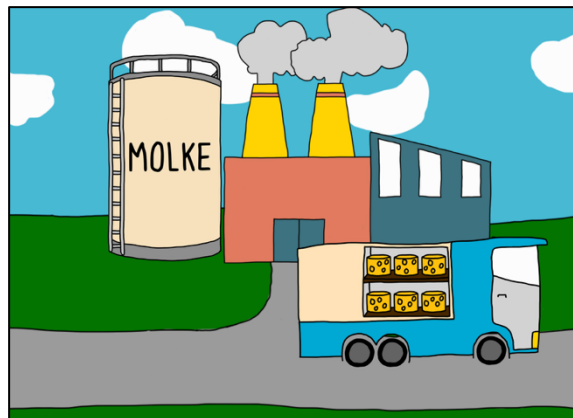


WWW.KNIFELIX.de

BEGLEITMATERIAL ZUR EXPERIMENTIERWEBSITE WWW.KNIFFELIX.DE ZUM THEMA

Molke: Was von der Milch übrigbleibt



FÖRDERER



Bundesministerium
für Landwirtschaft, Ernährung
und Heimat

Förderkennzeichen
281A813B21

KOOPERATIONSPARTNER



www.technical-biocatalysis.com



www.infiniteroots.com

ZIELGRUPPE

Alter ab 10-99+

Einzelinteressierte
Schulklassen
StudentInnen
Kooperierende

TUHH
Technische
Universität
Hamburg



molke.kniffelix.de

www.kniffelix.de ist eine kostenlose Mitmach-Experimentierwebsite, erstellt von der Nachwuchsinitiative KinderForscher an der TUHH. Ziel der Initiative ist, Wissenschaft, Technik und Forschung allgemeinverständlich für jeden zugänglich zu machen: Vom Alltag, über das Experimentieren zur Forschung und Berufsorientierung.

Kniffelix.de ist ausgezeichnet mit dem Seitenstark Gütesiegel für empfehlenswerte digitale Kindermedien.

Dieses Material von KinderForscher an der TUHH steht unter der internationalen CC-Lizenz Namensnennung – nicht kommerziell – Weitergabe unter gleichen Bedingungen 4.0, siehe: <https://creativecommons.org/licenses/by-sa/4.0/>

Autoren:

Dr. Frida Meyer-Mandik, Gesine Liese, Julia Husung
Hamburg 2026

KinderForscher an der TUHH

Am Irrgarten 3-9, Gebäude Q, 21073 Hamburg
Tel. (040) 30601-4082
gesine.liese@kinderforscher.de
frida.mandik@kinderforscher.de
www.kinderforscher.de

Eine Arbeitsgruppe von

Prof. Dr. Andreas Liese

Institut für Technische Biokatalyse

Denickestr. 15, Gebäude K, 21073 Hamburg
Tel. (040) 30601-3218
liese@tuhh.de
www.technical-biocatalysis.com

Dieses Wissensmaterial wurde im Rahmen eines durch das Bundesministerium für Landwirtschaft, Ernährung und Heimat (BMLEH) geförderten Projekts erstellt (Förderkennzeichen: 281A813B21).

Das Gesamtprojekt ist in drei Teile gegliedert. Bei dem vorliegenden Dokument handelt es sich um **Teil 2 von 3**.

Teil 1 von 3: Pilze und ihr Myzel
Teil 3 von 3: Myzel und Molke zur Erzeugung nachhaltiger Lebensmittel

Die inhaltliche Umsetzung erfolgt unter der Leitung von Dr. Paul Bubenheim.

Inhaltsverzeichnis der Begleitunterlagen

	Seite
Wissensbox I: Kuhmilch.....	4
o Woraus besteht Kuhmilch?	
o Wie entstehen unterschiedliche Fettgehalte in Trinkmilch?	
o Wie wird das Absetzen des Fetts an der Milchoberfläche verhindert?	
o Wie wird Milch haltbar gemacht?	
Wissensbox II: Kuhmilchprodukte.....	6
o Wie werden Kuhmilchprodukte hergestellt?	
o Welche Rolle spielt das Protein Casein bei der Herstellung von Milchprodukten?	
o Wie entsteht aus dem Käsebruch Käse?	
o Welche Bestandteile der Milch sind im Käse und welche in der Molke?	
Wissensbox III: Wie Molke und Milchreste weiterverarbeitet werden.....	10
o Welche klassischen Nebenprodukte entstehen in einer Molkerei und woraus bestehen sie?	
o Wie können Nebenprodukte wiedergenutzt werden?	
o Was bleibt von der Molke übrig?	
Wissensbox IV: Nachhaltigkeit in der Milchwirtschaft.....	13
o Welche Auswirkungen haben die Milcherzeugung und Molkereien auf die Umwelt?	
o Wie werden Milchreststoffe heutzutage weiterverarbeitet?	
o Wie kann eine Molkerei die Produktionsschritte nachhaltiger gestalten?	
Experiment: Käsebruch.....	14
Experiment: Butterherstellung.....	18

Wissensbox I: Kuhmilch

Obwohl Kuhmilch ursprünglich für die Ernährung von Kälbern bestimmt ist, wird sie in vielen Kulturen vom Menschen ein Leben lang konsumiert und in zahlreichen Lebensmitteln verarbeitet.

Woraus besteht Kuhmilch?

Milch besteht zwar zu etwa **80 %** aus **Wasser**, doch die restlichen 20 % enthalten zahlreiche wichtige Nährstoffe für den menschlichen Körper. Wer wissen möchte, welche Nährstoffe ein

Tabelle 1: Nährwerttabelle einer Milch

Durchschnittliche Nährwerte je 100 ml	
Energie	288 kJ (68 kcal)
Fett	4,0 g
Kohlenhydrate	4,8 g
Eiweiß	3,3 g
Salz	0,11 g

Lebensmittel enthält, kann einen Blick auf die **Nährwerttabelle** auf der Verpackung werfen. In der EU muss sie bei den meisten verarbeiteten Lebensmitteln angegeben werden. Sie zeigt, wie viel Energie ein Lebensmittel liefert und welche wichtigen Nährstoffe es enthält. Zu diesen Nährwerten gehören **Energie (Kalorien), Fett, Kohlenhydrate, Eiweiß (Proteine) und Salz**. Die Angaben werden dabei meist pro 100 Milliliter

oder 100 Gramm gemacht. Ein Blick auf die Nährwerttabelle von Vollmilch zeigt: In 100 ml Vollmilch sind ungefähr 68 kcal, 4 g Fett, 4,8 g Kohlenhydrate, 3,3 g Protein und 0,11 g Salz enthalten (Tabelle 1). Neben diesen Inhaltsstoffen enthält Milch außerdem viele **Mineralstoffe** und **Vitamine**. Da unser Körper einige dieser Stoffe nicht selbst herstellen kann, müssen wir sie über die Nahrung aufnehmen. Die genannten Begriffe beschreiben zunächst nur Nährstoffgruppen – doch welche Stoffe verbergen sich bei Milch dahinter? Die Kohlenhydrate in der Milch bestehen fast ausschließlich aus dem Zucker **Laktose**, auch Milchzucker genannt. Laktose setzt sich aus zwei Zuckern zusammen, der Glukose und der Galaktose, die miteinander verbunden sind. Auch die Proteine spielen in der Milch eine wichtige Rolle. Der größte Teil der Proteine in der Milch ist **Casein**.

Dieses Protein ist besonders wichtig für die Käseherstellung. Etwa 80 % der Milchproteine sind Casein, die restlichen 20 % sind **Molkenproteine**. Ein weiterer wichtiger Bestandteil ist das Fett. Das Fett in der Milch liegt in sehr kleinen Fettkügelchen vor. Insgesamt besteht Milchfett aus über 400 verschiedenen **Fettsäuren**. Trinkmilch gibt es mit unterschiedlichem Fettgehalt – von Magermilch mit etwa 0,5 % Fett bis zu Vollmilch mit mehr als 3,5 % Fett. Doch wie kommt es eigentlich zu diesen unterschiedlichen Fettgehalten?

