sein. In unserem traditionellen Verständnis von kristallinen Festkörpern gehen wir davon aus, dass Atome oder Moleküle unverrückbar auf ihren Plätzen im Kristallgitter sitzen. Wenn diese Kristallgitter nicht hochsymmetrisch sind, kann es vorkommen, dass die physikalischen Eigenschaften der Kristalle richtungsabhängig sind; man sagt auch, der Kristall ist anisotrop. Ist zum Beispiel der Brechungsindex eines Kristalls in verschiedenen Raumrichtungen verschieden, dann kommt es zur sogenannten **Doppelbrechung**, wodurch ein Lichtstrahl in zwei Strahlen aufgespalten wird. Diese Eigenschaft benutzt man in optischen Instrumenten, um die Schwingungsebene von polarisiertem Licht zu drehen.*

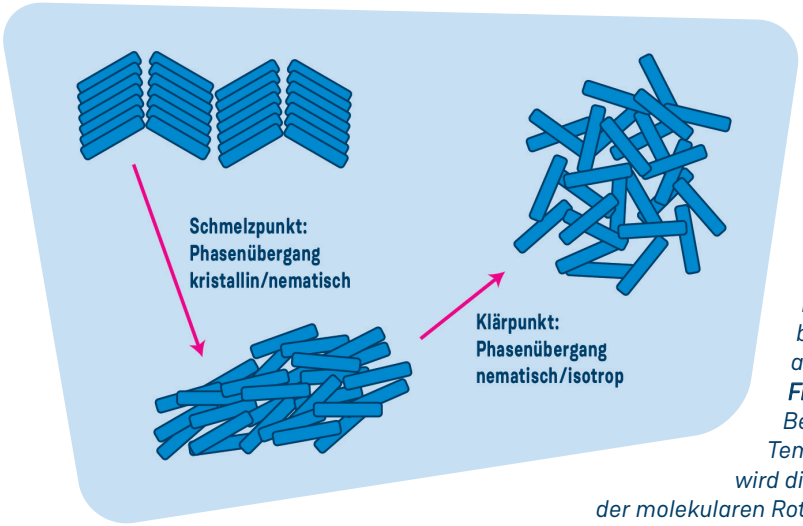
Beim Schmelzen von Kristallen verschwinden normalerweise alle anisotropen Eigenschaften und man erhält eine isotrope Flüssigkeit, in der die Moleküle völlig willkürlich angeordnet und die physikalischen Eigenschaften in allen Richtungen gleich sind.



*Im Jahre 1888 beobachtete der österreichische Botaniker und Chemiker Friedrich Reinitzer beim Schmelzen und Erstarren von Cholesterylbenzoat, dass diese Verbindung bereits bei 145,5 °C flüssig wurde, ihre doppelbrechenden Eigenschaften aber erst bei 179 °C völlig verschwanden. Die Substanz hatte in diesem Temperaturbereich also physikalische Eigenschaften von optisch anisotropen Festkörpern, obwohl sie fließen konnte. Bald entdeckte man weitere Substanzen, die sich ähnlich verhielten und bezeichnete sie als fließende Kristalle. Daraus ist der heute übliche Begriff **Flüssigkristall** oder auf Englisch **liquid crystal** geworden.*



Die außergewöhnlichen Eigenschaften von Flüssigkristallen liegen in der Form ihrer Moleküle begründet. Sie sind geometrisch anisotrop, d. h. sie sind stäbchenförmig, wie man z. B. an der Strukturformel des Cholesterylbenzoats sehen kann, oder scheibenförmig. Dadurch ist es ihnen möglich, bei Temperaturen, bei denen sie schon sehr beweglich (flüssig) sind, eine gewisse Ordnung zu behalten. So kann es zum Beispiel geschehen, dass beim Aufschmelzen eines Kristalls, der aus stäbchenförmigen Molekülen besteht, sich alle Stäbchen mehr oder weniger parallel ausrichten und nur um diese Vorzugsrichtung, den sogenannten „Direktor", hin und her wackeln. Die Schwerpunkte der Moleküle können sich aber regellos in alle Richtungen bewegen. Das heißt, die Rotation der Moleküle um ihren Schwerpunkt ist eingeschränkt, was eine Festkörpereigenschaft ist. Dagegen ist ihre Bewegung durch Parallelverschiebung völlig frei, was eine



typische Eigenschaft von Flüssigkeiten ist. Ein solches System, wie z. B. das Cholesterylbenzoat, bezeichnet man als ***nematischen Flüssigkristall****. Bei allmählicher Temperaturerhöhung wird die Einschränkung der molekularen Rotationsbewegung immer kleiner und verschwindet am sogenannten Klärpunkt ganz. Erst jetzt liegt eine optisch isotrope Flüssigkeit vor.*

Da nematische Flüssigkristalle optisch anisotrop sind, sind sie genau wie optisch anisotrope Kristalle doppelbrechend und können die Schwingungsebene von polarisiertem Licht drehen. Diese Eigenschaft nutzt man, um die heutzutage allgegenwärtigen Flüssigkristallanzeigen oder auf Englisch ***liquid crystal displays (LCD)*** *herzustellen (siehe Experiment „Flachbildschirme – wissenschaftlich betrachtet“ auf Seite 50-53).*

Mini-Experiment: Magisches Licht

Halte ein Geodreieck oder eine CD-Hülle zwischen zwei gekreuzte Polarisationsfolien (alternativ funktionieren auch zwei Gläser einer polarisierenden Sonnenbrille) und beleuchte die Anordnung. Bewegst du nun das Geodreieck oder biegst es hin und her, siehst du in der Projektion z. B. auf ein weißes Papier, bunte Farben.

