

Name:

Datum:

## Alginat-Spaghetti – Welches Salz kann man verwenden?

### Geräte

4 Bechergläser (100 mL), 1 Plastikspritze 6 mL, 2 Teelöffel, Permanentstift, Uhrglas

### Materialien

Alginat-Masse (2 g / 100 mL), Calciumchlorid-Lösung (10 g / 100 mL), Natriumchlorid-Lösung (10 g / 100 mL), Magnesiumchlorid-Lösung (10 g / 100 mL), Calciumnitrat (10 g / 100 mL)

### Sicherheitshinweise

Handschuhe tragen. Im Labor wird nicht gegessen und getrunken.

### Durchführung

1. Beschrifte die vier Bechergläser mit je einem der Salznamen:  $\text{CaCl}_2$  für Calciumchlorid,  $\text{NaCl}$  für Natriumchlorid,  $\text{MgCl}_2$  für Magnesiumchlorid und  $\text{Ca}(\text{NO}_3)_2$  für Calciumnitrat.
2. Fülle jeweils etwa 40 mL der jeweiligen Salzlösung in das richtige Becherglas.
3. Ziehe die Alginatmasse blasenfrei in die Spritze auf.
4. Spritze die Alginatmasse in die verschiedenen Lösungen.
5. Fische die Masse nach kurzer Zeit aus den Lösungen heraus und vergleiche sie.

### Notiere deine Beobachtungen in der Tabelle!

| Salzlösung mit                           | Beobachtungen |
|--|---------------|
| Calciumchlorid $\text{CaCl}_2$           |               |
| Natriumchlorid $\text{NaCl}$             |               |
| Magnesiumchlorid $\text{MgCl}_2$         |               |
| Calciumnitrat $\text{Ca}(\text{NO}_3)_2$ |               |

### Erklärung

---

---

|       |        |
|-------|--------|
| Name: | Datum: |
|-------|--------|

## Alginat-Spaghetti – Wie viel Salz brauchen wir?

### Geräte

5 Bechergläser (100 mL), 1 Plastikspritze 6 mL, 2 Teelöffel, Permanentstift, Uhrglas, Messer

### Materialien

Alginat-Masse (2 g / 100 mL), Calciumchlorid-Lösungen in folgenden Konzentrationen:  
0,5 g / 100 mL; 1 g / 100 mL; 5 g / 100 mL; 10 g / 100 mL; 15 g / 100 mL

### Sicherheitshinweise

Handschuhe tragen. Im Labor wird nicht gegessen und getrunken.

### Durchführung

1. Gib jeweils etwa 40 mL der verschiedenen Calciumchlorid-Lösungen in ein Becherglas und beschrifte dies mit der jeweiligen Konzentration der Lösung.
2. Ziehe die Alginatmasse blasenfrei in die Spritze auf.
3. Spritze die Alginatmasse in die verschiedenen Lösungen.
4. Hole die Stücke nach kurzer Zeit aus der Lösung heraus und vergleiche sie. Schneide dickere Stücke dazu auf.

### Notiere deine Beobachtungen in der Tabelle!

| Konzentration der Calciumchlorid-Lösung | Beobachtungen |
|---|---------------|
| 0,5 g / 100 mL                          |               |
| 1 g / 100 mL                            |               |
| 5 g / 100 mL                            |               |
| 10 g / 100 mL                           |               |
| 15 g / 100 mL                           |               |

### Erklärung

---

---

---

Name:

Datum:

## Alginat-Maccharoni

### Geräte

je 1 Becherglas 250 mL und 100 mL, 1 Plastikspritze 6 mL, ca. 15 cm Dialyseschlauch (in Wasser aufbewahrt), mittelgroßer Trichter, 3 Gefrierbeutelklammern, Teelöffel, Uhrglas, Messer

### Materialien

Alginatmasse (2 g / 100 mL), Calciumchlorid-Lösung (10 g / 100 mL)

### Sicherheitshinweise

Handschuhe tragen. Im Labor wird nicht gegessen und getrunken.

### Durchführung

1. Verschließe den Dialyseschlauch unten mit einer Gefrierbeutelklammer, sodass noch 1 - 2 cm nach unten überstehen.
2. Zieh die Alginatmasse in die Spritze und fülle damit durch den Trichter den Dialyseschlauch etwa zur Hälfte. Setze die zweite Klammer in die Mitte des Schlauchs.
3. Fülle jetzt die obere Hälfte des Schlauchs mit Alginatmasse und verschließ ihn mit der dritten Klammer.
4. Setze den Dialyseschlauch in das Becherglas und gib so viel Calciumchlorid-Lösung dazu, dass der Schlauch vollständig mit Lösung bedeckt ist.
5. Lass die Lösung vorsichtig 10 min stehen.
6. Nimm dann den Schlauch heraus, öffne eine der Endklammern und presse die Alginatmasse auf ein Uhrglas. Den Schlauch legst du dann gleich wieder in die Calciumchlorid-Lösung zurück.
7. Warte weitere 5 min.
8. Nimm den Dialyseschlauch aus der Lösung, öffne ihn und presse den Rest heraus.
9. Wasch beide Stücke vorsichtig ab, schneide sie durch und vergleiche sie.