Wie entstehen unterschiedliche Fettgehalte in Trinkmilch?

Milch, die direkt aus der Kuh kommt (Rohmilch), hat einen natürlich schwankenden Fettgehalt. Im Supermarkt muss die Milch jedoch immer einen bestimmten Fettgehalt haben. Was tut man also? Man trennt die Milch in einen **fettärmeren** und einen **fettreicheren** Teil (Bild 1). Normalerweise würde sich das Fett von selbst an der Oberfläche absetzen, wenn man die Milch lange stehen lässt. Um diesen Prozess zu beschleunigen, nutzt man

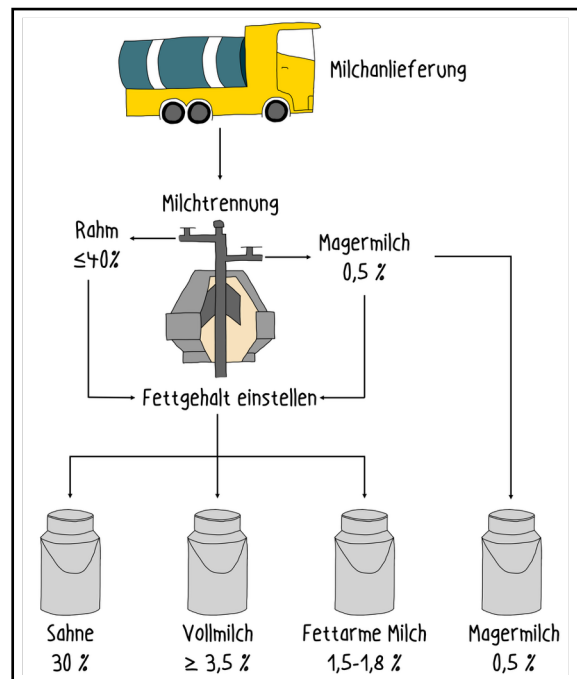


Bild 1: Wie der Fettgehalt in Milch eingestellt wird.

jedoch eine schnell drehende Maschine (Zentrifuge), die die Milch effektiv in **Magermilch**, die fast kein Fett enthält, und **Rahm**, der besonders fettreich ist, trennt. Danach werden Magermilch und Rahm wieder in einem bestimmten Verhältnis gemischt, um Milch mit verschiedenen Fettgehalten herzustellen, zum Beispiel Vollmilch, fettarme Milch oder Sahne. Ohne weitere Behandlung würde sich das Fett nach einer Zeit wieder auf der Oberfläche absetzen. Aber warum passiert das bei Milch aus dem Supermarkt nicht?

Wie wird das Absetzen des Fetts an der Milchoberfläche verhindert?

Milch besteht unter anderem aus **Fett und Wasser**. Diese beiden Stoffe mischen sich normalerweise nicht gut. Damit sich das Fett nicht oben absetzt, wird die Milch **homogenisiert**. Die Fettkügelchen werden durch eine kleine Öffnung gepresst und dadurch stark verkleinert (Bild 2). So verteilen sie sich gleichmäßig in der Milch. Es

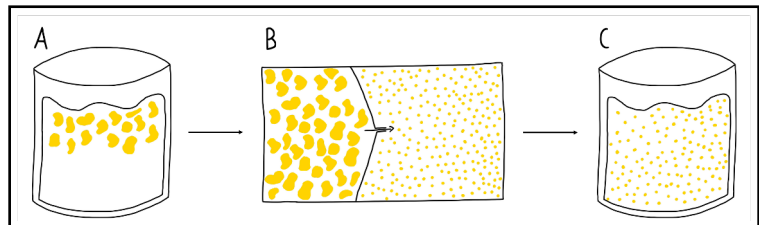


Bild 2: Homogenisierungsprozess der Milch. A: Fett setzt sich an der Oberfläche von nicht homogenisierter Milch ab. B: Die Fettteile in der Milch werden zerkleinert. C: Die zerkleinerten Fettkügelchen verteilen sich gleichmäßig in der Milch.

entsteht eine stabile Mischung, die man **Emulsion** nennt. Durch die Homogenisierung bleibt das Fett gleichmäßig verteilt, wodurch die Milch cremiger wird. Homogenisierte Milch wird zum Beispiel für Joghurt, Kochsahne oder Kondensmilch verwendet. Milch, die für Käse oder Butter verwendet wird, wird nicht homogenisiert, weil das Zusammenlagern der Fettkügelchen für diese Produkte notwendig ist. Neben der Homogenisierung ist es in Molkereien wichtig, die Milch haltbar zu machen.

Wie wird Milch haltbar gemacht?

Rohmilch ist nur etwa vier Tage haltbar. Damit sie länger haltbar ist, müssen die enthaltenen Keime reduziert oder abgetötet werden. Eine der ältesten Methoden dafür ist die Pasteurisierung. Dabei wird die Milch kurz

erhitzt. So werden viele Keime unschädlich gemacht, während die meisten Nährstoffe erhalten bleiben. Einige hitzebeständige Keime können jedoch über-

Tabelle 2: Methoden um Milch haltbar zu machen.

Produktname	Methode	Art der Behandlung	Haltbarkeit
Rohmilch	-	-	4 Tage
Frischmilch	Pasteurisieren	72-75°C für 15-30 Sek.	10 Tage
ESL-Milch	Magermilch: Mikrofiltration	Filtern durch kleinste Poren	3 Wochen
	Rahm: Erhitzen	104-108°C für 1-4 Sek.	
H-Milch	Ultrahoherhitung	135-150°C für 1-4 Sek.	3 Monate

leben. Deshalb muss pasteurisierte Milch im Kühlschrank aufbewahrt werden und ist etwa zehn Tage haltbar. Diese Milch wird im Supermarkt als „Frischmilch“ bezeichnet. Ein alternatives Verfahren ist die **Mikrofiltration**. Dabei wird die Magermilch durch sehr feine Filter geleitet, sodass Bakterien entfernt werden. Danach wird sie mit erhitztem Rahm gemischt, sodass sie den gewünschten Fettgehalt hat. Milch, die so behandelt wird, nennt man **ESL-Milch** (Extended Shelf Life = verlängerte Haltbarkeit) und wird im Supermarkt als „länger frisch“ Milch bezeichnet. Sie hält sich gekühlt bis zu 3 Wochen. Noch länger haltbar wird die Milch mithilfe der **Ultrahoherhitung (UHT)**. Hier wird die Milch für wenige Sekunden auf 135-150 °C erhitzt. Dadurch wird sie ungekühlt bis zu drei Monate haltbar. Sie darf nun als **H-Milch** bezeichnet werden.

Wissensbox II: Milchprodukte

Abgesehen vom direkten Verzehr der Milch als Trinkmilch können aus ihr zahlreiche Produkte hergestellt werden – von Butter über Joghurt bis hin zu Käse. Sie sind aus den Regalen der Supermärkte kaum noch wegzudenken. Doch wie entstehen diese Produkte eigentlich?

Wie werden Milchprodukte hergestellt?