Grund dafür sind sogenannte Spannungsdoppelbrechungen, die durch das Herstellungsverfahren des Geodreiecks entstehen. Ähnlich bunte Farben in charakteristischen Mustern (Texturen) findet man aufgrund ihrer doppelbrechenden Eigenschaften auch bei der Betrachtung von Flüssigkristallen durch ein Polarisationsmikroskop.

Flachbildschirme – wissenschaftlich betrachtet

Flüssigkristallanzeigen oder auf Englisch Liquid Crystal Displays (LCDs) begleiten uns tagtäglich in vielen technischen Geräten, von der einfachen 7-Segmentanzeige im Wecker bis zu hochauflösenden Farbbildschirmen von Fernsehern oder Laptops. Mit einem Bausatz kannst du dir selber ein kleines, funktionierendes LCD mit einem Motiv deiner Wahl herstellen.

Selbstbau-Set* für 10 LCDs (je 4 x 4 cm), bestehend aus:

- 10 g nematische Weitbereichsmischung (Flüssigkristall) (⚠ siehe Seite 57)
- 10 Glasplatten, ca. 10 x 10 cm, Indium-Zinn beschichtet
- 5 Reibtücher
- 100 g Reinigungskonzentrat
- 2 selbstklebende Polarisationsfolien, transparent, ca. 20 x 15 cm
- 2 selbstklebende Polarisationsfolien mit Reflektor, ca. 20 x 15 cm
- Folie als Abstandhalter, Stärke: 15 µm

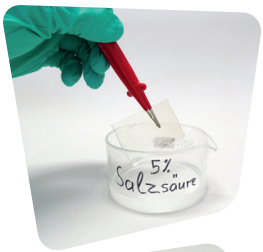
Zusätzliches Material und Laborgeräte:

- Klebefilm (z. B. Tesafilm)
- Schere
- Zweikomponentenkleber (gut geeignet z. B. „UHU plus sofort fest“ oder Alleskleber, z. B. „UHU Super Strong and Safe“)
- Glasschneider und Schneideunterlage
- Mehrere Bechergläser bzw. Glasschalen
- Pinzette
- Rutschfeste Unterlage (z. B. Mousepad)
- Spatel oder Pasteurpipette
- Destilliertes Wasser
- Salzsäure, 5 % (⚠ siehe Seite 57)
- 5-6 Siedesteinchen
- Multimeter
- Stromversorgung, 5 V (Wechsel- oder Gleichspannung)
- Magnetrührer mit Heizplatte
- Tiegelofen
- Abzug

*Kontakt für den Bezug des Sets, sowie ausführliche Anleitung auf: www.fluessigkristalle.com

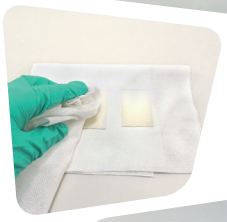
Achtung:
Dieser Versuch darf nur im Labor unter Aufsicht und Beachtung entsprechender Sicherheitsmaßnahmen und mit persönlicher Schutzausrüstung durchgeführt werden! Die folgende Kurzanleitung sollte ggf. durch die mit dem Selbstbau-Set mitgelieferte, ausführliche Anleitung ergänzt werden (siehe auch www.fluessigkristalle.com).

Durchführung

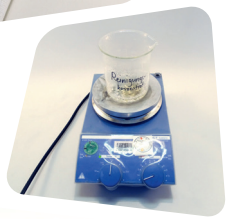


1. Schneide zunächst aus den Glasplatten aus dem Set mit dem Glasschneider auf einer Unterlage kleine Glasplatten zu je 5×4 cm **(Achtung: Schneidegefahr)**. Für jede LCD-Zelle benötigst du zwei dieser kleinen Glasplatten.

2. Jetzt kannst du die Elektroden auf deinen beiden Glasplatten gestalten (siehe dazu die Beispiele und Hinweise in der ausführlichen Anleitung des Sets). Die einfachste Form ist ein Quadrat. Klebe dazu jeweils einen Klebefilmstreifen von einer bis zur anderen Kante auf die beschichtete Seite der beiden Glasplatten, sodass sich der Streifen der oberen Platte mit dem der unteren kreuzweise überlappt. Alle so abgedeckten Stellen (Elektroden), die sich auf beiden Platten überlappen, werden später im Display geschaltet. Die beschichtete Seite kannst du mit dem Widerstandsmesser im Multimeter identifizieren. Wenn du willst, lies in der ausführlichen Anleitung nach, wie man kompliziertere Elektroden-Formen gestaltet. Achte beim Gestalten der Elektroden darauf, auch Elektroden-Zuleitungen zum Rand der Glasplatten abzudecken.



3. Als nächstes muss die Beschichtung auf den freiliegenden Flächen weggeätzt werden. Lege dazu die Glasplatten mit den noch abgedeckten Bereichen für 10 bis 30 Sekunden in eine Schale mit fünfprozentiger Salzsäure. **(Achtung: persönliche Schutzausrüstung tragen!)**



4. Nimm danach die Glasplatten mit der Pinzette wieder heraus und spüle die Platten mit Leitungswasser ab.

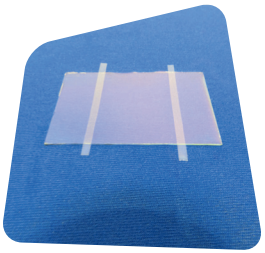
5. Ziehe nun die Klebefilmstreifen auf den Glasplatten ab.