### Beobachtung

---

---

### Erklärung

---

---

---

Name:

Datum:

## Herstellung restrukturierter Paprikastreifen

### Geräte

Messer, Teller, Bechergläser (1 x 100 mL, 2 x 600 mL), Pürierstab, Glasstab, Messzylinder 10 mL und 50 mL, Löffel, Sprühflasche, Glaspetrischale groß, Spatel

### Materialien

Rote Paprikaschoten, wässrige Lösung mit 20 g/L Natriumalginat und 10 g/L Guarkernmehl, Calciumchlorid-Lösung (10 g/100 mL), Leitungswasser, Oliven mit Paprikafüllung

### Sicherheitshinweise

Handschuhe tragen. Im Labor wird nicht gegessen und getrunken.

### Durchführung

1. Der folgende Schritt wird gemeinsam vorbereitet: Eine (bis 3) rote Paprikaschote wird gewaschen, gesäubert und in Würfel geschnitten. Zusammen mit 30 mL (bzw. 90 mL) Wasser werden die Paprikawürfel mit dem Pürierstab püriert und anschließend in ein Becherglas gegossen.
2. Fülle 40 mL der Alginat-Guarmasse in ein 100-mL-Becherglas.
3. Gib 10 mL vom Paprika-Saft dazu und vermische die beiden Komponenten sorgfältig mit einem Glasstab.
4. Verteile die Mischung mit einem Löffel in einer Glaspetrischale so, dass der gesamte Boden mit einer dünnen Schicht bedeckt ist.
5. Gieße etwas Calciumchlorid-Lösung in die Sprühflasche und besprühe die ausgestrichene Mischung gleichmäßig damit.
6. Nach 10 Minuten übergießt du die Masse vorsichtig mit Calciumchlorid-Lösung bis zum Rand der Petrischale und lässt sie darin aushärten (ca. 30 Minuten).
7. Das resultierende Paprika-Calciumalginat-Gel schneidest du in etwa 1 cm x 3 cm große Streifen.
8. Schneide vorsichtig eine gefüllte Olive auf und nimm die Füllung heraus.
9. Vergleiche die Füllung der Olive mit den selbst hergestellten Paprika-Gelstreifen.

### Beobachtung

---

---

### Erklärung

---

---

Name:

Datum:

## Alginatgelierung mittels Internal Setting

### Geräte

Analysenwaage, Spatel, 1 Plastikspritze 6 mL, kleine Glaspetrischale, Formteil, Uhrglas, Glasstab

### Materialien

Alginatmasse (2 g / 100 mL), Schnappdeckelglas mit 100 mg Calciumcarbonat ( $\text{CaCO}_3$ ), Schnappdeckelglas mit 400 mg Gluconsäure- $\delta$ -lacton ( $\text{C}_6\text{H}_{10}\text{O}_6$ )

### Sicherheitshinweise

Handschuhe tragen. Im Labor wird nicht gegessen und getrunken.

### Durchführung

1. Fülle mithilfe der Spritze 5 mL Alginatmasse in die Petrischale.
2. Gib 100 mg Calciumcarbonat sowie 400 mg Glucono- $\delta$ -lacton aus den Schnappdeckelgläsern in die Alginatmasse und vermische alles sorgfältig mit dem Glasstab.
3. Drück das Formmaterial, von dem du einen Abdruck machen willst, auf den Boden der Petrischale.
4. Lass den Ansatz für ca. 6-8 min stehen.
5. Löse die Alginatmasse aus der Petrischale und lege sie umgedreht auf das Uhrglas.
6. Was kannst du erkennen?

### Beobachtung

### Erklärung

## Lehrerinformation

Die SchülerInnen sollen auf Grundlage der vorgestellten Versuche die charakteristischen Eigenschaften der Alginat- als eine von Braunalgen als Stützmaterial synthetisiertes Biopolymer kennen lernen und aufgrund ihrer besonderen Struktur im Vergleich mit gängigen Polysaccharid-Vertretern wie Stärke oder Cellulose verstehen können. Das Alginat nimmt in den Algen die Rolle der Cellulose in den pflanzlichen Zellwänden ein. Zusätzlich schützt es die Algen durch sein starkes Hydratationsvermögen vor Austrocknung.