Das Besondere an Milch ist, dass aus der gleichen Rohmilch verschiedenste Lebensmittel hergestellt werden können – meist ohne viele zusätzliche Zutaten. Entscheidend ist, wie die Teile der Milch verändert, miteinander verbunden oder voneinander getrennt werden. So entstehen unterschiedliche Geschmäcker und Konsistenzen (Bild 3). Eine Möglichkeit ist die Trennung von Fett und Flüssigkeit durch **mechanische Einwirkung** wie Rühren. Wenn Sahne lange gerührt wird, kleben die Fetttteilchen zusammen und es entsteht Butter. Zurück bleibt die Buttermilch als flüssiger Teil. Durch das Rühren geht die schützende Schicht, die die Fetttropfchen umgibt, kaputt, sodass das Fett verklumpt. Eine weitere Methode ist das **Eindicken** der Milch durch Wasserentzug, indem sie erhitzt wird. So entsteht zum Beispiel Kondensmilch. Wenn nahezu das gesamte Wasser entfernt wird, erhält man Milchpulver. Um nicht ausschließlich ein angedicktes Milchprodukt zu

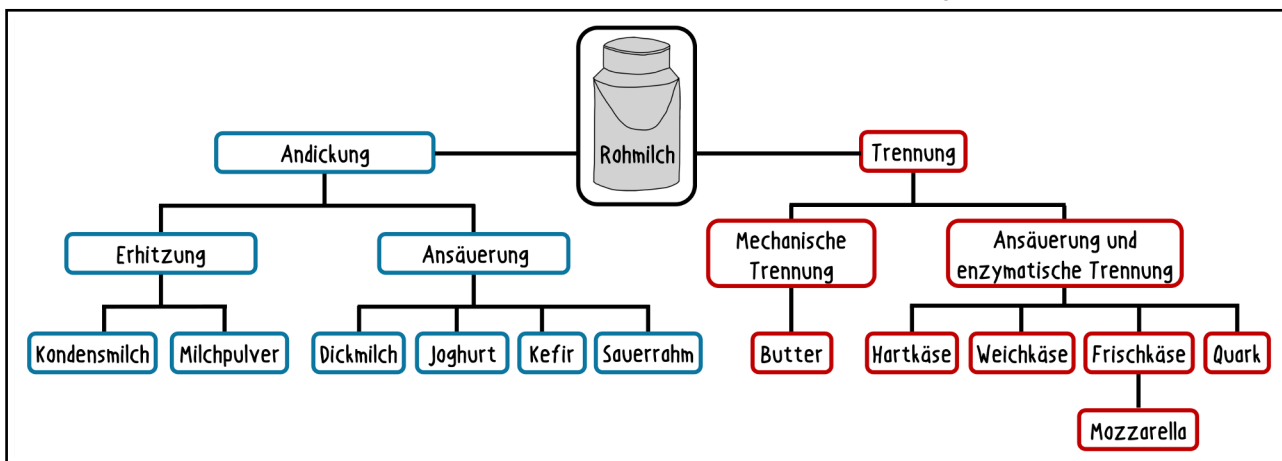


Bild 3: Herstellung verschiedener Milchprodukte.

gewinnen, sondern auch den Geschmack zu verändern, kann die Milch **angesäuert** werden. **Milchsäurebakterien** wandeln dabei den Milchzucker Laktose in Säure um. Die Milchproteine lagern sich nach und nach an, sodass die Milch langsam dicker wird – zunächst, ohne dass sich feste und flüssige Bestandteile klar trennen. So entstehen Produkte wie Joghurt, Dickmilch, Kefir oder Sauerrahm. Bei vielen Käsesorten soll die Milch allerdings so stark angedickt werden, dass sich die Proteine komplett verklumpen und sich von dem flüssigen Teil der Milch trennen. Diesen Vorgang nennt man **Gerinnung**. Der feste Teil wird **Käsebruch** genannt, und der flüssige Teil ist die **Molke**. Lässt man angesäuerte Milch lange genug stehen oder gibt große Mengen an Säure hinzu, findet eine solche Gerinnung statt. Säuregerinnung dauert allerdings lange und der Käsebruch sowie die Molke schmecken sauer. Deshalb nutzt man heute meist **Lab** (ein Enzymgemisch), das die Milch schneller trennt und den Käse milder macht. Im nächsten Abschnitt erfährst du im Detail wie das funktioniert. Damit das Lab gut wirken kann, ist eine leichte Ansäuerung der Milch durch Milchsäurebakterien trotzdem nötig. Heute wird Milch für die meisten Käsesorten also zuerst angesäuert und anschließend durch Lab getrennt. Aber wieso verklumpen die Proteine bei der Käseherstellung?

Welche Rolle spielt das Protein Casein bei der Herstellung von Milchprodukten?

Um zu verstehen, warum Proteine bei der Herstellung vieler Milchprodukte verklumpen, muss man sich das Milchprotein Casein genauer ansehen. Es handelt sich dabei nicht um ein einzelnes

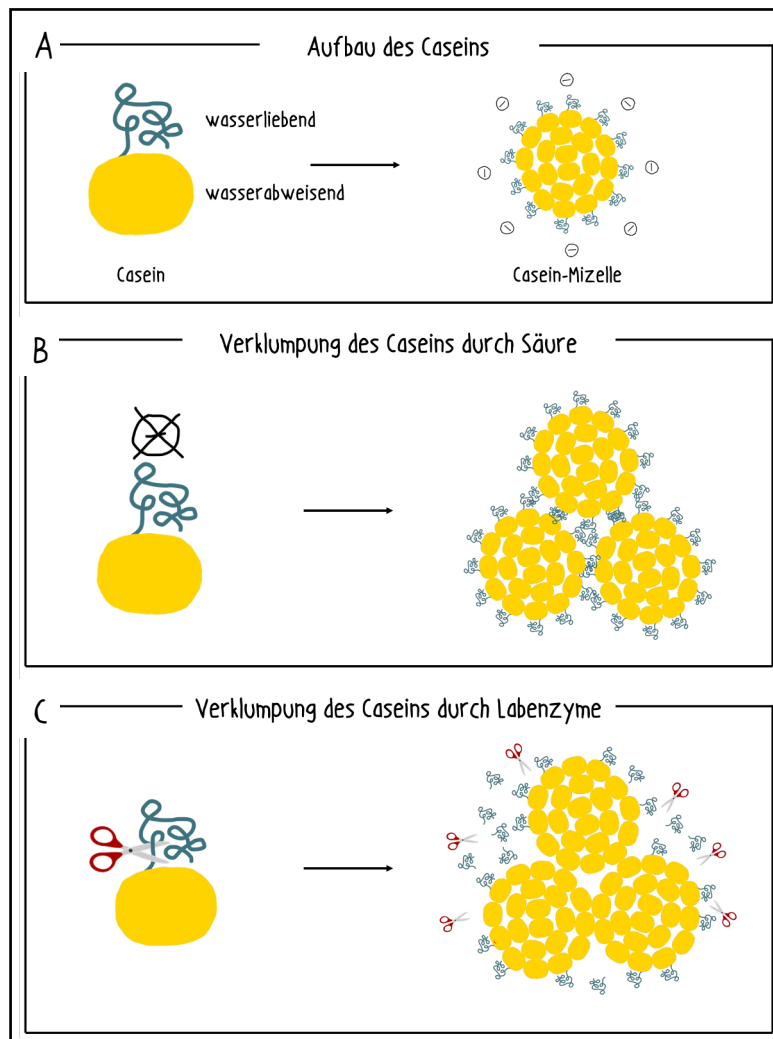


Bild 4: Casein verklumpt bei der Käseherstellung. A: Durch den wasserliebenden und wasserabweisenden Teil des Caseins lagert es sich zu Mizellen an. B: Durch Ansäuerung der Milch verliert Casein seine Ladung und die Mizellen lagern sich zusammen. C: Labenzyme schneiden den wasserliebenden Teil des Caseins ab, wodurch sich die Mizellen zusammenlagern.