6. Stelle danach die Glasplatten in den Tiegelofen und erhitze diesen auf 300°C. Dadurch wird das Zinn in der Beschichtung oxidiert und es entsteht eine transparentere Indium-Zinnoxid-Schicht (ITO). Lasse den Ofen anschließend mit den Glasplatten langsam abkühlen. Die heißen Platten dürfen auf keinen Fall mit einem kalten Gegenstand berührt werden.

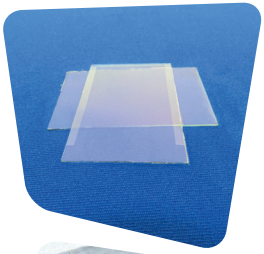
Fortsetzung siehe nächste Seite

JÜLICH Forschungszentrum

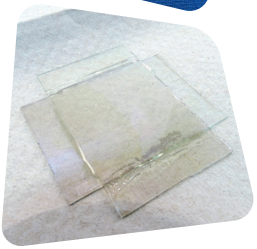
Fortsetzung Durchführung



7. Verdünne für die Reinigung der Platten ca. 5 ml des Reinigungskonzentrats mit 45 ml Wasser in einem Becherglas. Erhitze das verdünnte Reinigungsbad mit den Siedesteinchen auf dem Magnetrührer **(Achtung: persönliche Schutzausrüstung tragen!)**. Gib die Glasplatten für 3 - 5 Minuten in das siedende Reinigungsbad und nimm sie mit der Pinzette wieder heraus.



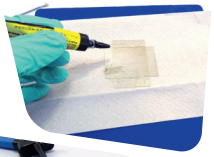
8. Spüle die Platten mit destilliertem Wasser ab und tupfe sie vorsichtig mit einem Zellstofftuch ab. Ab diesem Schritt müssen die Platten fettfrei bleiben, berühre sie also nicht mehr mit den Fingern!



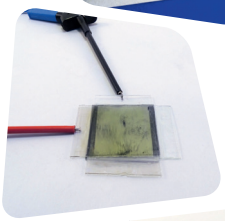
9. Lege danach die Glasplatten mit der ITO-Beschichtung nach oben auf eine rutschfeste Unterlage und reibe fest mit dem Zellstofftuch in einer definierten Richtung über die Oberfläche. Dadurch entstehen submikroskopisch kleine Längsrillen, an denen sich nachher die Flüssigkristallmoleküle an der Oberfläche der Glasplatten in definierter Weise ausrichten. Wichtig: Die Glasplatten müssen so gerieben werden, dass die entstehenden Rillen an der oberen Glasplatte/Elektrode senkrecht zu denen an der unteren Glasplatte/Elektrode orientiert sind.

10. Schneide nun Abstandhalter für die Glasplatten zu. Nimm dazu die 15 µm dünne Folie und schneide zwei je 35 x 2 mm große Streifen zu.

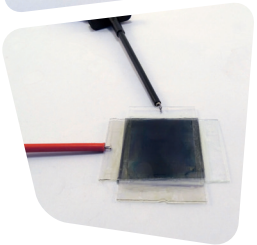
11. Baue nun deine LCD-Zelle zusammen. Lege dafür die Glasplatten aufeinander, mit den beschichteten Seiten nach innen und orientiere sie so, dass die durch das Reiben entstandenen Rillen senkrecht zueinander stehen. Füge an zwei gegenüberliegenden Seiten die Abstandhalterstreifen in Randnähe zwischen den Platten ein. Dichte nun die beiden Seiten mit den Abstandhaltern entlang der Kanten mit einem schnell bindenden Kleber ab. Dabei ist zu beachten, dass kein Kleber zwischen die Glasplatten kommen darf.



12. Befülle nun die Zelle mit dem Flüssigkristall, indem du mit einem Spatel einen Tropfen an den Schlitz der nicht verklebten Seite gibst. Durch die Kapillarkräfte zieht sich der Flüssigkristall in die Zelle.

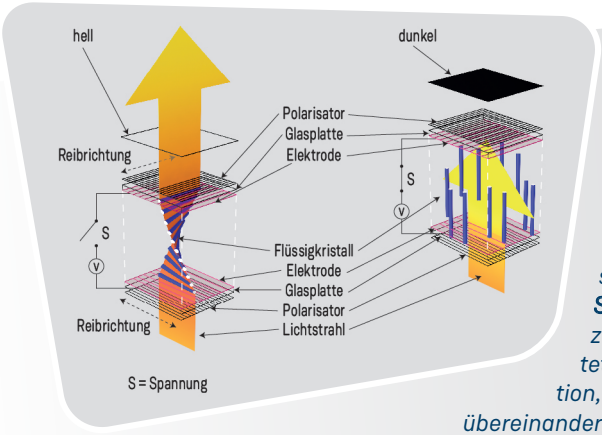


13. Entferne überschüssigen Flüssigkristall mit einem Zellstofftuch und verklebe die anderen beiden Seiten der Zelle.



14. Schneide die beiden Polarisationsfolien zu und klebe die mit dem dahinter liegenden metallischen Reflektor auf die Rückseite und die transparente Folie auf die Vorderseite der Zelle.