Aufgrund des Gelierungsverhaltens mit Calciumionen kann mit Hilfe der Information über die zwei Bausteinsorten ein Modell entwickelt werden, bei dem durch Vernetzung von Bereichen fadenförmiger Moleküle ein Netzwerk entsteht, das Wasser einlagern kann, ohne dass es herausläuft, ein Gel also. Die Elastizität der Gelkörper lässt darauf schließen, dass dieses Netzwerk durch die Quellung gespannt ist, sonst wäre es schlaff. Daraus ist auch ersichtlich, dass es sich um lange Molekülketten handeln muss, da kleine Moleküle keine Netzwerke aufbauen können. So kann ein Stück Würfelzucker zwar zunächst auch ein geringes Wasservolumen aufsaugen, zerfällt dann aber schnell, weil die kleinen Zuckermoleküle keinen Halt untereinander haben. Nur die Ketten können formstabile Körper oder Gele bilden.

Die Versuche sind einfach durchzuführen. Die Versuchsergebnisse (kugel-, faden- und röhrenförmige Gelkörper) können direkt in die Hand genommen und ihre Konsistenz geprüft werden und sprechen daher die Sinne der SchülerInnen besonders an.

Durch den Vergleich verschiedener Salze kann mit einem sehr einfachen Modell, das Ketten mit gestreckten und Zick-zack-Segmenten vorgibt, die Bedeutung der Ionengröße für den Zusammenhalt veranschaulicht werden. Sofern die SchülerInnen bereits das Periodensystem der Elemente kennen, kann dieses zur Bewertung der verschiedenen Salze genutzt werden.

Durch die weiterführenden Versuche werden Konzentrationseffekte auf Gelstärke und – bildungsgeschwindigkeit beobachtet. Die formgebende Hautbildung im Einspritzversuch ist nur mit Makromolekülen nachvollziehbar. Im Dialyseversuch übernimmt die Dialysemembran die Rolle dieser Haut. Durch die Wanderung von „Klein“ zu „Groß“, indem ein Dialyseschlauch mit Stärkelösung in ein Iodbad eingebracht wird, wird der Größenunterschied zwischen Iod (und analog dann Calcium) und Stärke (und analog dann Alginat) quasi sichtbar, der Siebeffekt der Membran nachgewiesen.

Durch den Einsatz der Dialysetechnik wird auch eine Verbindung zu den Themen Trennmechanismen und zur Medizin (Hämodialyse) geschaffen.

Die vielfältigen Einsatzmöglichkeiten im Alltag, bei der die Gelbildungsfähigkeit der Alginat- mit Calcium-Ionen ausgenutzt wird, lassen sich in dem Versuch zur Herstellung restrukturierter Paprikastreifen demonstrieren. Mit einer kleinen Variation der Versuchsdurchführung lassen sich auch mit dem Alginatpaghetti-Rezept Lebensmittel nachmachen. So kann man durch Verwendung gefärbter Flüssigkeiten, z.B. Fruchtsäften, Fruchtkaviar herstellen oder Cocktailkirschen nachahmen (Abb. 1).

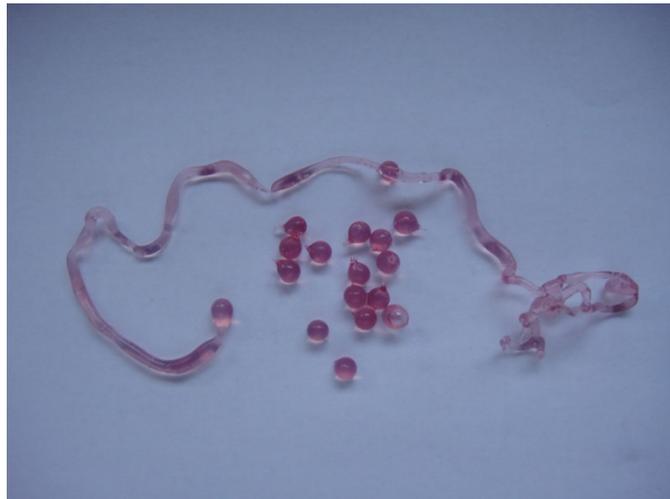


Abb. 1: Mit Johannisbeersaft gefärbte Alginatperlen und -schnüre

## Zu den Versuchen

### Alginat-Spaghetti – Welches Salz können wir verwenden?

Alginate weisen aufgrund ihres Polyanion-Charakters eine relativ hohe Hydrophilie auf. Die Hydratationseigenschaften werden allerdings entscheidend durch die im Salz vorliegenden Gegenionen mitbestimmt: Während Ammonium-, Alkalimetall- und Magnesiumalginat in Wasser Lösungen von hoher Viskosität bilden, sind die Salze der übrigen Erdalkalimetalle sowie die Verbindungen von Alginat mit einigen anderen zwei- und mehrwertigen Metall-Kationen wasserunlöslich. Alginat gehören zu den so genannten hydrophilen Kolloiden, die dadurch gekennzeichnet sind, dass sich die kolloidal gelösten Teilchen in erster Linie durch Umhüllung mit Wasser-Molekülen stabilisieren.