Protein, sondern um eine Gruppe mehrerer Proteine, die aus verschiedenen Teilen bestehen. Die Teile haben unterschiedliche Eigenschaften – ein Teil verbindet sich gerne mit Wasser, der andere vermeidet eine Bindung (Bild 4A). Wenn sich diese Teile in wässriger Umgebung wie der Milch zusammenschließen, ordnen sie sich so an, dass die wasserliebenden (hydrophilen) Teile nach außen zeigen und die wasserabweisenden (hydrophoben) Teile nach innen. Dabei entstehen winzige Teilchen, die man **Mizellen** nennt (Bild 4A). Die äußere Hülle dieser Mizellen ist negativ geladen, sodass sich die Bällchen gegenseitig abstoßen – ähnlich wie gleiche Pole eines Magneten. Dadurch bleiben sie in der Milch verteilt, und die Milch ist flüssig und gleichmäßig (Bild 4A). Wenn sich die Bedingungen ändern – zum Beispiel, wenn **Milchsäurebakterien** die Milch sauer machen –, verliert die Hülle ihre negative Ladung. Die Mizellen stoßen sich dann nicht mehr ab, kleben zusammen und die Milch wird dicker (Bild 4B). So entsteht Joghurt, der leicht säuerlich und cremig ist. Bei der Käseherstellung

sollen die Casein-Mizellen so stark verklumpen, dass sie sich vom flüssigen Teil der Milch trennen. Dazu werden **Milchsäurebakterien** und das Enzym **Lab** eingesetzt. **Enzyme** sind Proteine, die je nach Art unterschiedliche Funktionen haben. Eine Gruppe nennt sich die **Proteasen**. Diese können Proteine spalten, indem sie die Verbindungen zwischen den einzelnen Bausteinen der Proteine zerschneiden. Die Enzyme, die im Lab enthalten sind, gehören zu dieser Gruppe. Sie erkennen bestimmte Strukturen im Casein und spalten es an spezifischen Stellen (Bild 4C). Dabei wird ein wasserliebender Teil des Proteins entfernt, der normalerweise eine schützende Hülle auf der Oberfläche der Mizellen bildet. Diese Hülle sorgt dafür, dass sich die Mizellen gegenseitig abstoßen und Abstand halten. Wenn sie verschwindet, können sich die Mizellen leichter berühren und miteinander verbinden. Sie schließen sich zu großen Klumpen zusammen (Bild 4C). Dabei wird

die gesamte Oberfläche der Proteine kleiner. Da Wasser vor allem an der Oberfläche der Proteine gebunden ist, kann nun weniger Wasser festgehalten werden. Ein Teil des Wassers trennt sich deshalb von den Proteinklumpen. So entstehen feste Klumpen, der Käsebruch, und die Flüssigkeit, die man Molke nennt, welche abgetrennt wird. Aber wie wird aus dem Käsebruch Käse?

Wie entsteht aus dem Käsebruch Käse?

Der Käsebruch wird nach der Gerinnung in kleine Stücke geschnitten. Je kleiner die Stücke sind, desto mehr Molke kann austreten und desto fester wird später der Käse. Anschließend wird der Käsebruch gepresst, um weitere Flüssigkeit zu entfernen. Bei der Herstellung von Hartkäse folgt zudem ein Salzbad, das dem Käse zusätzlich Wasser entzieht und ihm seinen typischen Geschmack verleiht. Danach wird der Käse zur Reifung gelagert. Während dieser Zeit verändern Bakterien den Käse, und bei manchen Käsesorten werden zusätzlich Schimmelpilze hinzugefügt. Durch unterschiedliche Milchsäurebakterien, Temperaturen und die gezielte Zugabe weiterer Bakterien oder Schimmelpilze entstehen viele verschiedene Käsesorten mit unterschiedlichen Aromen.

Welche Bestandteile der Milch sind im Käse und welche in der Molke?

Bei der Trennung von Milch in Käsebruch und Molke verteilen sich die Bestandteile ungleich auf zwei Phasen (Bild 5): eine feste und eine flüssige. Die feste Phase, der Käsebruch, entsteht durch eine Vernetzung des Caseins zu einer Art Gerüst. In diesem Netz bleiben große Teile des Milchfetts hängen, ebenso wie ein Teil der Mineralstoffe. Auch die fettlöslichen Vitamine werden dabei überwiegend im Käsebruch

eingeschlossen, da sie an das Milchfett gebunden sind. Wie viel Wasser dabei eingeschlossen bleibt, hängt von der weiteren Verarbeitung ab – dadurch entstehen unterschiedliche Käsesorten. Die Molke ist dagegen der flüssige Teil, der aus diesem Netz herausläuft. Sie besteht überwiegend aus Wasser und enthält vor allem die Stoffe, die nicht in das feste Gerüst eingebaut werden können. Dazu gehören insbesondere der Milchzucker (Laktose) sowie die Molkenproteine, die zu klein und zu

löslich sind, um im Käsebruch festgehalten zu werden. Auch wasserlösliche Vitamine sowie ein Teil der Mineralstoffe gehen in die Flüssigkeit über. So entstehen aus derselben Milch zwei sehr unterschiedliche Produkte: ein fester, strukturreicher Käse und eine dünnflüssige, aber dennoch nährstoffhaltige Molke.

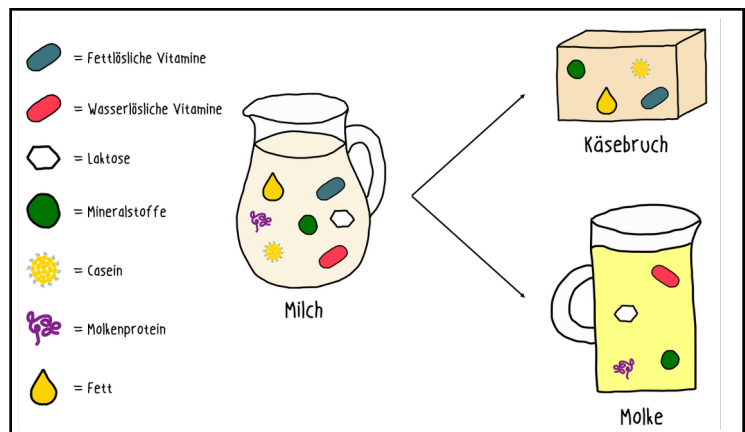


Bild 5: Verteilung der wichtigsten Inhaltsstoffe der Milch auf Käsebruch und Molke.

Wissensbox III: Wie Molke und Milchreste weiterverarbeitet werden

Während der Herstellung von Kuhmilchprodukten entstehen häufig große Mengen an Nebenprodukten. Dazu gehören zum Beispiel Buttermilch bei der Butterherstellung und Molke bei der Käseherstellung. Lange Zeit wurden diese Nebenprodukte vor allem als Tierfutter verwendet und kaum in Lebensmitteln oder anderweitig genutzt. Doch ist das heute noch der Fall?

Welche klassischen Nebenprodukte entstehen in einer Molkerei und woraus bestehen sie?

Wenn sich der flüssige vom festen Teil der Milch trennt, könnte man denken, die Flüssigkeit bestehe nur aus Wasser. Da Buttermilch und Molke aber noch viele wertvolle Bestandteile der Milch enthalten, versucht man, sie sinnvoll zu verwerten. Doch wie viel Molke und Buttermilch entstehen eigentlich? Die Menge der Buttermilch, die bei der Butterherstellung entsteht, hängt vom Fettgehalt der verwendeten Sahne ab. Wird Schlagsahne mit etwa 30 % Fett verwendet, entstehen bei der Herstellung von rund 250 g Butter ungefähr 300 bis 400 ml Buttermilch (Bild 6A). Auch bei Molke lässt sich die entstehende Menge nicht allgemein angeben. Sie hängt hier vor