15. Nun kannst du dein fertiges LCD-Display testen: Lege über passende Klemmen eine niederfrequente (z. B. 1 Hz) Wechselspannung von 5 V an. Wenn alles funktioniert hat, kannst du nun den Wechsel zwischen hell und dunkel an den überlappenden Elektrodenflächen deines Motivs beobachten.



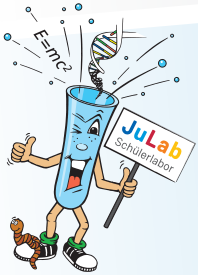
Erklärung

Die Technik des LCD beruht auf den besonderen Eigenschaften von nematischen Flüssigkristallen (siehe Hintergrundwissen „Flüssigkristalle“ auf Seite 48-49). Entdeckt wurde die Funktionsweise 1971 durch zwei Physiker. Nach ihnen wird die Anordnung ***Schadt-Helfrich-Zelle*** *benannt. Zwischen zwei transparent metallisch beschichteten Glasplatten mit Elektrodenfunktion, die in einem Abstand von ca. 10 µm übereinander fixiert sind, werden geeignete Flüssigkristallmoleküle, sogenannte Nematen, eingebracht. Entfernt man die Beschichtung auf den Platten bis auf das gewünschte Motiv, fungieren nur noch die beschichteten Stellen als Elektroden.*

Die stäbchenförmigen Nematen richten sich an beiden Glasplatten parallel zu den Rillen aus, die im Experiment durch das Reiben entstanden sind. Da diese um 90° verdreht angeordnet sind, bildet sich senkrecht durch die Zelle eine Schraubenstruktur aus. Die Polarisationsrichtung von polarisiertem Licht folgt beim Durchgang durch das Display dieser Schraubenstruktur, sodass auch die Polarisationsebene beim Austritt um 90° gedreht ist. Sind die Polarisationsfolien senkrecht zueinander ausgerichet, erhält man eine helle Fläche, wenn keine Spannung anliegt.

Da die Nematen ein Dipolmoment entlang ihrer Längsrichtung haben, können sie in einem elektrischen Feld entlang der Feldrichtung ausgerichtet werden. Legt man eine Spannung an die Elektroden an, wird die Verankerung der Moleküle an den Rillen überwunden und zwischen den Elektroden richten sich alle Nematen parallel zur Feldrichtung aus. Dadurch wird die Schraubenstruktur aufgehoben, die Polarisationsebene der Wellen wird nicht mehr gedreht, das Licht kann die zweite Folie nicht durchdringen und der Bereich des Motivs erscheint dunkel. Wird die Spannung entfernt, können sich die Moleküle wieder an den Rillen ausrichten, die Schraubenstruktur kehrt zurück und das Motiv wird hell.

Ausgehend von diesem Grundprinzip gelangte man in der Forschung und Entwicklung mit der Zeit über verschiedene technische Verbesserungen zu den heutigen, hochauflösenden LCD-Bildschirmen. Farbige Displays erreicht man übrigens dadurch, dass man Farbfilter in den additiven Grundfarben rot-grün-blau (RGB) einbaut.



Auch verschiedene natürliche Materialien haben sogenannte optisch doppelbrechende Eigenschaften, die man mit polarisiertem Licht sichtbar machen kann. So wird zum Beispiel bei der Gehirnforschung im Forschungszentrum Jülich die doppelbrechende Eigenschaft der Myelinscheiden um Nervenfasern im Gehirn ausgenutzt, um mit Hilfe von PLI (Polarized Light Imaging) die Richtung und den Verlauf der einzelnen Nervenfasern im Gehirn zu visualisieren.

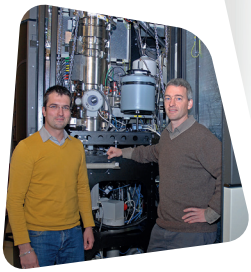
JÜLICH Forschungszentrum

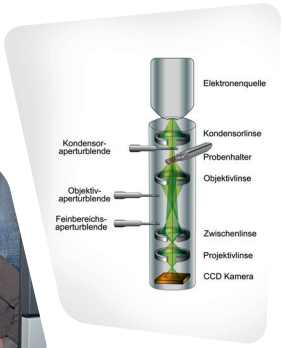
Untersuchungsmethoden für Soft Matter

Um Soft Matter-Systeme zu untersuchen und zu charakterisieren, werden sehr viele verschiedene Messmethoden eingesetzt. Die wichtigsten davon sind Mikroskopie, Streumethoden und Rheometrie, die im Folgenden näher erläutert werden.

Mikroskopie

*Wir fangen mit **Mikroskopie** an, weil du bestimmt schon einmal ein Lichtmikroskop gesehen oder vielleicht sogar verwendet hast. Im Prinzip besteht ein Lichtmikroskop aus einem Lichtstrahl, mit dem die Probe beleuchtet wird, und verschiedenen vergrößernden Linsen, durch die du Gegenstände beobachten kannst, die du mit dem bloßen Auge nicht siehst.*