Durch Einspritzen von Natriumalginatlösung in unterschiedliche Salzlösungen treten in Abhängigkeit von der Art des Salzes makroskopisch erfassbare Effekte auf. So zeigt sich in den Calcium-haltigen Lösungen eine deutliche Verfestigung, die Masse geliert und wird formstabil. Die zuvor vorliegenden isolierten Alginatmoleküle werden durch das Calcium zu einem dreidimensionalen hochviskosen Gel vernetzt.

### Erklärung zum Versuch "Alginat-Spaghetti – Welches Salz können wir verwenden?"

Einzelne Alginat-Partikel sind zwar sehr gut wasserlöslich, aber sobald eine größere Menge des Polysaccharid-Derivats mit dem Solvens in Kontakt kommt, entstehen Klumpen. Deren Oberfläche ist mit einer Schicht aus hochviskosem Alginatsol überzogen, die das Vordringen weiterer Lösungsmittel-Moleküle in das noch nicht mit Wasser befeuchtete Innere des Klumpens erschwert. Das Herstellen des für die vorgestellten Versuche erforderlichen Alginatsols braucht daher einige Zeit.

Verschiedene Salze werden hinsichtlich ihrer Wirkung auf Alginatlösung verglichen. Während Natrium-, Kalium- und Magnesiumsalze keine sichtbare Veränderung hervorrufen, ist bei den Calciumsalzen ( $\text{CaCl}_2$  und  $\text{Ca}(\text{NO}_3)_2$ ) eine spontane Verfestigung der mit einer Spritze eingebrachten Alginatlösung in „Spaghettiform“ zu beobachten.

Auch wenn der Ionenbegriff noch nicht eingeführt ist, können die SchülerInnen bei einer tabellarischen Auswertung den Zusammenhang gut erkennen. Sie stellen fest, dass nur

in den Lösungen, in denen Calcium enthalten ist, eine Veränderung festzustellen ist. Das Gegenion – Chlorid oder Nitrat – hat hingegen keinen Einfluss. Steht ein PSE zur Verfügung, kann der Unterschied zwischen den Metallen und Nichtmetallen, also zwischen Kation und Anion, gut anhand der Positionierung im PSE deutlich gemacht werden. Das Prinzip des Anziehens entgegengesetzter Pole und der Abstoßung gleicher Pole ist Grundschülern bereits von Magneten bekannt und kann bei der Erklärung des Salzbegriffs helfen. Auch die unterschiedliche Wirkung der Kationen kann anhand der Zuordnung in verschiedene Hauptgruppen bzw. der unterschiedlichen Größen deutlich gemacht werden. Natrium und Kalium können aufgrund ihrer Einwertigkeit keine Vernetzung bewirken. Magnesium ist zu klein, um die beiden sperrigen Ketten dicht genug zusammen zu bringen. Das Calciumion dagegen ist groß genug, um an zwei Seiten an die beiden Kettenteile heranzureichen und sie zu verbrücken. Strontium hat einen etwas größeren Ionendurchmesser als Calcium und passt noch besser. Dies lässt sich daran erkennen, dass das Calcium in einem Calcium-Alginatgel gegen Strontium ausgetauscht wird, wenn man es in eine Strontiumsalzlösung bringt. Die Tatsache, dass Alginat über eine höhere Affinität zu  $\text{Sr}^{2+}$  als zu  $\text{Ca}^{2+}$  verfügt, lässt sich mit der unterschiedlichen Größe der beiden Erdalkalimetall-Kationen erklären ( $d_{\text{Sr}^{2+}} = 236 \text{ pm}$ ,  $d_{\text{Ca}^{2+}} = 200 \text{ pm}$ ): Wegen ihres größeren Durchmessers im nicht hydratisierten Zustand können Strontium-Ionen offensichtlich besser mit den Sauerstoff-Atomen in den Hohlräumen guluronatreicher Alginat-Sequenzen interagieren und werden daher bevorzugt eingelagert. Dahingegen wird die Chelatisierung der kleineren Calcium-Ionen vermutlich dadurch erschwert, dass hier aufgrund der größeren räumlichen Distanz die Wechselwirkungen zwischen dem Metall-Kation und den als Liganden fungierenden Sauerstoff-Atomen nicht so stark sind.

Ein Eierkarton demonstriert dann die molekulare Struktur im Raum. Ebenso eignen sich Bausteine, z.B. von ZOOB, um räumliche Strukturen modellartig aufzuzeigen. Die Zickzack-Konformation der Polyguluron- und die gestreckte Struktur der Polymannuronketten können damit gut demonstriert werden (Abb. 2).