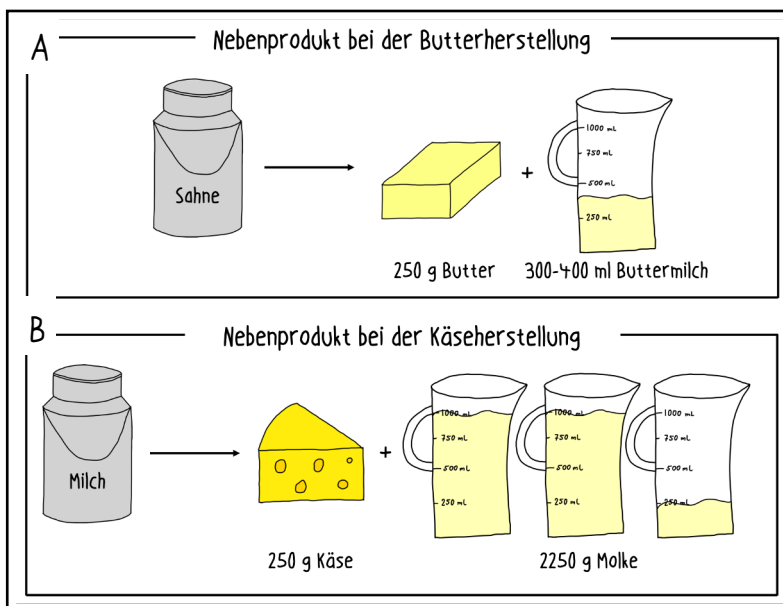


Bild 6: Nebenprodukt bei der Herstellung von A: Butter und B: Schnittkäse.

allem von der hergestellten Käsesorte ab. Bei der Herstellung von 250 g Schnittkäse fallen jedoch etwa 2,25 l Molke an (Bild 6B). An diesem Beispiel sieht man, dass vor allem Molke in großen Mengen entsteht. Darum gibt es bereits viele clevere Ideen, um sie sinnvoll zu nutzen.

Wie werden die Nebenprodukte bereits weitergenutzt?

Der einfachste Weg, Molke und Buttermilch zu nutzen, ist, sie als **Getränk** zu verkaufen (Bild 7). Damit der säuerliche Geschmack angenehmer wird, werden sie oft mit Früchten gemischt. Doch

besonders bei Molke gibt es ein Problem: Die großen Mengen, die bei der Käseherstellung entstehen, lassen sich nicht allein als Getränk verbrauchen. Ein beliebtes Verfahren ist deshalb, die Molke zu **Molkepulver** zu verarbeiten (Bild 7). Molke besteht zu etwa 94 % aus Wasser und zu rund 6 % aus festen Stoffen, zum Beispiel Protein, Milchzucker und Mineralstoffen. Bei der Herstellung von Molkepulver wird das Wasser entfernt, sodass nur die festen Bestandteile übrigbleiben. Molkepulver hat einen großen Vorteil: Es ist viel länger haltbar als frische Molke und benötigt weniger Lagerfläche. Außerdem kann man es in zahlreichen Lebensmitteln als Ersatz für Milch verwenden. Man kann das Pulver mit unterschiedlich viel Wasser mischen. So lässt sich vermeiden, dass zu viel Flüssigkeit das Produkt verwässert. Aber Molke bietet noch mehr Möglichkeiten. Bevor sie getrocknet wird, holen Fachleute oft zuerst einzelne wertvolle Stoffe aus ihr heraus. Diese Stoffe kann man dann gezielt für bestimmte Produkte nutzen und oft teurer verkaufen. Ein besonders bekanntes Beispiel sind **Molkenproteine** (Bild 7). Sie sind vor allem im

Fitnessbereich sehr beliebt. Die Flüssigkeit, die nach dem Entfernen der Molkenproteine übrigbleibt, nennt man **Permeat** (Bild 7). Doch auch das Permeat ist noch nützlich. Daraus kann **Laktose** gewonnen werden (Bild 7). Diese wird zum Beispiel in Lebensmitteln oder in Babynahrung verwendet. Nachdem die Laktose herausgeholt wurde, bleibt wieder eine Flüssigkeit übrig. Diese wird **Mutterlauge** genannt (Bild 7). Molke kann auch auf eine andere Weise genutzt werden. Man kann einen Teil ihrer Mineralstoffe entfernen. Die Molke nennt man dann **entmineralisierte Molke** (Bild 7). Sie kann zum Beispiel als Nahrung für kranke Menschen verwendet werden. Dabei entsteht als Nebenprodukt eine **Salzlösung** (Bild 7). Für diese Salzlösung gibt es allerdings nur wenige weitere Anwendungen. Viele Produkte, die bei der Verarbeitung von Molke entstehen, werden anschließend getrocknet, um sie länger haltbar zu machen. Dabei entstehen verschiedene Pulver. Beim Trocknen entsteht außerdem noch etwas anderes: **Brüdenkondensat** (Bild 7). Das ist Wasser, das beim Verdampfen entsteht und später wieder zu Flüssigkeit kondensiert wird. In

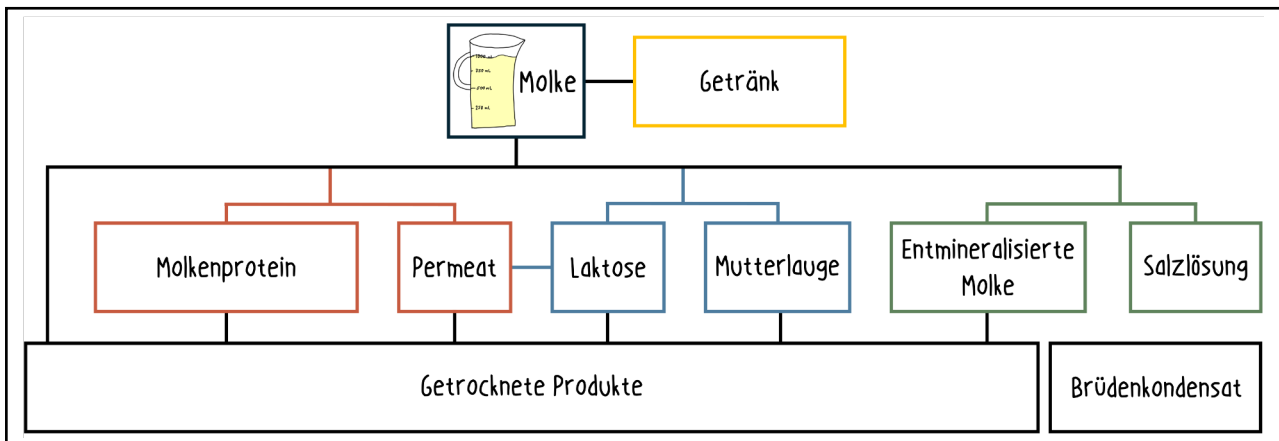


Bild 7: Produkte, die aus Molke hergestellt werden können.

diesem Wasser sind noch Milchreste vorhanden. Deshalb darf es nicht einfach in den Abfluss geleitet werden. Es muss zuerst gereinigt werden. Aber sind das Brüdenkondensat und die Salzlösung dann die einzigen Nebenprodukte, die überbleiben?

Was bleibt von der Molke übrig?

Auch wenn man heute viele Möglichkeiten hat, Molke zu nutzen, bleiben immer noch Reste übrig. Das liegt daran, dass nicht alle Produkte gleich beliebt sind. Vor allem die Nebenprodukte werden oft weniger nachgefragt als die Hauptprodukte. Molkenproteine sind im Fitnessbereich besonders beliebt. Permeat dagegen nutzen nur wenige Leute. Deshalb bleibt oft mehr Permeat übrig, als verkauft wird. Selbst wenn aus dem Permeat Laktose gewonnen wird, wird die zurückbleibende Mutterlauge nicht vollständig genutzt. Außerdem produzieren nicht alle Molkereien alle Produkte. Deshalb werden nicht immer alle Möglichkeiten genutzt, Molke weiterzuverarbeiten. Das zeigt: Molke ist zwar ein wertvoller Rohstoff und vielseitig einsetzbar, aber es bleiben weiterhin Bestandteile übrig. Für diese Teile muss man neue Verwendungsmöglichkeiten finden, um möglichst alle Stoffe vollkommen und in ihrer wertvollsten Form zu nutzen. Aber ist es eigentlich sinnvoll, alle Stoffe bis zum Ende zu nutzen? Genau damit beschäftigt sich die Betrachtung der Nachhaltigkeit in wirtschaftlichen Herstellungsprozessen.