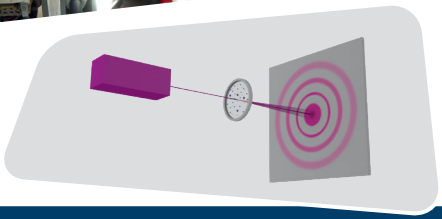




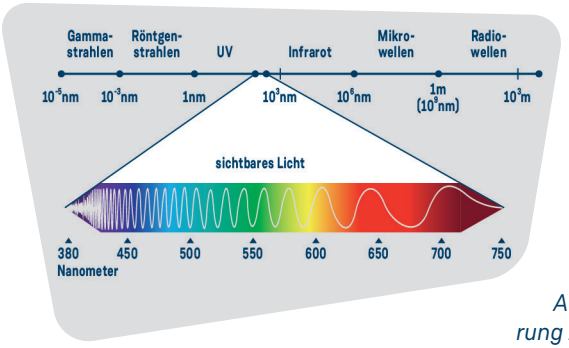
Allerdings sind der Vergrößerung physikalische Grenzen gesetzt. Mit einem Lichtmikroskop kann man keine Objekte untersuchen, die kleiner als etwa 0,2 Mikrometer (das ist etwa 200 Mal kleiner als die Dicke eines menschlichen Haares) sind. Wenn man kleinere Objekte untersuchen will, muss man Strahlung mit kürzerer Wellenlänge als sichtbares Licht verwenden. Das geschieht in Elektronenmikroskopen. Der darin verwendete Elektronenstrahl kann so kleine Wellenlängen haben, dass man damit heute sogar einzelne Atome abbilden kann. Allerdings kann man bei einem Elektronenmikroskop nicht einfach durch ein Okular schauen und die untersuchten Objekte sehen, sondern man braucht sehr aufwendige und teure Detektoren. Auch für die Erzeugung des Elektronenstrahls werden sehr teure Maschinen benötigt und es sind spezielle Sicherheitsmaßnahmen erforderlich. Deshalb gibt es hochauflösende Elektronenmikroskope nur an Forschungseinrichtungen, wie z. B. dem Forschungszentrum Jülich.

Streumethoden

*Ähnlich wie bei der Mikroskopie, wird die Probe, die man untersuchen will, bei Streumethoden mit einem Lichtstrahl beleuchtet. Der größte Teil des Lichts geht einfach durch die Probe hindurch, aber ein kleiner Teil davon wird durch die Atome in der Probe in alle Raumrichtungen verteilt. Du kannst diesen Effekt beobachten, wenn du ein Auto bei Nacht im Nebel beobachtest. Dann wirst du sehen, dass das Licht der Scheinwerfer nicht nur geradeaus nach vorne leuchtet, sondern dass ein Teil davon von den Nebeltröpfchen in einen Kegel um den eigentlichen Strahl abgelenkt wird. Diese Ablenkung nennt man **Streuung**.*



Wenn man nun sehr sorgfältig analysieren würde, wie viel Licht in welche Richtung gestreut wird, dann könnte man bestimmen, wie groß die einzelnen Nebeltröpfchen sind, welche Abstände sie zueinander haben und wie schnell sie sich bewegen. Zur Untersuchung von Kolloid- oder Polymerlösungen in der Soft Matter-Forschung wird genau dieser Effekt genutzt.

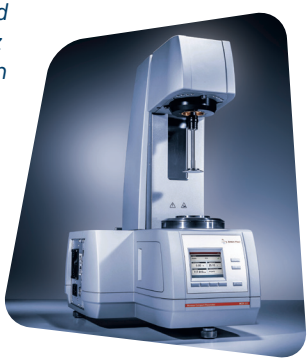


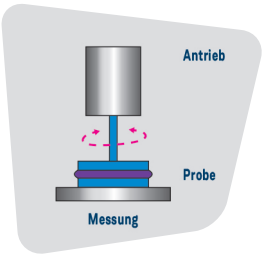
Auch hier gilt: Je kleiner die Wellenlänge der Lichtquelle ist, desto kleiner können die Objekte sein, die man untersuchen will. Deshalb kann man mit Licht am besten Partikel untersuchen, die zwischen 20 und 500 Nanometer groß sind. Will man kleinere Dinge untersuchen, muss man Röntgenstrahlen oder Neutronen zur Beleuchtung benutzen. Besonders die Neutronenstreuung erfordert eine extrem aufwendige und sehr teure Instrumentierung, so dass es in Deutschland nur eine Forschungseinrichtung – das Heinz Maier-Leibniz Zentrum in Garching – gibt, an der das möglich ist.

Rheometrie

*Eine der wichtigsten Eigenschaften zur Charakterisierung von weicher Materie und zum Design neuer Materialien ist ihr **Fließverhalten** oder ihre **Rheologie** (von altgriechisch ῥεῖν rhein, deutsch ‚fließen' und λόγος logos, deutsch ‚Lehre').*

*Soft Matter-Systeme vereinigen die Eigenschaften von Festkörpern und von Flüssigkeiten in einem Material (siehe Hintergrundwissen „Was ist Soft Matter" auf Seite 4-5). Festkörper sind elastisch verformbar und Flüssigkeiten fließen unter dem Einfluss von Kräften. Weiche Materie kann beides. Um den Anteil von elastischer Verformbarkeit und von Fließfähigkeit zu quantifizieren, benutzt man sogenannte Rheometer. Dabei wird im einfachsten Fall die Probe zwischen zwei Platten gebracht, und die obere Platte wird mit einer definierten Kraft und einer definierten Geschwindigkeit gedreht. Die Probe überträgt diese Bewegung in charakteristischer Weise auf die untere Platte. An dieser wird gemessen, wie viel von der eingesetzten Kraft durch die Probe übertragen wird. Außerdem kann man eine Zeitverzögerung zwischen den Bewegungen der beiden Platten messen. Wäre die Probe ein idealer Festkörper, dann würde die Kraft vollständig übertragen und es würde keine Zeitverzögerung auftreten. Genau das Gegenteil würde bei einer idealen Flüssigkeit passieren: Es würde keine Kraft übertragen und die Zeitverzögerung unendlich groß werden, das heißt, die untere Platte würde sich nie bewegen. Mit der **Rheometrie** kann man also den Anteil von Festkörper- und Flüssigkeitseigenschaften einer Probe quantitativ bestimmen.*