Abb. 2: Modell der Alginatketten aus Polyguluron- (rot) und Polymannuronsäureabschnitten (grau) und ihrer Vernetzung mit Calciumionen (gelb)

## Alginat-Spaghetti - Wie viel Salz brauchen wir?

Wenn den SchülerInnen die Frage „Wie viel Calcium ist notwendig, damit das Alginat fest wird?“ präsentiert wird, sollten sie unabhängig von der Altersstufe in der Lage sein, das Experiment prinzipiell selbst zu planen. Wie präzise diese Planung sein kann, hängt dann vom Alter und von der experimentellen Erfahrung der Kinder ab.

Im Anschluss an die Durchführung der Versuche 1 und 2 sollen die Kinder dann überlegen, was wohl in dem Alginat passiert, wenn es in Calcium-haltige Lösung gespritzt wird. Sie wissen jetzt, dass Calcium das Alginat verfestigt. Wenn man einen Strang oder besser eine größere Kugel durchschneidet, kann man gut erkennen, dass das Alginat zunächst außen fester ist als in der Mitte. Die Calcium-Ionen kommen zuerst mit der äußeren Wand in Kontakt, es bildet sich eine Haut. Aber mit der Zeit verfestigt sich auch das Innere. Offensichtlich ist die Haut nicht dicht.

Damit ist klar, dass das Calcium durch diese erste Haut, die schnell eine stabile Form schafft, hindurch wandern kann. Und die nächste Folgerung aus den Beobachtungen dieses Versuchs könnte sein, dass sie dies offensichtlich umso schneller können, je mehr Calciumteilchen vorhanden sind.

Man muss sich fragen, warum sie sich überhaupt in das Alginat hinein bewegen. Man muss erkennen, dass sie sich die Orte suchen, wo noch nicht so viele sind. Sie wollen nicht an einer Stelle bleiben, sondern sich verteilen. Damit ist das Prinzip der Diffusion erfasst. Das ist wie bei Kindern auf dem Spielplatz. Wieso sollen sich alle an der Rutsche anstellen, wenn Schaukeln, Wippe und Sandkasten frei sind. Freilich kann man schlecht behaupten, dass da mehr Platz sei, denn da ist ja das Alginat. Allerdings hält das Alginat diese schönen Boxen für sie bereit, in die sie so wunderbar hinein passen und gar nicht wieder heraus wollen.

Den Kindern muss aber auch klar werden, dass die Teilchen alle noch gut beweglich sind, sie nicht starr an einen Platz gebunden sind. Die Strukturen sind flexibel und schwingungsfähig. Auch sind die Wassermoleküle nicht völlig unbeweglich. Und der größte Anteil an diesem Gel ist Wasser. Wie wenig Feststoff von so einem Gel übrig bleibt, sieht man, wenn man es trocknet. Das Gelnetz schließt das Wasser regelrecht ein. Als Modell kann man sich ein Kletterseil-Gerüst auf einem Spielplatz vorstellen. Die Seile sind die Molekülketten der Gelbildner, die Kinder sind die Wassermoleküle. Sie huschen von einer Stelle zur anderen, aneinander vorbei, ohne das Klettergerüst zu verlassen.

Zusätzlich zum Vorgang des Gelierens können die Kinder die Erkenntnis erlangen, dass Ionen von hoher Konzentration zu geringer wandern und zwar umso schneller, größer das Konzentrationsgefälle ist. Das hat nicht mehr so viel mit Polymeren zu tun, aber ist wichtig, wenn der Versuch verstanden werden soll. Das Prinzip der Wanderung von kleinen Molekülen in einer hochviskosen Masse kann man wie im Versuch 3.3 beschrieben mit Stärke und Iod sehr schön visualisieren.

## Erklärung zum Versuch "Alginat-Spaghetti - Wie viel Salz brauchen wir?"

In diesem Versuch sollen die SchülerInnen durch vergleichendes Arbeiten mit Calciumchloridlösung im Konzentrationsbereich 0,5 bis 15 % erkennen, dass die Calciumkonzentration einen Einfluss auf die Geschwindigkeit der Gelierung bzw. bei gleicher und kurzer Zeitspanne, auf die Festigkeit der gebildeten Gele hat. Aufmerksame Beobachter werden feststellen, dass sich nicht nur die Calciumkonzentration der Lösung, sondern auch die Aufenthaltszeit der Alginatmasse in der Lösung auf die Festigkeit

auswirkt. Aus diesem Grund sollte darauf geachtet werden, dass die SchülerInnen ähnlich schnell arbeiten.