Wie wird aus Molke ein nachhaltiges Lebensmittel?

Daran forschen Infinite Roots und das Institut für Technische Biokatalyse – sie nutzen Molke als Nährstoff für Pilzmyzel, um ein neues Lebensmittel zu entwickeln – ab 2027 auf Kniffelix.de!

Wissensbox IV: Nachhaltigkeit in der Milchwirtschaft

Um zu verstehen, warum die Reste der Milch wertvoll sind, muss man zunächst wissen, wie stark die Milchwirtschaft die Umwelt belastet.

Welche Auswirkungen haben die Milcherzeugung und Molkereien auf die Umwelt?

Die Milchproduktion verbraucht viele Ressourcen. Kühe benötigen Futter, Wasser, Weidefläche, Stall und Pflege. Der Anbau von Futter wie Mais oder Soja beansprucht viel Land, oft in Monokulturen, was den Boden erschöpft, die Artenvielfalt verringert und mehr Dünger und Pflanzenschutzmittel nötig macht. Kühe selbst produzieren Treibhausgase wie Methan (CH_4) und Lachgas (N_2O). Auch in der Molkerei wird viel Energie verbraucht: Milch muss gekühlt, erhitzt, getrennt und gepumpt werden. Besonders viel Energie benötigen Prozesse mit hohen Temperaturen, wie die Haltbarmachung von Milch. Außerdem fällt viel Abwasser an, das Milchreste und Spuren von Reinigungsmitteln enthält und aufwendig behandelt werden muss, bevor es in die Umwelt gelangt. Bereits die Herstellung der Milch belastet die Umwelt stark – und die Weiterverarbeitung zu Milchprodukten noch zusätzlich. Deshalb ist es umso wichtiger, dass so viel wie möglich von der Milch genutzt wird.

Wie werden Milchreststoffe heutzutage weiterverarbeitet?

Reststoffe aus der Milch werden oft in Biogasanlagen verwertet. Dort bauen Mikroorganismen die Stoffe ab und erzeugen Biogas, das hauptsächlich aus Methan (CH_4) und Kohlendioxid (CO_2) besteht. Das Methan wird verbrannt, um Strom und Wärme zu erzeugen – direkt für die Molkerei oder für das Stromnetz. Das Besondere am Biogas: Die Energie stammt aus Stoffen, die zuvor CO_2 aus der Luft aufgenommen haben. Bei Milch passiert das über das Futter der Kühe. Das CO_2 , das die Pflanzen beim Wachsen aufgenommen haben, steckt also in der Milch und den Resten (Bild 8). Beim Verbrennen des Methans gelangt dieses CO_2 wieder in die Luft. Anders als bei Kohle oder Erdöl wird bei Biogas kein altes CO_2 freigesetzt, das Jahrhunderte im Boden gespeichert war. Biogas ist also klimafreundlicher. Dennoch gelangt CO_2 in die Atmosphäre, und zu viel davon schadet der Umwelt. Außerdem gehen die wertvollen Inhaltsstoffe der Milchreste durch den Abbau verloren. Proteine, Zucker und Mineralstoffe bestehen aus vielen verschiedenen chemischen Bausteinen und haben deshalb einen hohen stofflichen Wert. CO_2 und Methan dagegen sind einfache Moleküle – sie liefern Energie, aber man kann daraus keine Lebensmittel oder wertvollen Stoffe herstellen. Ein wirklich nachhaltiger Ansatz wäre, die Nebenströme nicht abzubauen, sondern sie weiter zu nutzen. Forschung und kreative Ideen können dafür sorgen, dass die „Abfälle“ von heute zu wertvollen Rohstoffen von morgen werden. Gleichzeitig kann die Milchindustrie nachhaltiger werden, wenn die einzelnen Produktionsschritte energieärmer und umweltfreundlicher gestaltet werden.

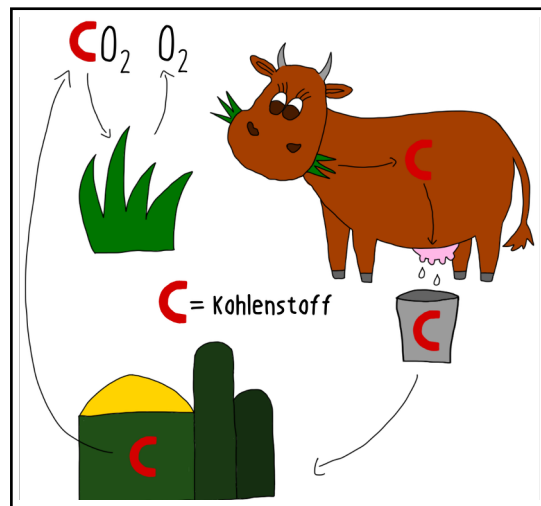


Bild 8: Kohlenstoffkreislauf in der Milchproduktion.

Proteine, Zucker und Mineralstoffe bestehen aus vielen verschiedenen chemischen Bausteinen und haben deshalb einen hohen stofflichen Wert. CO_2 und Methan dagegen sind einfache Moleküle – sie liefern Energie, aber man kann daraus keine Lebensmittel oder wertvollen Stoffe herstellen. Ein wirklich nachhaltiger Ansatz wäre, die Nebenströme nicht abzubauen, sondern sie weiter zu nutzen. Forschung und kreative Ideen können dafür sorgen, dass die „Abfälle“ von heute zu wertvollen Rohstoffen von morgen werden. Gleichzeitig kann die Milchindustrie nachhaltiger werden, wenn die einzelnen Produktionsschritte energieärmer und umweltfreundlicher gestaltet werden.

Wie kann eine Molkerei die Produktionsschritte nachhaltiger gestalten?

Ein wichtiger Punkt ist, weniger **Energie** und **Wasser** zu verbrauchen. Beim Energieverbrauch lohnt es sich, die **Prozesstemperaturen** zu prüfen. Viele Arbeitsschritte bei der Käseherstellung werden seit Generationen bei bestimmten Temperaturen durchgeführt. Heute weiß man: In vielen Fällen reichen auch etwas niedrigere Temperaturen – und dabei wird viel Energie gespart (Bild 9A). Da auch das Kühlen Energie erfordert, sollten auch diese Temperaturen hinterfragt werden. Eine weitere wichtige Maßnahme ist es, **Wärmeverluste** zu **vermeiden**. Wenn Wärme verloren geht,

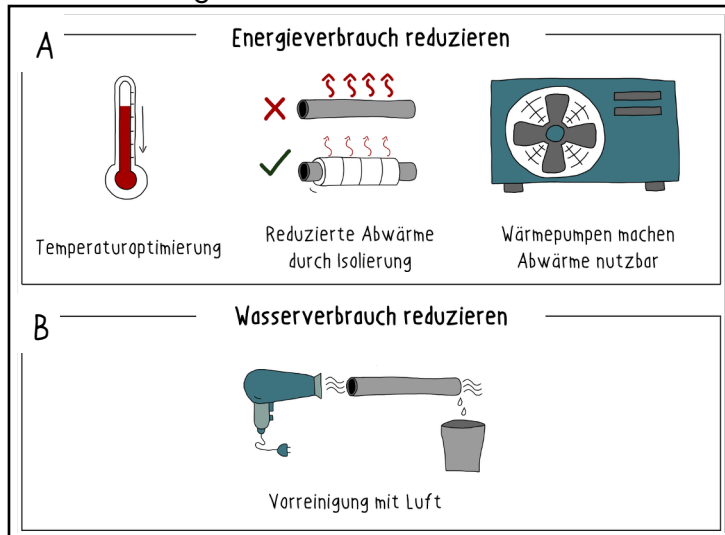


Bild 9: Methoden zur Verbesserung der Umweltbilanz von Molkereien. A: Maßnahmen zur Reduzierung des Energieverbrauchs B: Maßnahmen zur Reduzierung des Wasserverbrauchs.