JÜLICH
Forschungszentrum

Soft Matter im Unterricht – Mögliche Anknüpfungen im Überblick

Gerade wegen seiner interdisziplinären Bedeutung lässt sich „Soft Matter“ gut in verschiedenen naturwissenschaftlichen Fächern (Chemie, Physik, Biologie) behandeln bzw. in fachübergreifende Projekte einbauen. Viele Kontexte bzw. Inhaltsfelder bieten sich hier an, z. B. Struktur-Eigenschaftsbeziehungen, Lebensmitteluntersuchung oder Makromoleküle. In der folgenden Tabelle sind beispielhaft einige Inhalte und Basiskonzepte aufgeführt, an die direkt angeknüpft werden kann.

	Thema	Seite	Inhaltliche Schwerpunkte und Basiskonzepte
Experimente	Boot mit Seifenmotor	10 - 11	Oberflächenspannung / Tenside / Amphiphilie
	Schnelle Seifentropfen	12 - 13	Tenside / Kohäsion / Adhäsion / hydrophil / hydrophob / Grenzflächenspannung / Oberflächenspannung / Rheologie
	Milch unterm Mikroskop	18 - 19	Kolloide / Emulsion / Dispersion / Brownsche Bewegung / Tenside / Lecithine
	Tintenwolken im Glas	20 - 21	Brownsche Bewegung / Diffusion / Kolloide
	Milcholympiade	22 - 23	Kolloide / Viskosität / Emulsion / Dispersion / Rheologie
	Gummibärchen in Wasser	28 - 29	Polymere Netzwerke / Quellung / Gel / Wasserstoffbrücken-Bindung
	Gummibärchen-Test	30 - 31	Makromoleküle / Proteine / Kohlenhydrate / Nachweisreaktionen / Polymere Netzwerke
	Wie viel Wasser passt in eine Windel?	32 - 33	Polymere / Polyelektrolyte / Quellung / elektrostatische Wechselwirkung / Wasserstoffbrücken-Bindung / Gel / Entropieelastizitat
	Alginatkugeln und mehr	36 - 38	Polymere / Brownsche Bewegung / Gel / Diffusion
	Fluffy Slime und Magischer Flummi	42 - 43	Polymere / Gel / Nicht-Newtonsche Flüssigkeit
	Antistress-Ball	44 - 45	Polymere / Nicht-Newtonsche Flüssigkeit / Scherverdickung
	Starke Folie	46 - 47	Neue Materialien aus Kohlenstoff / Polymere / Quellung / Gel
	Flachbildschirme – wissenschaftlich betrachtet	50 - 53	Kristallstrukturen / Licht / Flüssigkristalle / Polarisation / Anisotropie / Isotropie / Nematische Phase / Doppelbrechung / elektrisches Feld / Dipolmoment
Hintergrundwissen	Was ist Weiche Materie – Soft Matter?	4 - 5	Teilchenmodell / Aggregatzustand / Feststoff / Festkörper / Flüssigkeit / Gas / Soft Matter / Weiche Materie / Polymere / Kolloide / Flüssigkristalle
	Oberflächenspannung und Tenside	8 - 9	Intermolekulare Wechselwirkungen / Dipolmoment / hydrophil / hydrophob / Amphiphilie / Oberflächenspannung / Tenside / Kolloide
	Kolloide	16 - 17	Stoffgemische / Intermolekulare Wechselwirkungen / Van-der-Waals-Anziehung / Dipolmoment / Kolloide / Dispersion / Brownsche Bewegung / elektrostatische Abstoßung / Stabmagnete als Modell für Dipole / Dispersionsfarbe
	Polymere	24 - 25	Makromoleküle und ihre Stoffeigenschaften / Kunststoffe / Polymerisation / Synthese / Polymere / Monomere / Polykondensationsreaktion / Entropie / Elastizitat
	Anwendungsbeispiele für Alginat	39	Polymere / Gel / Diffusion / Wundbehandlung / Biotechnologische Verfahren der Immobilisierung durch Gelkapseln / medizinische Therapien
	Flüssigkristalle	48 - 49	Flüssigkristalle / Polarisation / Anisotropie / Nematische Phase / Doppelbrechung
	Untersuchungsmethoden für Soft Matter	54 - 55	Mikroskopie / Lichtmikroskop / Elektronenmikroskop / Streuung / Tyndall-Effekt / Welle-Teilchen-Dualismus / Rheometrie / Rheologie / Fließverhalten

Gefahrstoff-Liste

Experiment	Gefahrstoff	H-Sätze*	P-Sätze*
Gummibärchentest (S.30-31)	Ninhydrin	H302, H315, H319	P301+312+330, P305+351+338
	Ethanol, 96%ig	H225, H319	P210, P240, P403+233, P305+351+338
	Lugolsche Lösung (Iod-Kaliumiodidlösung)	H373	P260, P314
Wie viel Wasser passt in eine Windel? (S.32-33)	Natriumpolyacrylat (Superabsorber)	H319	P305+P351+P338
Flachbildschirme – wissenschaftlich betrachtet (S.50-53)	Salzsäure, 5%ig	H290	/
	Nematische Weitbereichsmischung (Angaben für den häufigen Bestandteil MBBA)**	H315, H319, H335	P261, P305+P351+P338

*Quelle: www.dguv.de **Quelle: www.chemicalbook.com

Für die Durchführung der beschriebenen Experimente gelten allgemeine Sicherheitsregeln für Laborarbeiten. Lebensmittel, die im Labor verwendet oder hergestellt werden, sind nicht für den Verzehr geeignet.