Um das Interesse der Kinder zu steigern und sie zu genauem Arbeiten zu motivieren, kann man im Anschluss an die Versuchsdurchführung den Wettkampf um die längsten Spaghetti durchführen. Hierzu müssen die Schüler genau überlegen, welche Spritztechnik anzuwenden und welche der Calciumlösungen für diesen Zweck am besten geeignet sind. Werden dickere Strukturen in die Calcium-Lösungen gegeben, kann man beobachten, dass die Wandung bereits verfestigt ist, während sich im Inneren noch weiche Alginatmasse bewegen lässt. Diese Beobachtung leitet direkt zum dritten Versuch dieser Reihe über, in dem der Effekt der konzentrationsabhängigen Calciumionwanderung noch deutlicher erkennbar wird.

### 3 Alginat-Maccharoni

Nachdem die SchülerInnen das Phänomen der Gelbildung von Alginaten mit Calciumionen und den Einfluss der Calciumkonzentration auf die Geschwindigkeit der diffusionskontrollierten Gelierung zu Spagetti-förmigen Gelfäden kennengelernt haben, kann man die Frage stellen, wie man denn dickere zylindrische Körper herstellen könnte. Es wird vermutlich schnell offensichtlich, dass dies nicht mit einer größeren Spritze geht, da die primäre Hautbildung nicht ausreicht, um die Form dickerer Zylinder schnell genug zu stabilisieren. Man braucht also so etwas wie eine „Verschalung“, wie auf dem Bau, wenn man einen Betonpfeiler gießen will. Eine Möglichkeit besteht darin, mit einem Dialyseschlauch zu arbeiten, durch dessen Poren die Calciumionen einwandern können. Ansonsten gleicht der Prozess dem Spritzenexperiment.

In diesem Versuch lernen die SchülerInnen die Funktionsweise von semipermeablen Membranen kennen, indem sie mit einer Dialysemembran arbeiten. Der Begriff Dialyse ist sicher dem einen oder der anderen bekannt, insbesondere wenn ein Familienmitglied zur Blutdialyse muss, der sich dahinter verbergende Prozess dagegen vermutlich nicht, zumindest nicht genau. Dialyse funktioniert mithilfe einer Trennmembran einer definierten Porengröße, durch die kleine Bestandteile hindurchtreten können, größere aber zurückgehalten werden. Gängige Anwendungen für Dialyse sind z.B. das Aufkonzentrieren d.h. Entwässern oder das Entsalzen von Lösungen, im medizinischen Bereich ist es die Blutwäsche. Moleküle aus der Probe im Dialyseschlauch sollen in die Umgebungslösung übertreten.

Um den Vorgang sichtbar zu machen, hat es sich bewährt, eine Dialyse mit gefärbten Lösungen zu demonstrieren. Einfach und demselben Prinzip des hier durchgeführten Versuchs folgend ist die Dialyse von Stärkelösung in verdünnter Iodlösung. Die verdünnte wässrige Iodlösung ist gelbgefärbt, die innerhalb des Dialyseschlauchs befindliche Stärkelösung ist zunächst farblos. Die Stärkemoleküle sind zu groß, um die Dialysemembran passieren zu können, aber die Iodmoleküle können in die Stärkelösung eindringen. Die Größe der Makromoleküle im Vergleich zu den kleinen Calciumionen wird indirekt sichtbar. Die Stärkelösung färbt sich langsam blau. Zusätzlich erhalten die SchülerInnen auch eine Vorstellung von der Prozessgeschwindigkeit (Abb. 3). Den Vorgang kennen die Kinder letztendlich bereits vom Spaghettikochen. Die gekochten Spaghetti passen beim Abgießen nicht durch die engen Maschen des Siebers, nur das Wasser kann heraus. Würde man die Spaghetti im Sieber in einen Topf mit Tomatensoße stellen, dann käme die Soße sehr wohl zu den Spaghetti, niemals aber andersherum.

Die Iod-Stärke-Reaktion ist meist schon bekannt, kann aber ggf. kurz demonstriert oder in die Versuchsreihe integriert werden.