muss sie wieder zugeführt werden, wofür zusätzliche Energie benötigt wird. Gut **isolierte Rohre, Kessel und Maschinen** helfen, solche Verluste zu reduzieren (Bild 9A). Außerdem kann Abwärme genutzt werden. Abwärme ist Wärme, die z. B. beim Betrieb von Maschinen entsteht. Da diese Abwärme oft nicht warm genug für viele industrielle Prozesse ist, können Wärmepumpen sie auf eine höhere Temperatur bringen und dadurch nutzbar machen (Bild 9A). Werden Wärmepumpen mit Strom aus erneuerbaren Quellen betrieben, ist das besonders umweltfreundlich. Sehr viel Energie kann eingespart werden, wenn **Heizen und Kühlen** zusammen

betrachtet werden. In der Molkerei wird z. B. kalte Milch erst aufgewärmt und nach der Käseherstellung die warme Molke wieder abgekühlt. Für beide Prozesse wird Energie benötigt. Mit Hilfe einer sogenannten **Wärmeschaukel** können aber die beiden Prozesse zusammengebracht werden: Hierbei gibt die Molke ihre Wärme an die Milch und kühlt dabei selbst ab, sodass Wärme- und Kälteenergie gespart werden. Beim **Wasserverbrauch** gibt es ebenfalls Sparmöglichkeiten, zum Beispiel durch die Aufbereitung und Wiederverwendung von Wasser oder durch effizientere Reinigungsprozesse. Wenn die überschüssige Milch in Rohren erst mit einem starken Luftstrom entfernt wird, bleibt weniger Milch in den Rohren, und es wird weniger Wasser für die Reinigung gebraucht (Bild 9B). Doch solche Veränderungen anzuwenden, ist oft aufwendig. Molkereien sind über viele Jahre gewachsen, und die einzelnen Schritte hängen eng zusammen. Schon kleine Veränderungen können große Auswirkungen auf den Gesamtprozess und die Kosten haben sowie Komplikationen verursachen. Dadurch kann der Produktionsablauf schnell gestört werden.

Ein nachhaltiger Wandel braucht langfristige Planung und gelingt nur im Zusammenspiel vieler Maßnahmen, die die Herstellverfahren sowie die Nutzung von Wasser und Wärme betreffen. Ziel ist, Rohstoffe möglichst vollständig zu nutzen und zu wertvollen Produkten zu verwandeln, damit keine Abfälle oder minderwertige Produkte entstehen, und so Umwelt und Ressourcen zu schonen.

Wie wird aus Molke ein nachhaltiges Lebensmittel?

Genau daran forschen von 2025 bis 2027 Infinite Roots und das Institut für Technische Biokatalyse – sie nutzen Molke als Nährstoff für Pilzmyzel, das zu einem neuen Lebensmittel weiterverarbeitet wird. Ab 2027 kannst du dieses spannende Thema auf Kniffelix.de entdecken.

Experiment: Käsebruch

Versuchseinführung

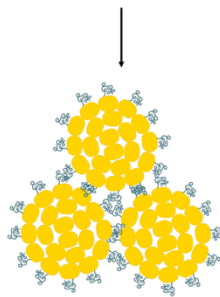
Fragestellung:

Wie unterscheidet sich die Verklumpung der Milchproteine durch einen sauren pH-Wert oder durch Enzyme?

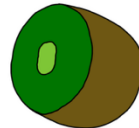
Verklumpung durch sauren pH-Wert



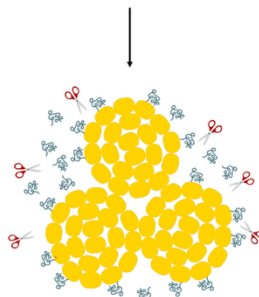
Essigessenz



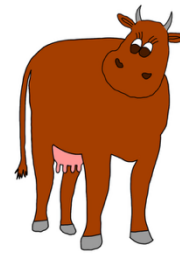
Verklumpung durch Proteasen (Enzyme)



Kiwis

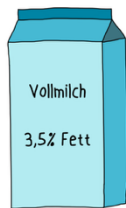


Essigessenz ist sehr sauer und Kiwis enthalten Enzyme, die Proteine der Milch zerschneiden.