Bezugsquellen und Adressen

S. 36-38 Alginatkugeln und mehr

- *Calciumlactat-Pentahydrat: Apotheke*
- *Alginat: Apotheke*
- *Lebensmittelfarbe: Supermarkt*

S. 39 Anwendungsbeispiele für Alginat

- *Experiment „Schaltbare Mikrokapseln“ DLR_School_Lab TU Dortmund schoollab-dortmund@dlr.de www.DLR.de/dlrschoollab*

S. 42-43 Fluffy Slime und Magischer Flummi

- *Bastelkleber mit PVA (gut geeignet z. B. „Stylex“): Baumarkt oder Schreibwarenladen*
- *Natron: Supermarkt*
- *Rasierschaum: Drogeriemarkt*
- *Kontaktlinsenflüssigkeit (gut geeignet z. B. „visiomax“): Drogeriemarkt oder Apotheke*
- *Lebensmittelfarbe: Supermarkt*

S. 46-47 Starke Folie

- *Glycerinlösung (w = 50 %): Apotheke*

S. 50-53 Flachbildschirme – wissenschaftlich betrachtet

- *Kontakt für den Bezug des Sets sowie ausführliche Anleitung auf: www.fluessigkristalle.com (Dr. Feodor Oestreicher)*
- *Zweikomponentenkleber (gut geeignet z. B. „UHU plus sofort fest“ oder Alleskleber, z. B. „UHU Super Strong and Safe“): Baumarkt*
- *Glasschneider: Baumarkt*

Experimentierhinweise

leicht bis schwierig

zu Hause / im Labor

Hintergrundwissen

Gefahrenhinweis

JÜLICH Forschungszentrum

JuLab – mehr als ein Schülerlabor!

Die Herausforderungen unserer Zeit sind interdisziplinär – und das JuLab ist es auch!

Durch unser Angebot eröffnen wir einen Zugang in das Forschungszentrum Jülich und in die faszinierende Welt der Forschung. Interdisziplinäre Themen, umfangreich ausgestattete Labore, moderne didaktische Prinzipien, ein engagiertes Team und der direkte Austausch mit den Expertinnen und Experten der Jülicher Forschung prägen uns als außerschulischen Lernort.

Wir machen Lernen zum Spaß.

Die Erkenntnis, dass jeder Mensch die Chance hat, zur Lösung der großen gesellschaftlichen Herausforderungen beizutragen, treibt uns an. Deswegen teilen wir unsere Begeisterung für die Forschung und unseren Drang die MINT-Welt zu erkunden. Wir fördern durch selbstständiges Denken und Handeln das positive Erlebnis des Verstehens und freuen uns gemeinsam mit unseren Teilnehmenden über die individuellen Aha-Momente.*

Wir sind Wegbereiter für eine nachhaltige Zukunft.

*MINT-Kompetenzen sind Voraussetzung für eine Partizipation an gesellschaftlichen Entscheidungsprozessen. Im JuLab erleben Schüler*innen die Faszination der Forschung und ihre Rolle als Schlüssel zur Gestaltung einer zukunftsfähigen Gesellschaft. Das JuLab fördert so im Sinne einer Bildung für nachhaltige Entwicklung (BNE) nachhaltiges Denken und Handeln – regional und global.*

**MINT: Mathematik, Informatik, Naturwissenschaften, Technik*

Ein Ausschnitt aus unserem Programm:

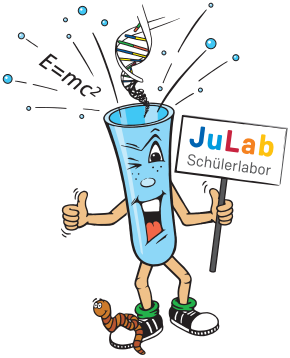
- *Experimentiertage zu verschiedenen MINT-Themen, für Primarstufe bis Sekundarstufe II*
- *Ferienangebote und Forscherwochen*
- *Projektkurse in Zusammenarbeit mit Forschungsinstituten*
- *Gemeinsame Angebote mit der zentralen Berufsausbildung und dem Büro für Chancengleichheit*
- *Fortbildungen für Lehrer*innen, Referendar*innen und Erzieher*innen*
- *Veranstaltungen wie Helmholtz-Schülerkongress, Tag der kleinen Forscher und Eltern-Kind-Tage*