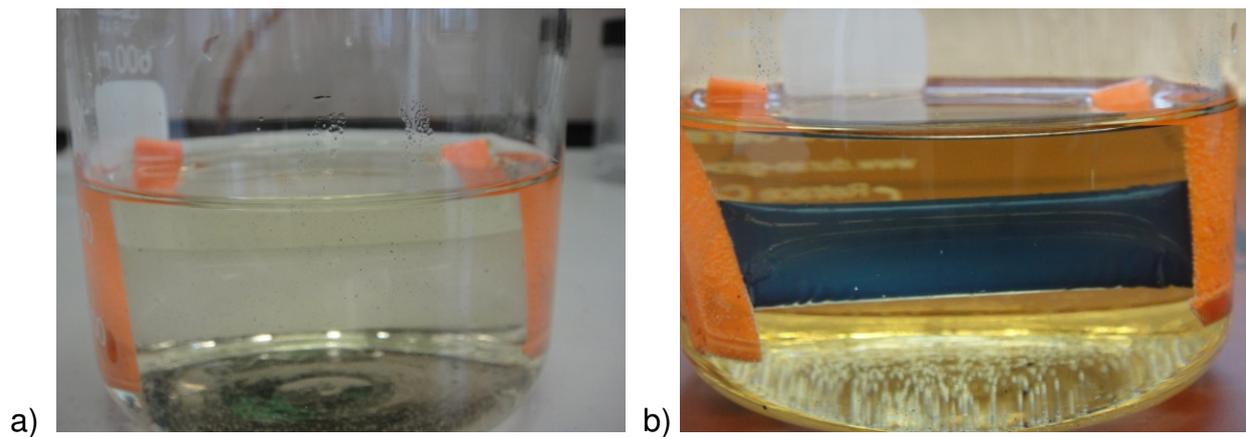


Abb. 3: Dialyse von Stärkekleister in einer Iodlösung a) zu Beginn und b) nach 30 min

### Erklärung zum Versuch "Alginat-Maccharoni"

In diesem Versuch wird die gängige Anwendung der Dialyse umgedreht. Hier soll nicht etwas Kleines heraus aus der Lösung, sondern hinein. Die Alginatmasse wird in den Dialyseschlauch gefüllt und in eine Calciumlösung getaucht. Alginat als Polymer kann die kleinen Poren der Membran nicht passieren, die Calcium-Ionen dagegen schon. Sie dringen durch die Membran in die Alginatmasse ein und verfestigen diese von außen nach innen. Ist das Alginat noch nicht über den gesamten Querschnitt geliert, kann man die noch nicht vernetzte zähflüssige Alginatmasse im Inneren auswaschen. Es entstehen so röhrenförmige Gele, die an Maccharoni erinnern (Abb. 4). Je nach Dauer der Einwirkung lassen sich so unterschiedliche Wandstärken generieren. Beim Vergleich der beiden im Versuchsverlauf entstandenen Zylinder können die Schüler gut erkennen, dass durch die längere Einwirkzeit das Calcium beim zweiten Stück tiefer in das Gel im Dialyseschlauch eindringen konnte und so eine dickere Wandung entstanden ist.

[Ältere SchülerInnen können den Versuch auch quantitativ auswerten, indem sie die Wandstärke des Gelzylinders gegen die Dialysezeit auftragen. Dabei ist zu bedenken, dass das Calciumbad ein so großes Reservoir (Volumen) darstellen muss, dass sich seine Konzentration während der Dialyse nur vernachlässigbar ändert. Zudem ist der radiale Querschnitt zu beachten. Einfacher wäre für einen solchen Versuch ein Zweikammersystem, durch die semipermeable Membran getrennt und die zeitabhängige Verfolgung der Gelstärke. Es ließe sich so ableiten, dass die Diffusionsgeschwindigkeit linear von der Konzentration abhängt.]



Abb. 4: Röhrenstücke aus Alginatgel nach Dialyse von Alginatmasse in einer  $\text{CaCl}_2$ -Lösung

## Herstellung restrukturierter Paprikastreifen

Sicherlich kennen viele SchülerInnen gefüllte Oliven. Es gibt verschiedene Produkte am Markt. Zum Einstieg können sich die SchülerInnen überlegen, wie man ein Stück Paprika am Besten in die Olive bekommt. Dass jemand dasteht und ein Stückchen Paprika von Hand hineinschiebt, das wäre sehr teuer. Vielleicht kommen die SchülerInnen auf die Idee, auf das Gelernte über Alginat zurückzugreifen. Zur Unterstützung kann man bei einem Beispielprodukt das Zutatenverzeichnis prüfen.

In diesem Versuch wird der industrielle Prozess zur Herstellung restrukturierter Paprika nachgebildet. Mit Paprika gefüllte grüne Oliven werden prinzipiell nach diesem Verfahren hergestellt. Die mithilfe dieses Verfahrens hergestellten Paprikastreifen sind relativ spröde. Um sie für eine weitere Verwendung geschmeidiger zu machen, muss die Masse in ein Reifebad, das Calciumchlorid und Natriumchlorid enthält. Bedingt durch einen  $\text{Na}^+$ -Überschuss werden  $\text{Ca}^{2+}$ -Ionen zum Teil gegen  $\text{Na}^+$ -Ionen ausgetauscht. Die Gelstruktur geht dann partiell wieder in eine Solstruktur über, was eine Erhöhung der Elastizität bewirkt.