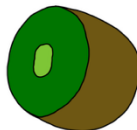


Materialien

Vollmilch



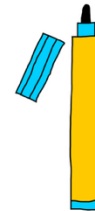
Grüne Kiwis



Essigessenz



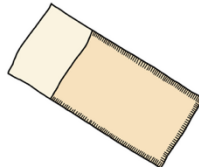
Wasserfester Stift



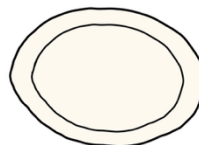
Teelöffel



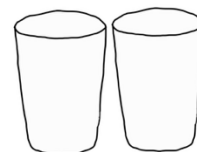
Teebeutel



Teller



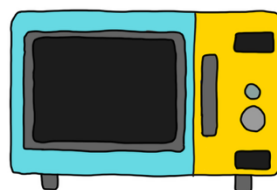
Gläser



Waage

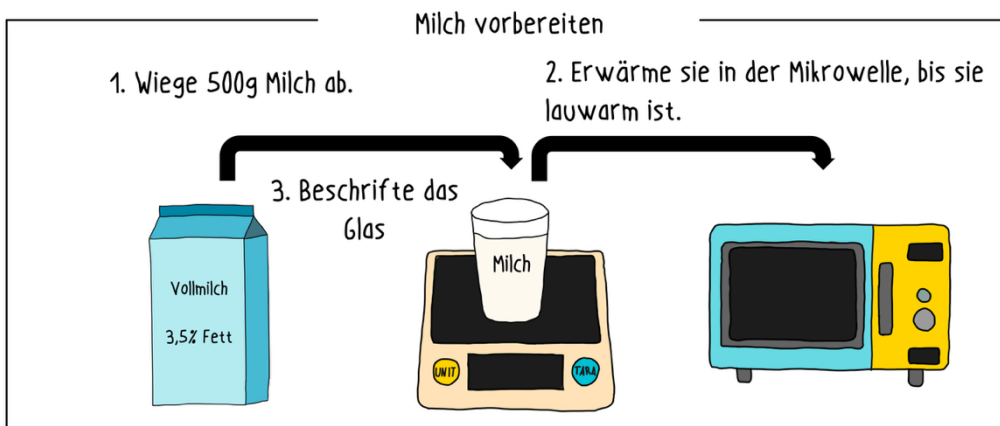
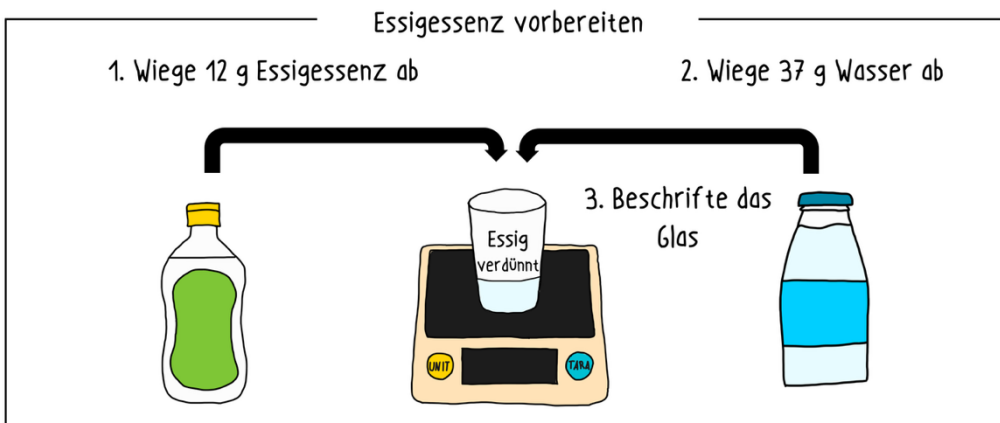
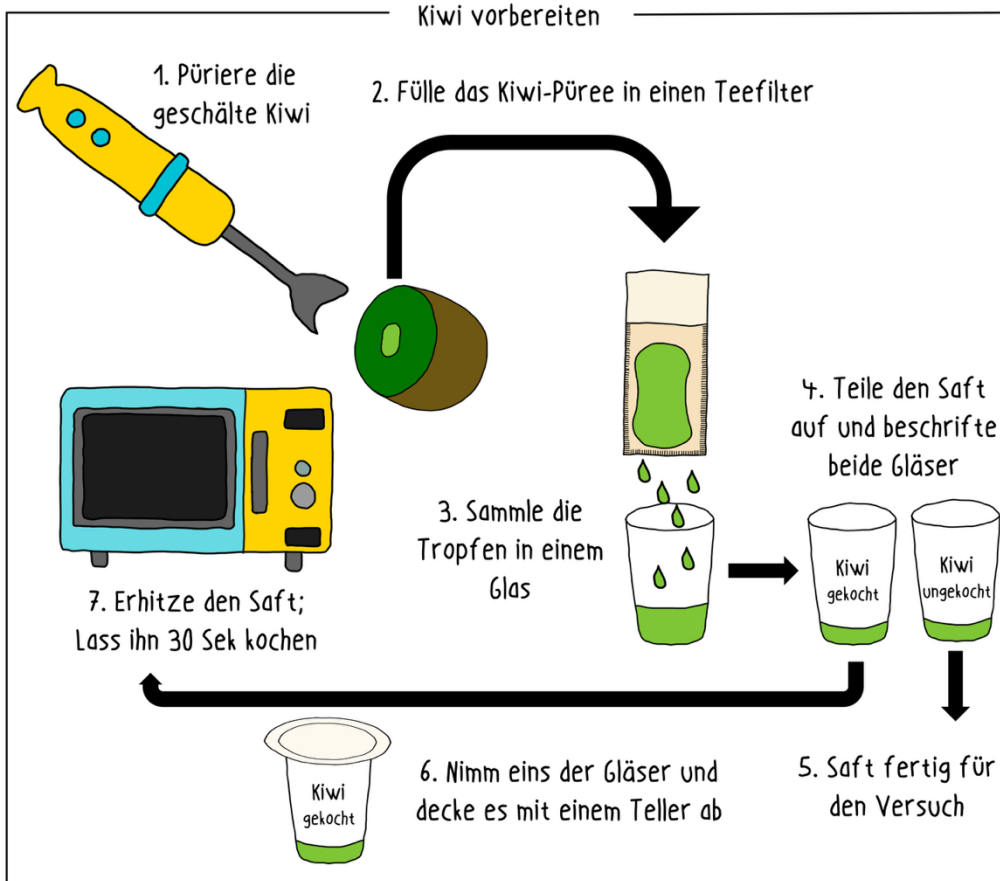


Mikrowelle



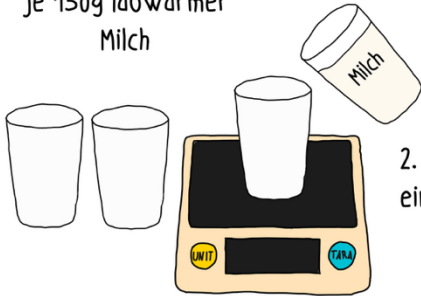
Stabmixer





Experiment

1. Fülle 3 Gläser mit je 150g lauwarmen Milch

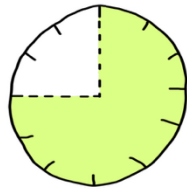


2. Beschrifte die einzelnen Gläser

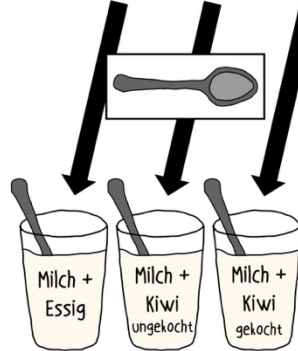
3. Gib in jedes Glas Milch einen Teelöffel einer anderen Probe - Verrühre sorgfältig



5. Warte 45 Minuten, rühre erneut um und notiere deine Beobachtung








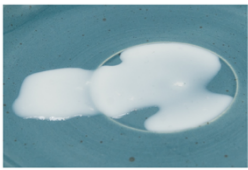
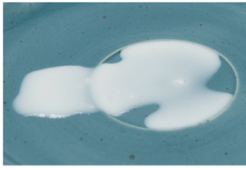


4. Was siehst du? Notiere deine Beobachtung direkt



Gehe weiter zur nächsten Seite um unsere Beobachtung zu sehen

Beobachtung

		
	Verklumpt flockig	Verklumpt körnig
		
	Keine Veränderung	Verklumpt gallertartig
		
	Keine Veränderung	Keine Veränderung

Auswertung

Hauptbeobachtung: Säure und Enzyme verklumpen die Milchproteine in der Milch

Unterschiede:

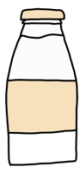
- 1. Beobachtung:** Essig verklumpt direkt und es wird flockig
Erklärung: Essig senkt den pH-Wert sofort, wodurch die Proteine verklumpen, ohne ein Netz zu bilden. Es entstehen flockenartige Klumpen.
- 2. Beobachtung:** Kiwi-Enzyme verklumpen die Milchproteine erst langsam und es wird gallertartig
Erklärung: Das Enzym Actinidin in der Kiwi spaltet die Milchproteine nach und nach. Sie lagern sich langsam aneinander und bilden ein Netz bevor sie verklumpen. Dadurch bildet sich eine gallertartige Gelmasse.
- 3. Beobachtung:** Erhitzte Kiwi zeigt keine Veränderung der Milch
Erklärung: Durchs Erhitzen wird das Actinidin zerstört. Da die Milch sich danach nicht verändert, ist die Säure der Kiwi allein nicht stark genug, um die Milchproteine zu verklumpen. Die Veränderung wird also von den Enzymen verursacht.


Schlussfolgerung: Die Geschwindigkeit der Proteinveränderung bestimmt die Struktur des Käsebruchs

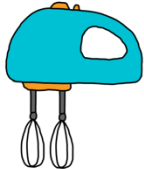
Experiment: Butter herstellen

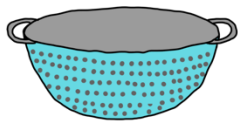
Butter selber herstellen

Materialien

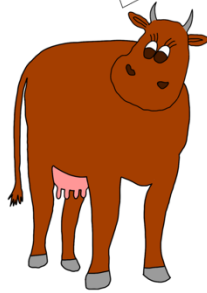

Sahne 30% Fett


Schüssel


Mixer

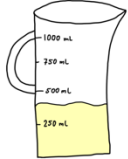

Sieb

Hast du Lust, Butter selbst herzustellen? Am Ende kannst du sogar die Buttermilch probieren!




Was ist zu tun?

- Schlage die Sahne in der Schüssel so lange, bis sich ein großer Butterklumpen bildet.
- Gieße alles durch ein Sieb und fange die Flüssigkeit auf.
- Spüle die Butter mit kaltem Wasser ab und knete sie kurz durch.
- Forme die Butter und lege sie in den Kühlschrank.
- Im Kühlschrank bleibt die Butter etwa 2 Wochen frisch.



Buttermilch



Butter