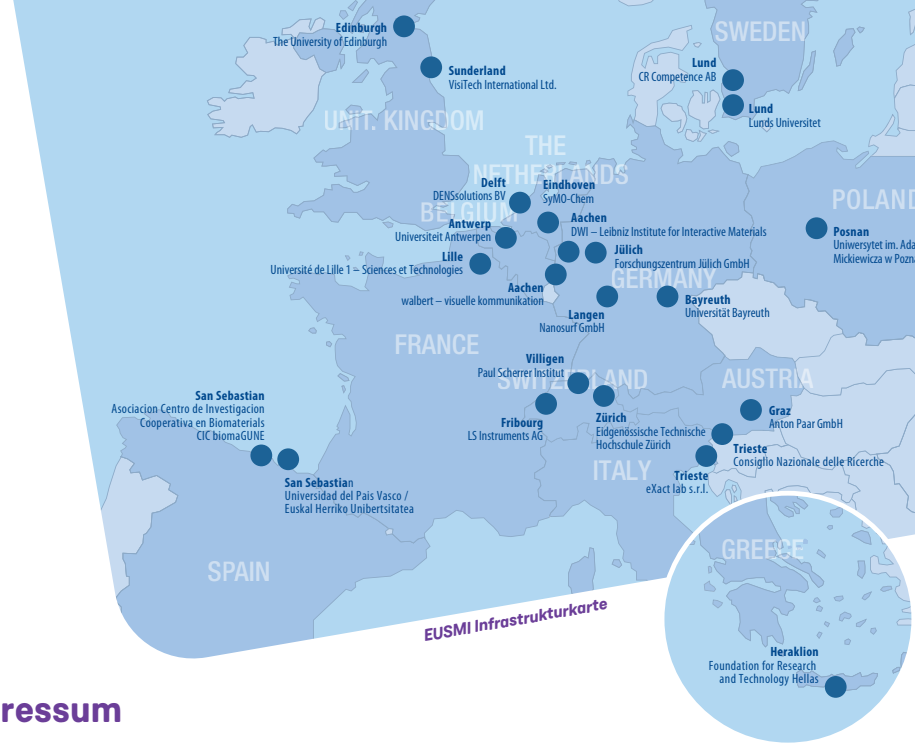
Weitere Informationen und Kontakt:

JuLab Organisationsbüro

Forschungszentrum Jülich
Wilhelm-Johnen-Straße
52428 Jülich

Tel.: 0 24 61 / 61 - 1428
schuelerlabor@fz-juelich.de
www.julab.de





Impressum

Herausgeber
Forschungszentrum Jülich GmbH, 52425 Jülich, EUSMI

Konzeption und Redaktion
Angela Ertz, Anne Fuchs-Döll und das Team des Schülerlabors JuLab, Prof. Dr. P. Lang, Biomakromolekulare Systeme und Prozesse (IBI-4), p.lang@fz-juelich.de

Bildnachweis
Mit Ausnahme der nachfolgenden Quellen liegt das © der Bilder und Grafiken in dieser Broschüre beim Forschungszentrum Jülich.

Adobe Stock: *(S. 1) Katya Havok / kitsana / sveta / tcerovs // (S. 4-5) Alexandr Makarov / cdkproductions / design56 / dusk / Joylmage / Kaplygula / M.studio / Pixel-Shot / White bear studio // (S. 4 + 60) 135pixels // (S. 6-7) elenabsl // (S. 11) iconshow // (S. 60) Tatiana Morozova*

Andere: *(S. 16) ACS Nano, G. Gonzales Rubio et al / SIC biomaGune, Vished Kumar / National Institutes of Health // (S. 39) DLR_School_Lab TU Dortmund / Fakultät Chemie und Chemische Biologie TU Dortmund // (S. 45) Gymnasium Zitadelle Jülich // (S. 54) TUM, Wenzel Schürmann // (S. 55) Anton Paar GmbH, Graz.*

Gestaltung
walbert creative marketing solutions, www.walbert.biz

Druck
schmitz druck & medien GmbH & Co. KG, www.schmitz-druck-medien.de

Haftungsausschluss
Für die Durchführung der beschriebenen Experimente gelten allgemeine Sicherheitsregeln für Laborarbeiten. Lebensmittel, die im Labor verwendet oder hergestellt werden, sind nicht für den Verzehr geeignet. Die Experimente in diesem Heft sind von den Mitarbeiterinnen und Mitarbeitern des Schülerlabors JuLab sorgfältig geprüft worden. Dennoch ist eine Haftung des Herausgebers für Personen-, Sach- und Vermögensschäden ausgeschlossen.

Stand
1. Auflage, März 2021

JÜLICH
Forschungszentrum

Soft Matter matters!

Was haben Shampoo, Marmelade und LCDs gemeinsam?
Sie alle bestehen aus ***Soft Matter***, also Weicher Materie. Forschung zu ***Weicher Materie*** ist faszinierend, interdisziplinär und außerdem relevant für unseren Alltag. Forscher*innen aus dem Forschungszentrum Jülich und weltweit arbeiten daran im Labor mit Spezialgeräten.

Doch ihr könnt auch mit einfachen Mitteln auf spannende Phänomene aus diesem Forschungsbereich stoßen. Diese Broschüre gibt euch viele Beispiele aus dem ***House of Soft Matter***, die ihr selber mit Experimenten untersuchen könnt. Viele könnt ihr einfach zu Hause durchführen, für manche braucht ihr ein Labor, zum Beispiel in der Schule. Dabei lassen sich die Experimente und die naturwissenschaftlichen Konzepte, die dahinterstecken, an viele Inhalte und Themen z. B. aus Physik, Chemie und Biologie anknüpfen.

Schaut rein und probiert es selbst aus! Wir wünschen euch viel Spaß dabei!

EUSMI

klimaneutral gedruckt
www.klima-druck.de
ID-Nr. 21100626
bvdm.

FSC
www.fsc.org
RECYCLED
Papier aus Recyclingmaterial
FSC® C022094

This project has received funding from the European Union's Horizon 2020 research and innovation programme under grant agreement No 731019 (EUSMI).