Während Sole dadurch gekennzeichnet sind, dass kein Zusammenhalt zwischen den im Dispersionsmittel (z.B. Wasser) fein verteilten Teilchen besteht, liegt in Gelen die dispergierte Substanz in einem räumlichen Netzwerk vor, weil die Ketten stellenweise miteinander verknüpft sind, wie es die Calciummoleküle beim Alginat bewirken. In die Maschen des dreidimensionalen Gelgerüsts werden die Wassermoleküle eingelagert. Dieser Teil des industriellen Herstellungsprozesses lässt sich nachahmen, indem die geschnittenen Paprikastreifen in einem Becherglas mit 250 mL einer wässrigen

Lösung eines Gemischs aus Calciumchlorid (20 g/L), Natriumchlorid (80 g/L) und Milchsäure (8 g/L) übergossen werden. Das Gefäß wird luftdicht mit Parafilm verschlossen und einen Tag stehen gelassen.

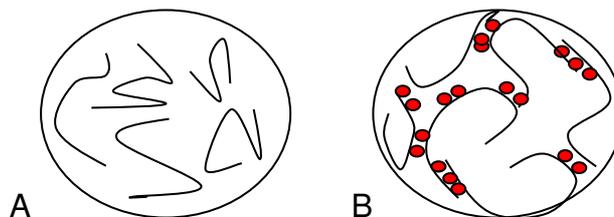


Abb. 5: Schematische Darstellung eines Alginatsols A und eines Alginatgels B (  $\bullet$  =  $\text{Ca}^{2+}$  )

Dieses Verfahren wird auch in der Lebensmittelindustrie angewendet, um Paprikafüllungen für Oliven herzustellen. Durch Verwendung der Paste anstelle von Paprikastücken können die Oliven maschinell gefüllt werden, bevor das Alginat ausgehärtet ist.

Zur Einführung können industriell hergestellte Produkte vorgeführt oder untersucht werden. Ein abschließender Vergleich mit den eigenen Erzeugnissen stellt eine hohe Motivation bei der Durchführung dieses Versuchs dar.

## Erklärung zum Versuch " Herstellung restrukturierter Paprikastreifen"

In diesem Versuch wird gezeigt, wie eine Paprikamasse restrukturiert werden kann, um sie anstelle echter Paprikastücke zu verwenden.

Vor Durchführung des eigentlichen Versuchs muss zunächst ein Paprikakonzentrat hergestellt werden. Dieses kann auch schon fertig bereitgestellt werden, das Konzentrat lässt sich einige Zeit im Kühlschrank aufbewahren.

Die Alginatlösung wird mit Guar versetzt, einem Polysaccharid (Galactomannan), das sich nicht durch Calcium-Ionen verfestigen lässt. Dadurch wird die Konsistenz grundsätzlich verbessert, weil das Guarkernmehl Wasser bindet und die Schrumpfung des Gels verringert. Dass zunächst nur die Oberfläche mit Calciumlösung besprüht wird, hat zur Folge, dass sich nur die äußere Schicht des Alginats verfestigt und eine "Haut" bildet. Erst im sich anschließenden Calcium-Bad wird die gesamte Masse verfestigt. Dabei diffundieren die Calcium-Ionen in die Schicht hinein. Um ein der natürlichen Paprika möglichst ähnliches Produkt zu erhalten, sollte also die Schichtdicke gerade so groß gewählt werden, dass sich noch kein merkbarer Unterschied in der Festigkeit der Schicht ausbildet - natürlich abgesehen von der festen Außenhaut (Abb.6).



Abb. 6: Restrukturierte Paprikastreifen

### Alginatgelierung mittels Internal Setting

Bei den bisherigen Versuchen wurde die Gelierung immer durch in die Alginatmasse diffundierende Calciumionen bewirkt. Um eine gleichmäßige Verfestigung zu erreichen, kommt hier eine andere Methode zum Einsatz. Dabei ist das Calcium von Beginn an in der Alginatmasse enthalten und auch gleichmäßig verteilt, es liegt jedoch zunächst in einer Form vor, in der es nicht mit dem Alginat reagiert. Es handelt sich dabei um unlösliches Calciumcarbonat. Unter Säureeinwirkung wird Calcium frei. Wählt man ein Reagenz wie Gluconsäure- $\delta$ -lacton, das erst im Reaktionsgemisch seine Säurewirkung entwickelt, kann die Gelierung kontrolliert ablaufen. Mit fortschreitender Säurebildung werden Calciumionen freigesetzt. Aufgrund der gleichmäßigen Verfestigung des Alginatsols können damit Negativabdrücke von festen Körpern hergestellt werden. Räumliche Strukturen werden zunächst von der zwar viskosen, aber dennoch flüssigen Masse umhüllt und anschließend exakt im verfestigten Gel abgebildet, wie das Kunststoffteil im Versuch zeigt. Ein Einsatzbereich ist z.B. die Kieferorthopädie.